TRƯỜNG ĐẠI HỌC Y HÀ NỘI
BỘ MÔN Y VẬT LÝ - LÝ SINH

LÝ SINH Y HỌC

SÁCH CHUYÊN KHẢO DÀNH CHO ĐẠI HỌC VÀ SAU ĐẠI HỌC

NHÀ XUẤT BẢN Y HỌC

http://tieulun.hopto.org

TRƯỜNG ĐẠI HỌC Y HÀ NỘI

BỘ MÔN Y VẬT LÝ - LÝ SINH

LÝ SINH Y HỌC

SÁCH CHUYÊN KHẢO DÀNH CHO ĐẠI HỌC VÀ SAU ĐẠI HỌC

NHÀ XUẤT BẢN Y HỌC

HÀ NỘI – 2005

http://tieulun.hopto.org

Chủ biên

PGS. TSKH. PHAN SỸ AN - NGUT

Tham gia biên soạn

PGS. TSKH. PHAN SỸ AN - NGUT

PGS.TS NGUYỄN VĂN THIỆN - NGUT

GVC. CN. NGUYỄN QUỐC TRÂN

GVC. CN. NGUYỄN HỮU TRÍ

GVC. TS. PHAN THỊ LÊ MINH

GVC. ThS. ĐOÀN THỊ GIÁNG HƯƠNG

GV.CN. NGUYỄN THANH THUỶ

http://tieulun.hopto.org

LỜI NÓI ĐẦU

Vật lý sinh học được gọi tắt là lý sinh (biophysics) là môn học nghiên cứu các hiện tượng xảy ra trong các tổ chức và cơ thể sống dựa trên quan điểm và các định luật vật lý, từ mức độ điện tử, nguyên tử đến toàn cơ thể hay một hệ có nhiều cơ thể sống.

Người thầy thuốc cần được cung cấp những kiến thức cơ bản và hiện đại liên quan nhiều tới y học. Vì vậy, môn lý sinh y học từ nhiều năm nay được đưa vào giảng dạy tại các trường đại học y cho sinh viên và nhất là cho các học viên sau đại học. Do điều kiện và hoàn cảnh thực tế ở nước ta, môn học này mới được tiến hành đều đặn và đầy đủ từ nhiều năm nay ở Trường Đại học Y Hà Nội.

Nội dung và kỹ thuật lý sinh rất rộng, dựa theo những kinh nghiệm thực tế và nhu cầu của việc chăm sóc và nâng cao sức khoẻ của nhân dân, việc phòng, chữa bệnh và nghiên cứu y học, chúng tôi lựa chọn ra một số vấn đề liên quan nhiều nhất đến sức khoẻ của con người, cơ chế sinh bệnh và tác dụng của các yếu tố từ môi trường, nhất là các yếu tố vật lý. Từ đó các học viên hiểu được sâu sắc các kỹ thuật chẩn đoán và điều trị bệnh hiện đại. Các nội dung đó đã được in trong cuốn "Lý sinh y học" do NXB Y học phát hành năm 1998.

Đến nay, do nhu cầu đòi hỏi của các sinh viên và học viên trong học tập và công tác, Nhà xuất bản đặt vấn đề tái bản cuốn sách đó. Lần tái bản này, nội dung cơ bản vẫn được giữ nguyên nhưng một phần được bổ sung và sửa chữa, nhất là về kỹ thuật cộng hưởng từ hạt nhân, kỹ thuật ứng dụng các đồng vị phóng xạ trong y sinh học... Gần đây, vấn đề kiểm soát và an toàn bức xạ cũng được quan tâm và nhấn mạnh hơn nên chúng tôi đã bổ sung chi tiết hơn các nguyên tắc về kiểm soát và an toàn bức xạ trong lần tái bản này.

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn các cán bộ giảng dạy cũ của bộ môn Y vật lý và các cán bộ hiện đang công tác, tham gia giảng dạy tại Bộ môn Vật lý - Lý sinh, Trường Đại học Y Hà Nội đã góp phần biên soạn cuốn sách này.

Chúng tôi cũng xin chân thành cảm ơn các nhà giáo, các bạn đồng nghiệp trong ngành giáo dục và y tế, các học viên và sinh viên góp ý kiến với chúng tôi để cuốn sách được hoàn thiện hơn cả về nội dung và hình thức.

Hà Nội, ngày 08 tháng 12 năm 2004

Chủ biên

PGS. TSKH. PHAN SỸ AN – NGƯT

Trưởng Bộ môn Y vật lý - Lý sinh

http://tieulun.hopto.org

MỤC LỤC

Chương 1. **Sự biến đổi năng lượng trên cơ thể sống** 7

I. Nhiệt độ và nhiệt lượng 8

II. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học 19

Chương 2. **Sự vận chuyển vật chất trong cơ thể sống** 58

I. Phân tử và dung dịch trong cơ thể sinh vật 58

II. Các hiện tượng vận chuyển vật chất cơ bản trong cơ thể 62

III. Vận chuyển vật chất qua màng tế bào 94

Chương 3. **Các hiện tượng điện trên cơ thể sống** 129

I. Các loại điện thế sinh vật cơ bản 129

II. Cơ chế của hiện tượng điện sinh vật 135

III. Lý sinh hiện tượng co cơ 147

IV. Ghi điện sinh vật 158

V. Đại cương về kích thích cơ và thần kinh 183

VI. Đại cương về tác dụng sinh vật của dòng điện và ứng dụng của dòng điện trong điều trị 187

Chương 4. **Các hiện tượng âm ở cơ thể sống** 208

I. Dao động cơ học 208

II. Sóng cơ học trong môi trường đàn hồi 217

III. Bản chất vật lý của âm và siêu âm 224

IV. Cảm giác âm 230

V. Ứng dụng âm và siêu âm trong y sinh học 237

Chương 5. **Ánh sáng và cơ thể sống** 244

I. Quang hình học 244

II. Mắt và dụng cụ bổ trợ 262

III. Bản chất của ánh sáng 286

IV. Tác dụng của ánh sáng lên cơ thể sống 298

V. Phương pháp quang phổ hấp thụ phân tử 320

VI. Khái niệm về laser và ứng dụng 332

http://tieulun.hopto.org

Chương 6. **Bức xạ ion hoá và cơ thể sống** 337

I. Cấu tạo nguyên tử và hạt nhân nguyên tử 337

II. Tia rơnghen (tia X) 351

III. Hiện tượng phóng xạ, bản chất và nguồn gốc tia phóng xạ 356

IV. Tương tác của bức xạ ion hoá và vật chất 363

V. Tác dụng sinh vật của bức xạ ion hoá 376

VI. Ứng dụng một số kỹ thuật vật lý nguyên tử và hạt nhận vào y sinh học 400

Kết luận 437

http://tieulun.hopto.org

CHƯƠNG 1

SỰ BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG TRÊN CƠ THỂ SỐNG

Nguyễn Văn Thiện

Các hệ thống sống trong quá trình tồn tại nhất định phải thực hiện trao đổi vật chất và trao đổi năng lượng với môi trường xung quanh. Hai quá trình trao đổi này không thể tách rời nhau mà bổ sung cho nhau, tạo điều kiện cho nhau. Việc khảo sát các quá trình trao đổi vật chất và năng lượng của cơ thể sống làm sáng tỏ ý nghĩa vật lý của sự sống, làm rõ điều kiện tồn tại, duy trì và phát triển của sự sống, làm ta thấy rõ tầm quan trọng của môi trường sống.

Thống kê là một phương pháp quan trọng để khảo sát các hiện tượng sống. Thật vậy, ta không rút ra các kết luận cần thiết từ sự quan sát từng đối tượng, từng quá trình riêng lẻ mà ta khảo sát lặp đi lặp lại nhiều lần các hiện tượng giống nhau, ta khảo sát các quá trình, chiều tiến triển của quá trình với cả một tập hợp rất nhiều các phần tử tạo thành một hệ thống vật gọi là hệ thống nhiệt động. Như vậy kích thước của hệ lớn hơn đáng kể so với kích thước của phần tử nằm trong hệ. Tuỳ theo đặc tính tương tác với môi trường xung quanh mà người ta chia ra 3 loại hệ nhiệt động: cô lập, kín và mở.

Hệ được gọi là cô lập khi nó không trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh.

Hệ được gọi là kín khi nó chỉ trao đổi năng lượng với môi trường xung quanh. Ở đây không xảy ra trao đổi vật chất qua biên giới của hệ, do đó khối lượng của hệ không thay đổi. Một hệ kín có thể sinh công do lấy năng lượng từ môi trường xung quanh hoặc sử dụng năng lượng dự trữ của bản thân.

Hệ được gọi là mở khi nó trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh. Tuy nhiên cơ thể sinh vật khác với các hệ mở khác ở ba điểm: cơ thể là một dạng tồn tại đặc biệt của protid và các chất khác tạo thành cơ thể, cơ thể có khả năng tự tái tạo, cơ thể có khả năng tự phát triển.

Ở mỗi thời điểm hệ mang những tính chất vật lý và hoá học xác định. Tập hợp các tính chất này quyết định trạng thái của hệ. Thông thường, trạng thái của hệ được mô tả nhờ các thông số trạng thái: nhiệt độ T, áp suất p, thể tích V, nội năng U, entropi S, nồng độ C... Khi hệ chịu một quá trình biến đổi thì ít nhất cũng có một thông số trạng thái thay đổi, khi ấy ta bảo hệ đã thực hiện một quá trình nhiệt động.

Quá trình nhiệt động có thể là một quá trình kín hay chu trình, tức là quá trình nhiệt động trong đó hệ sau hàng loạt biến đổi lại quay về trạng thái ban đầu.

http://tieulun.hopto.org

I. NHIỆT ĐỘ VÀ NHIỆT LƯỢNG

1. Nhiệt độ và đo nhiệt độ

Cảm giác chủ quan của chúng ta cho biết một vật hay một môi trường là lạnh, ấm, nóng... Nói chung, cảm giác phụ thuộc vào trạng thái tâm lý và chủ quan của người quan sát, nhưng vẫn có đặc tính phản ánh một trạng thái khách quan nào đấy. Nhiệt độ là một đại lượng vật lý được đưa ra để đặc trưng cho trạng thái nóng, lạnh của đối tượng một cách khách quan, không còn phụ thuộc vào cảm giác chủ quan nữa.

Sau chiều dài, thời gian, khối lượng thì nhiệt độ là đại lượng vật lý cơ bản thứ tư.

Để đo nhiệt độ, về nguyên tắc có thể sử dụng bất kỳ tính chất nào của vật chất bị thay đổi theo nhiệt độ: Khi nhiệt độ thay đổi thì chiều dài và thể tích vật thay đổi theo, điện trở của một vật dẫn điện phụ thuộc vào nhiệt độ, mầu sắc của một vật bị nung nóng thay đổi theo nhiệt độ.

Người ta đo nhiệt độ bằng nhiệt kế.

1.1. Nhiệt kế thuỷ ngân

Nhiệt kế này làm việc theo nguyên tắc của sự thay đổi thể tích thuỷ ngân theo nhiệt độ. Nhiệt kế thuỷ ngân là một ống nhỏ tiết diện đều, phình ra phía dưới, được đổ thuỷ ngân vào đó, rút chân không và hàn kín.

Ta ngâm nhiệt kế vào nước đá đang tan và qui ước nhiệt độ đó là 0^0C, đánh dấu mực thuỷ ngân tương ứng trong ống. Sau đó để nhiệt kế vào hơi nước sôi ở áp suất khí quyển 1 atm, nhiệt độ hơi nước sôi này được qui ước là 100^0C, đánh dấu mực thuỷ ngân trong ống. Chia khoảng cách giữa hai vạch đánh dấu làm 100 phần bằng nhau. Như vậy 2 vạch bất kỳ cách nhau 1^0C. Với nhiệt kế này, nhiệt độ cơ thể người bình thường vào khoảng 37^0C, ta viết $t^0 = 37^0$C.

Đó là thang nhiệt độ (nhiệt giai) Celsius. Trong nhiệt kế thuỷ ngân người ta đã giả định là thể tích nở thêm của thuỷ ngân tỷ lệ thuận chặt chẽ với nhiệt độ tăng thêm.

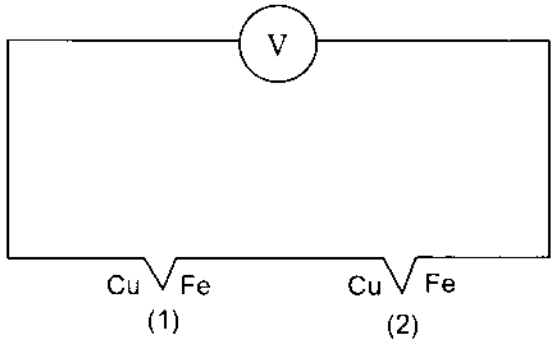
Nhiệt kế y học thông thường là nhiệt kế thuỷ ngân, được chia chi tiết đến 1/10 độ, khoảng chia nằm giữa 35^0C và 45^0C. Chỗ nối giữa ống nhỏ ở trên và bộ phận phình ra ở dưới được thu hẹp lại nhằm mục đích giữ nguyên cột thuỷ ngân nở ra ở trên phản ánh nhiệt độ cơ thể không bị sai khi rút nhiệt kế ra khỏi cơ thể bệnh nhân. Trước khi dùng để đo nhiệt độ lần khác nên vẩy nhẹ để thuỷ ngân tụt xuống lấp hết khoảng không ở giữa do sự co lại của thuỷ ngân khi rút nhiệt kế khỏi cơ thể.

1.2. Nhiệt kế nhiệt điện

Khi hai kim loại khác nhau về bản chất, chẳng hạn Cu và Fe, đặt tiếp xúc nhau, các điện tử tự do trong chúng khuếch tán sang nhau, lúc đạt cân bằng động thì xuất hiện hiệu điện thế giữa chúng. Độ lớn của hiệu điện thế này phụ thuộc vào nhiệt độ của chỗ tiếp xúc.

http://tieulun.hopto.org

Nếu ta nối 2 cặp kim loại như hình 1.1, ở mối hàn 1 nhiệt độ giữ nguyên, chẳng hạn ở nhiệt độ phòng (hoặc 0^0C), mối hàn thứ hai tiếp xúc chặt chẽ với đối tượng cần đo nhiệt độ thì vôn kế sẽ chỉ cho ta biết mức độ chênh lệch nhiệt độ giữa 2 nơi.



Hình 1.1. Nhiệt kế nhiệt điện

Ta có ở đây hiện điện thế U do vôn kế chỉ tỷ lệ thuận hiệu nhiệt độ 2 chỗ tiếp xúc:

$$U = \alpha (t^0_2 - t^0_1) \qquad (1.1)$$

1.3. Nhiệt kế điện trở

Ta biết rằng điện trở của kim loại trong một khoảng nhiệt độ lớn đáng kể phụ thuộc nhiệt độ theo công thức:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \qquad (1.2)$$

trong đó t là nhiệt độ, α là số nhiệt điện trở có giá trị phụ thuộc vào bản chất kim loại, R_0 là điện trở ở 0^0C, R_t là điển trở ở nhiệt độ t.

Từ biểu thức này việc xác định nhiệt độ bây giờ trở thành xác định điện trở. Với các chất bán dẫn, điện trở thay đổi rất lớn theo nhiệt độ, được khai thác để đo nhiệt độ với độ chính xác cao và phạm vi đo rộng rãi, gọi là các técmitto (thermistor).

1.4. Các loại nhiệt giai

Hiện tại người ta dùng 3 thang nhiệt độ (nhiệt giai) cơ bản (xem hình 1.2) với quy ước như sau:

- Lấy các điểm chuẩn có nhiệt độ không thay đổi:

+ Điểm chuẩn thấp là nhiệt độ của nước đá đang tan ở thang Celsius là 0^0C, ở thang Réomur là 0^0R, ở thang Fahreinheit là 32^0F.

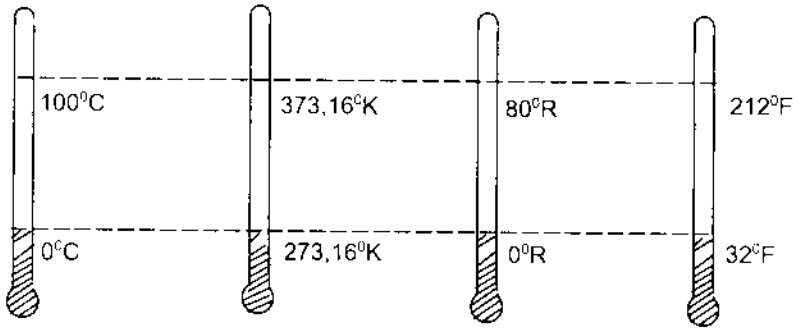
+ Điểm chuẩn cao là nhiệt độ của hơi nước sôi ở áp suất 1 atm, trên thang Celsius là 100^0C, trên thang Réomur là 80^0R, trên thang Fahreinheit là 212^0F.

http://tieulun.hopto.org

– Khoảng cách giữa những điểm chính trên, ở thang Celsius được chia làm 100 phần đều nhau, mỗi phần chia là 1^0C, ở thang Réomur được chia làm 80 phần đều nhau, mỗi phần là 1^0R; ở thang Fahreinheit được chia làm 180 phần đều nhau, mỗi phần là 1^0F.

– Sự chuyển số đo nhiệt độ từ một thang này tới một thang khác được thực hiện theo công thức:

$$n^0C = (0,8.n)^0R = (1,8n + 32)^0F \qquad (1.3)$$



Hình 1.2

Năm 1852 Kelvin đã đặt cơ sở lý thuyết của thang nhiệt độ là kết quả đo nhiệt độ không phụ thuộc vào các vật chất sử dụng cũng như các tính chất được sử dụng để đo nhiệt độ, do đó người ta gọi các thang nhiệt độ này là thang nhiệt động.

Theo các kết quả nghiên cứu hiện đại thì không tồn tại các nhiệt độ thấp hơn $-273,16^0C$, do đó người ta gọi nhiệt độ này là độ không tuyệt đối và thành lập nhiệt giai Kelvin, mà hiệu số nhiệt độ của nó trùng với hiệu số nhiệt độ ở nhiệt giai Celsius. Ký hiệu nhiệt độ ở thang Kelvin là T^0 thì:

$$T^0 = t^0C + 273,16^0 \qquad (1.4)$$

Những nhiệt độ thông thường ta gặp hàng ngày là nhiệt độ ở nhiệt giai Celsius. Ta có thể coi thang nhiệt độ quốc tế là thang Celsius.

1.5. Nguyên lý số không của nhiệt động học

Nhiệt động học là một bộ phận của vật lý học nghiên cứu các quá trình biến đổi trong tự nhiên. Phương pháp cơ bản của nhiệt động học là phương pháp thống kê.

Những quá trình năng lượng xảy ra trong các cơ thể sống cũng như trong các hệ thống không sống đều tuân theo 3 định luật tổng quát của nhiệt động học gọi là ba nguyên lý của nhiệt động học. Những nguyên lý này thiết lập dựa trên sự tổng quát hoá các dữ kiện thực nghiệm, chúng có một vai trò to lớn trong lý thuyết cũng như trong thực hành, kỹ thuật.

http://tieulun.hopto.org

Ta nói một hệ nào đó ở trạng thái cân bằng cơ học nếu không có nội lực và ngoại lực tác động lên hệ; hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt động nếu nhiệt độ hệ không thay đổi. Hệ này ở trạng thái cân bằng nhiệt với hệ khác khi hai hệ ở cùng nhiệt độ.

Giờ ta xét ba hệ khác nhau A, B và C ở trạng thái cân bằng nhiệt động. Ban đầu ta cho A và B tiếp xúc nhau, hai hệ này sẽ tiến tới trạng thái có cùng nhiệt độ, chúng ở trạng thái cân bằng nhiệt. Tiếp tục cho hệ C tiếp xúc với B, hai hệ này cùng dẫn tới trạng thái cân bằng nhiệt; sau cùng, qua thực nghiệm thấy cả A và C cùng ở trạng thái cân bằng nhiệt. Ta rút ra:

Nguyên lý số không của nhiệt động học: Nếu hai hệ cân bằng nhiệt với một hệ thứ ba thì chúng ở trạng thái cân bằng nhiệt với nhau.

Thể hiện của trạng thái cân bằng nhiệt này là chúng ở cùng một nhiệt độ (đối với cùng một nhiệt kế).

1.6. Sự nở vì nhiệt

a. Ta xét một lượng khí cho trước đặc trưng bằng các thông số thể tích V, áp suất p, nhiệt độ T. Nếu nhiệt độ của chất khí thay đổi, trong điều kiện ta giữ nguyên áp suất p, thể tích của khối khí này tại nhiệt độ t là:

$$V_t = V_0 (1 + \alpha.t) \qquad (1.5)$$

trong đó V_0 là thể tích của khối khí ở 0^0C, V_t là thể tích của khối khí ở nhiệt độ t, α gọi là hệ số dãn nở thể tích của khí do nhiệt. Giá trị của α khác nhau không nhiều đối với các chất khí khác nhau, nhưng nói chung đối với các khí loãng thì:

$$\alpha = \frac{1}{273{,}16^0} \qquad (1.6)$$

Biểu thức (1.5) được gọi là định luật thứ nhất của Gay - Lussac. Từ biểu thức (1.5) ta suy ra rằng khi nhiệt độ t tiến về phía âm gần đến giá trị - $273{,}16^0$C (gần 0^0K) thì thể tích của khí sẽ gần đến 0 trong điều kiện giữ cho áp suất không đổi.

b. Sự thay đổi của thể tích các chất lỏng do nhiệt độ thay đổi khi áp suất không đổi cũng được mô tả bằng biểu thức tương tự biểu thức (1.5) tuy nhiên hệ số α đối với chất lỏng nhỏ hơn của chất khí từ 2 đến 20 lần. Nếu hạ nhiệt độ mãi thì chất lỏng a sẽ biến thành chất rắn (sự đông đặc), lúc đó hệ số thay đổi nhỏ hơn nữa. Ngược lại nếu tăng nhiệt độ đến một lúc nào đó chất lỏng hoá thành hơi hết và hệ số α cũng thay đổi, lớn lên nhiều lần.

c. Với chất rắn: Giả sử ở 0^0C vật rắn có chiều dài L_0, thể tích V_0. Khi tăng nhiệt độ lên t^0C thì nó có chiều dài là L_t, thể tích V_t. Từ thực nghiệm thu được các biểu thức:

$$L_t = L_0 (1 + \alpha.t) \qquad (1.7)$$

$$V_t = V_0 (1 + \beta.t) \qquad (1.8)$$

http://tieulun.hopto.org

α ở đây gọi là hệ số nở dài: với các vật đẳng hướng như vô định hình, đa tinh thể... thì α bằng nhau theo mọi hướng. Với đơn tinh thể thì α phụ thuộc hướng khảo sát. β gọi là hệ số nở khối; trong một mức chính xác vừa đủ, người ta thấy:

$$\beta = 3\alpha \qquad (1.9)$$

Nói chung, vật ở thể rắn dãn nở ít hơn nhiều so với khi nó ở thể lỏng hay thể khí, nhưng đặc điểm dãn nở của vật rắn lại được quan tâm đến và ứng dụng nhiều trong kỹ thuật.

Hệ số β đối với các vật rắn khác nhau thì rất khác nhau và nhỏ hơn chất khí từ 40 đến 800 lần. Hệ số dãn nở do nhiệt thấp một cách đặc biệt ở thuỷ tinh thạch anh, do đó người ta dùng thuỷ tinh thạch anh để làm các dụng cụ thí nghiệm chịu những thay đổi lớn của nhiệt độ.

Người ta cũng thấy có những chất rắn và lỏng (thí dụ loại thủy tinh đặc biệt, cao su nằm trong trạng thái kéo căng) có khoảng nhiệt độ xác định để cho α có giá trị âm. Nước trong khoảng 0 - 4°C cũng thuộc loại chất trên: Thể tích của một khối lượng nước xác định ở 4°C là nhỏ nhất, nghĩa là khối lượng riêng của nó lớn nhất.

2. Nhiệt lượng

2.1. Nhiệt lượng - đơn vị đo nhiệt lượng

Cho hai vật nhiệt độ khác nhau tiếp xúc nhau đồng thời cô lập với môi trường xung quanh. Ta giả thiết là trong hệ này không xảy ra phản ứng hoá học nào, do đó kết quả của sự cân bằng nhiệt là chúng có cùng nhiệt độ t. Giả sử rằng nhiệt độ ban đầu của chúng là t_2 và t_1 với $t_2 > t_1$. Kết quả thu được:

$$t_2 > t > t_1$$

Ta thấy ở đây vật thứ nhất khối lượng m_1 đã nóng lên, còn vật thứ hai thì nguội đi, tức là đã có một quá trình truyền phần năng lượng có liên quan đến nhiệt độ từ vật thứ hai sang vật thứ nhất. Những kết quả thực nghiệm cho thấy thiết lập được hệ thức:

$$c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t) \qquad (1.10)$$

c_1 và c_2 là các hệ số tỷ lệ chắc chắn tương ứng phụ thuộc vào bản chất vật thứ nhất và bản chất vật thứ hai.

Hệ thức (1.10) có thể được viết đơn giản hơn nếu ta đưa vào một đại lượng mới ký hiệu là Q và được xác định bằng dạng sau:

$$\Delta Q = mc.\ \Delta t = mc.\ \Delta T \qquad (1.11)$$

Q gọi là nhiệt lượng. Nếu nhiệt độ của vật nào đó bị tăng thì ta nói vật đó nhận được nhiệt lượng. Nhiệt lượng có mặt ở cả 2 vế của biểu thức (1.10); ở vế trái nhiệt lượng bị thu bởi vật lạnh hơn, còn ở vế phải nhiệt lượng bị trao bởi vật nóng hơn, tức là nhiệt lượng trao bằng nhiệt lượng nhận. Bản chất của biểu thức (1.10) là

http://tieulun.hopto.org

định luật bảo toàn năng lượng: nhiệt lượng không được tạo ra và không bị mất đi mà chỉ bị trao đổi. Đơn vị đo nhiệt lượng là calo (cal), đó là nhiệt lượng làm nóng 1 gam nước từ $14,5^0$C đến $15,5^0$C.

$$1 \text{ kcal} = 10^3 \text{ cal}$$

2.2. Tỷ nhiệt (nhiệt dung riêng). Nhiệt dung

Hệ số c có mặt trong biểu thức (1.10) hay (1.11) đặc trưng cho bản chất của vật chất thu nhiệt hay trao nhiệt, gọi là tỷ nhiệt hay nhiệt dung riêng.

$$c = \frac{AQ}{m.\Delta t} \qquad (1.12)$$

Đơn vị đo tỷ nhiệt là cal/độ.g

Số trị tỷ nhiệt của vật chất đã cho bằng nhiệt lượng cần truyền cho một đơn vị khối lượng vật chất đó để nó tăng lên 1^0C.

Tỷ nhiệt bị thay đổi theo nhiệt độ, nhưng tại nhiệt độ phòng thì những chênh lệch về tỷ nhiệt của vật do nhiệt độ nhỏ đến mức ta có thể bỏ qua.

Nhiệt dung của một vật nào đó là tích số của khối lượng và tỷ nhiệt của nó. Đơn vị đo nhiệt dung là cal/độ. Người ta gọi nhiệt dung của một mol (phân tử gam) vật chất là nhiệt dung phân tử gam.

Tỷ nhiệt trung bình của cơ thể người là 0,8 cal/g độ tức là gần bằng tỷ nhiệt của nước, phù hợp với dữ kiện là nước chiếm tới 70% trọng lượng cơ thể. Ngoài ra người ta còn nhận thấy tỷ nhiệt của các mô và cơ quan của cơ thể rất khác nhau, giá trị càng gần tỷ nhiệt của nước khi tỷ lệ nước trong mô càng lớn. Thí dụ tỷ nhiệt của máu là 0,93 còn của xương đặc khoảng 0,3 - 0,4 cal/g. độ.

2.3. Đo nhiệt lượng

Các dụng cụ dùng để đo nhiệt lượng được gọi là nhiệt lượng kế. Nhiệt lượng kế nước là nhiệt lượng kế đơn giản nhất. Phần chính của nó là một bình mỏng chứa đầy nước, cách nhiệt khỏi môi trường ngoài, nhiệt kế và que khuấy được nhúng vào trong bình. Để giảm bớt truyền nhiệt ra ngoài người ta dùng bình 2 lớp, ở giữa là khoảng chân không. Nước thu hoặc trao nhiệt lượng cho vật đưa vào trong nhiệt lượng kế. Khi biết tỷ nhiệt của nước, khối lượng và nhiệt độ của nó, nhờ biểu thức (1.11) ta tính được nhiệt lượng trao đổi. Với các phép đo cẩn thận, cần bổ sung thêm nhiệt lượng do bình, que khuấy, nhiệt kế đã hấp thu.

2.4. Nhiệt lượng khi chuyển trạng thái rắn - lỏng

Ta đốt nóng một vật kết tinh tại áp suất không đổi. Nếu sự biến đổi hoá học không xảy ra trong thời gian này thì vật bắt đầu nóng chảy tại nhiệt độ xác định, đó là nhiệt độ nóng chảy của vật tương ứng với áp suất đã cho.

http://tieulun.hopto.org

Mặc dầu nhiệt độ của vật không thay đổi trong quá trình nóng chảy, ta vẫn phải cung cấp nhiệt lượng cho vật nóng chảy hoàn toàn thành chất lỏng, sau đó nếu tiếp tục cung cấp nhiệt lượng thì nhiệt độ của chất lỏng thu được mới tiếp tục tăng.

Ta ký hiệu ΔQ là nhiệt lượng cần thiết cung cấp để vật khối lượng Δm ở nhiệt độ nóng chảy và áp suất xác định nóng chảy hoàn toàn vẫn ở nhiệt độ và áp suất ấy; tỷ số:

$$L = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \qquad (1.13)$$

được gọi là nhiệt nóng chảy.

Đơn vị đo nhiệt nóng chảy là cal/g hay kcal/kg.

Nhiệt nóng chảy là đại lượng đặc trưng đối với bản chất vật chất, số trị của nó bằng nhiệt lượng cần thiết để nóng chảy một đơn vị khối lượng vật chất đã ở nhiệt độ nóng chảy và áp suất xác định được nóng chảy hoàn toàn vẫn ở nhiệt độ và áp suất ấy.

Sự đông đặc là quá trình ngược lại sự nóng chảy, nó xảy ra tại cùng nhiệt độ với sự nóng chảy (trừ sự quá lạnh): nhiệt độ đông đặc của một chất trùng với nhiệt độ nóng chảy của nó. Khi đông đặc, nhiệt lượng được giải phóng ra đúng bằng nhiệt lượng phải cung cấp khi nóng chảy. Vì thế số trị của nhiệt đông đặc hay nhiệt kết tinh, trùng với số trị của nhiệt nóng chảy.

Nhiệt lượng mà vật thu được hay giải phóng ra mà không kèm theo sự thay đổi nhiệt độ thường được gọi là nhiệt lượng ẩn. Nhiệt lượng nóng chảy, nhiệt lượng đông đặc là loại nhiệt lượng ẩn.

Những vật chất loại vô định hình (thí dụ thuỷ tinh, hắc ín, sáp ong...) trở nên mềm hay rắn dần dần dưới ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ nên ta không thể áp dụng ở trường hợp này các khái niệm nhiệt nóng chảy, nhiệt đông đặc.

Cùng với sự nóng chảy và sự đông đặc, xảy ra sự thay đổi thể tích dẫn đến sự thay đổi khối lượng riêng (mật độ). Khối lượng riêng của đại đa số vật chất khi nóng chảy bị giảm nhưng khi đông đặc lại tăng. Trừ có nước, khi đông đặc thì khối lượng riêng của nó giảm chừng 9% vì thế nước đá nổi trên mặt nước.

Các vật rắn trong những điều kiện bình thường không khi nào có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ nóng chảy của nó ở áp suất ấy. Sự nóng chảy nhất định xảy ra tại nhiệt độ nóng chảy. Tuy nhiên có thể làm lạnh các chất lỏng nằm yên tĩnh và không có bụi bẩn xuống dưới nhiệt độ đông đặc của nó khi hạ thấp dần nhiệt độ. Thí dụ có thể làm lạnh nước cất nhiều lần tới -5 ÷ -10°C, thậm chí với các giọt nước nhỏ tới - 70°C mà chưa hoá băng. Tuy nhiên trạng thái này không ổn định, chỉ cần rung động nhẹ hay một vài hạt bụi là nó đông đặc ngay lập tức. Từ đó ta rút ra kết luận: Những trạng thái rắn và lỏng của một chất chỉ có thể cùng tồn tại lâu tại nhiệt độ nóng chảy; chỉ tại nhiệt độ này hai trạng thái đó mới nằm cân bằng.

Người ta thấy nhiệt độ nóng chảy phụ thuộc vào áp suất bên ngoài. Khi tăng áp suất, với các chất dãn nở khi nóng chảy thì nhiệt độ tăng lên, còn đối với các chất co lại khi nóng chảy, nhiệt độ nóng chảy giảm xuống.

http://tieulun.hopto.org

Thí dụ tuyết tan dưới chân ta ở nhiệt độ thấp hơn 0°C một chút, khi đi khỏi, tuyết lại đóng băng ngay.

3. Liên hệ giữa nhiệt lượng và công

3.1. Công

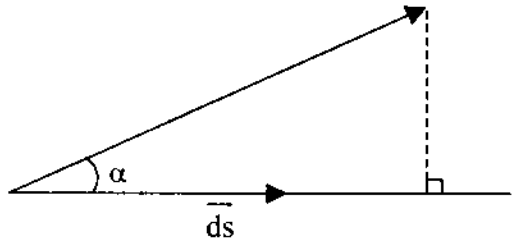
3.1.1. Công

Hàng ngày khi ta nâng một vật nặng lên cao, đẩy cánh cửa, đẩy xe nôi trên đường phố, ta đã thực hiện một công. Rõ ràng là công sẽ càng lớn khi lực càng lớn và chuyển dời càng xa. Như vậy công là một đại lượng đặc biệt đặc trưng cho tác dụng của một vật này lên vật khác và gây ra sự dịch chuyển.

Tương tác của vật được đo bằng lực tương tác giữa chúng. Công cơ học, ký hiệu bằng chữ A đặc trưng cho sự tương tác về phương diện năng lượng.

Tác dụng lên vật một lực F trong khoảng thời gian dt, vật dịch chuyển một khoảng ds dọc theo phương của lực thì công thực hiện được là:

$$dA = F.ds$$



Hình 1.3

Nếu F và ds tạo góc α (hình 1.3) thì $dA = |\vec{F}|.|\vec{dS}|.\cos\alpha$ (1.14)

Hay $dA = \vec{F}.\vec{ds}$ (1.14)'

Ta cần chú ý công thức (1.14) như sau:

- Công dA là một số đại số, dấu tuỳ thuộc giá trị cos α:

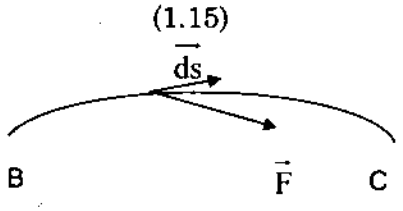
+ Nếu $\alpha < \frac{\pi}{2}$, $\cos\alpha > 0 \rightarrow dA > 0$ ta nói lực F sinh công phát động.

+ Nếu $\frac{\pi}{2} < \alpha$, $\cos\alpha < 0 \rightarrow dA < 0$ ta nói lực F sinh công cản.

Do tác dụng của lực F, vật chuyển động trên đoạn đường từ B đến C (hình 1.4) thì:

$$A = \int_{BC} dA = \int_{BC} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (1.15)$$

Đơn vị đo công trong hệ SI là Joule (J). Joule là công của lực 1 Niutơn làm vật dịch 1m (1J = 1N.m). Từ biểu thức (1.4) ta cũng thấy ngay là công đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng



Hình 1.4

http://tieulun.hopto.org

trong chuyển động có hướng của vật. Cùng một công, vật có thể thực hiện được trong các khoảng thời gian khác nhau. Để đánh giá tốc độ thực hiện công (sự mạnh yếu của một máy sinh công) người ta dùng một đại lượng gọi là công suất P, đó là công sinh ra trong một đơn vị thời gian. Từ (1.14) ta có:

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F}.d\vec{s}}{dt} = \vec{F}.\vec{v} = |\vec{F}||\vec{v}|.\cos\alpha \qquad (1.16)$$

Công suất có giá trị bằng tích vô hướng của lực tác dụng với vectơ vận tốc.

- Trong hệ SI đơn vị công suất là oat (W):

$$1W = \frac{1J}{1s}$$

Người ta hay dùng các đơn vị bội của Joule và oat sau:

1 kiloJoule = 1kJ = 1000J

1 kiloat = 1kW = 1000 W

1kiloat. giờ = kWh = 3.600.000 J

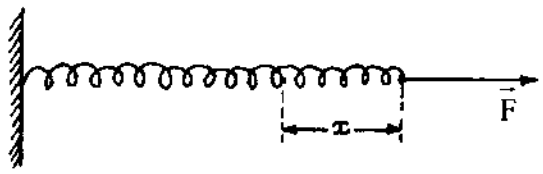
3.1.2. Công sinh ra do lực gây biến dạng:

Khi một vật biến dạng dưới tác dụng của một lực ngoài nào đó, điểm đặt của lực gây biến dạng sẽ rời chỗ, lực thực hiện một công. Công này là độ đo năng lượng. Nếu vật đó là một vật đàn hồi thì khi nó biến dạng, công này đã làm tăng năng lượng dự trữ của vật bị biến dạng, phần năng lượng ấy được gọi là thế năng biến dạng.

Kết quả là với một vật đàn hồi, mức độ biến dạng và độ lớn của lực có liên hệ chặt chẽ.

Thí dụ: để làm biến dạng, điểm đặt lực gây biến dạng dịch chuyển khoảng ds, tốn công dA = F.ds.

Nếu như bây giờ vật dãn ra một khoảng ds, nó tác động ra bên ngoài một lực F cùng độ lớn nhưng ngược chiều với lực gây biến dạng và thực hiện công cùng độ lớn dA. Hơn nữa bây giờ vật bị biến dạng lại chuyển năng lượng biến dạng của vật ra phía ngoài. Thường thì mức độ biến dạng là hàm của độ lớn lực gây biến dạng; độ lớn của lực lại thay đổi theo sự biến dạng, kết quả là công không còn là tích đơn giản của lực và độ dịch chuyển của điểm đặt lực vì lực thay đổi và là hàm của độ dịch chuyển của điểm đặt lực.



Hình 1.5

http://tieulun.hopto.org

Trong trường hợp sự biến dạng tỷ lệ lực tác dụng thì dễ dàng tính công gây nên sự biến dạng. Thí dụ: một cái lò so được kéo căng ra (hình 1.5), lực F tác dụng lên lò so phụ thuộc độ dịch chuyển của điểm đặt lực kéo theo biểu thức:

$$F = k.x \qquad (1.17)$$

x cũng là phần dài thêm của lò so, k là hệ số cứng của lò so; k có thứ nguyên N/m và có số trị bằng số lực gây biến dạng lò so một đơn vị chiều dài. Dĩ nhiên ta có công phải tiêu tốn cho lò so được kéo dài thêm từ x đến x + dx:

$$dA = F.dx = k.xdx$$

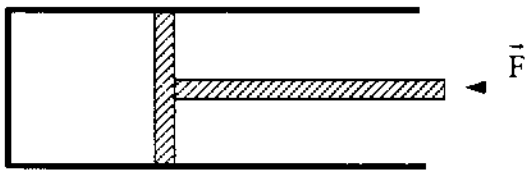
Như vậy công tổng cộng để kéo dài lò so từ x = 0 đến x = x_0 là:

$$A = \int_0^{x_0} F.dx = k\int_0^{x_0} xdx = \frac{1}{2}kx_0^2 \qquad (1.18)$$

Công này bằng thế năng của lò so bị kéo dài (hay nén) một lượng x_0 khi nó có hệ số cứng là k.

Khi lò so nén dãn có thể làm một vật nào đó dịch chuyển. Với một lò so đàn hồi lý tưởng thì lực tác dụng lên vật có thể tính theo công thức (1.17). Năng lượng của lò so nén sẽ hoàn toàn chuyển sang vật đặt lên lò so khi nó dãn ra.

3.1.3. Xét một hệ là một khối khí ở bên trong một bình được nén dãn bằng một pistông bởi một lực bên ngoài, ta có do lực song song với chiều dịch chuyển của pistông (hình 1.6).



Hình 1.6

$dA = F_{ngoài}.dx$

Khi hệ bị nén, hệ nhận năng lượng dA > 0

Khi hệ dãn, hệ mất năng lượng, dA < 0

Tại mỗi thời điểm, khi áp suất khối khí p cân bằng (bằng về độ lớn nhưng ngược chiều) với áp suất nén ở bên ngoài, ta có:

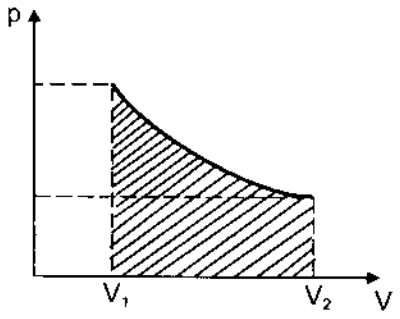
$$dA = F_{ngoài}.\ dx = -\ p.S.dx = -\ pdv \qquad (1.19)$$

Giả thiết rằng khi nhiệt độ T không đổi, hệ chuyển từ trạng thái có thể tích V_1 sang trạng thái có thể tích V_2 thì:

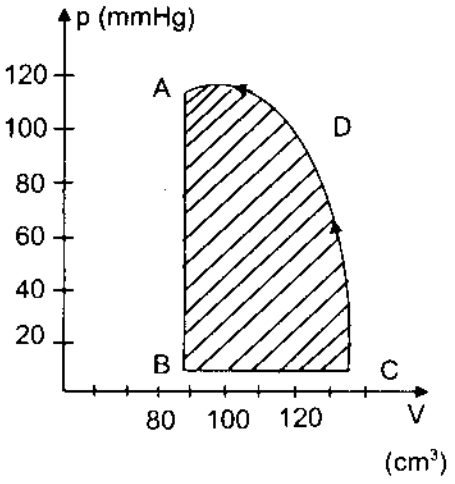
http://tieulun.hopto.org

$$A = -\int_{V_1}^{V_2} p.dV \qquad (1.20)$$

Hình 1.7: Diễn tả một quá trình đẳng nhiệt (T không đổi). Công được tính bằng phần diện tích kẻ sọc chéo.



Hình 1.7



Hình 1.8

Ví dụ: Tính công do tim sinh ra trong một chu kỳ co bóp.

Vì nhiệt độ cơ thể coi là không đổi nên ta tính tương tự trường hợp đẳng nhiệt trên.

Hình 1.8 diễn tả sự phụ thuộc của áp suất máu trong tâm thất trái (hoặc của thành tâm thất trái tác dụng lên máu) vào thể tích của tâm thất trái trong một chu kỳ co bóp của tim. Với quan điểm cơ học, tâm thất trái đóng vai trò chủ yếu.

Đoạn đường cong ABC ứng với tâm trương, trong đó AB là giai đoạn giãn đẳng tích của tâm thất trái; lúc đó áp suất nén của thành tâm thất trái lên máu giảm từ 120 Tor (mmHg) xuống còn vài Tor trong khi thể tích của tâm thất trái giữ hầu như không đổi ở khoảng 80cm^3; BC là giai đoạn nạp máu vào, thể tích của tâm thất trái tăng từ 80cm^3 lên đến 160cm^3, còn áp suất có giá trị vài Tor.

Đoạn đường cong CDA ứng với tâm thu, trong đó CD là giai đoạn nén đẳng tích của cơ tim, thể tích của buồng thất trái tuy không thay đổi nhưng áp suất của thành thất trái tác dụng lên máu tăng từ vài Tor lên tới 100 Tor. DA là giai đoạn phụt tâm thu, máu được đẩy sang động mạch, áp suất lên tới 120 Tor.

Đường cong diễn tả chu trình trên gần giống một hình thang, ta có thể dễ dàng tính được công sinh ra trong một chu trình co bóp của tim vào khoảng 1,2 J. Giả sử tần số co bóp của tim là 60 lần trong một phút thì ta có công suất của tim là 1,2 W. Tính toán với thất phải cho công suất 0,2 W. Vậy công suất của tim là 1,4 W.

Chú ý: Hàm trạng thái là hàm nhận các giá trị chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối của hệ mà không phụ thuộc vào quá trình diễn biến.

http://tieulun.hopto.org

Vì yếu tố vô cùng bé dA không phải là một vi phân toàn phần chính xác, không phải là một hàm trạng thái, nên người ta viết công vô cùng bé dưới dạng δA, do đó:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \delta A = -\int_{V_1}^{V_2} p.d.V$$

3.2. Liên hệ giữa công và nhiệt lượng

Từ những quan sát thực nghiệm chúng ta thấy trong chuyển động của một vật gặp lực ma sát cản, vật phải sinh công chống lại sự cản đó, hiện tượng nhiệt thông thường kéo theo là có sự nóng lên của vật chuyển động hoặc vật cản. Điều này có nghĩa là công có thể làm cho vật tăng nhiệt độ, hay nói khác đi, công có thể biến thành nhiệt lượng. Vậy có một sự liên hệ mật thiết giữa nhiệt và công. Bằng những thí nghiệm tỷ mỉ, thực hiện nhiều lần suốt từ năm 1843 đến năm 1878, Joule đã thiết lập được sự tương đương về nhiệt giữa nhiệt và công.

$$J = \frac{A}{Q} = 427 kgm/kcal = 4{,}18 J/cal \qquad (1.21)$$

Hoặc A = J.Q

II. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

1. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học

Năng lượng là độ đo dạng chuyển động xác định của vật chất, nó phản ánh khả năng sinh công của một hệ. Năng lượng có thể biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Trên cơ sở của mọi nghiên cứu tự nhiên, vật lý đã thiết lập được định luật tổng quát nhất là định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng:

"Năng lượng không tự nhiên xuất hiện và không thể biến mất, nó chỉ biến đổi từ dạng này sang dạng khác". Nghiên cứu các quá trình xảy ra trong cơ thể sống, người ta thấy nó cũng tuân theo một cách nghiêm túc định luật trên.

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học là cách biểu diễn định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng ứng dụng vào các hệ và các quá trình nhiệt động, trong đó khảo sát sự có mặt của nhiệt lượng, nội năng của hệ vật và công mà hệ thực hiện.

1.1. Nội năng

Người ta gọi nội năng của hệ là năng lượng dự trữ toàn phần của tất cả các dạng chuyển động và tương tác của tất cả các phần tử nằm trong hệ.

Năng lượng chuyển động nhiệt, năng lượng dao động của các phân tử, nguyên tử, năng lượng của điện tử quỹ đạo, năng lượng hạt nhân... là các thành phần khác nhau của nội năng.

Động năng của chuyển động tập thể của hệ, thế năng tương tác của hệ với môi trường xung quanh không được kể là thành phần của nội năng.

http://tieulun.hopto.org

Mỗi hệ đều có nội năng U xác định, ta chưa thể xác định trị số tuyệt đối U nhưng hoàn toàn xác định lượng thay đổi của nó là dU. Nội năng của hệ chỉ phụ thuộc vào trạng thái của hệ nên nó là hàm trạng thái. Nếu hệ thay đổi qua các trạng thái khác nhau rồi lại trở về trạng thái ban đầu (hệ thực hiện chu trình) thì:

$$\Delta U = 0$$

Nếu hệ từ trạng thái 1 biến đổi sang trạng thái 2 ta có:

$$\Delta U = \int_{U_1}^{U_2} dU = U_2 - U_1 \qquad (1.22)$$

1.2. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học

Giả sử có một hệ nào đó nhận nhiệt lượng δQ, nếu như hệ không thực hiện công đối với môi trường ngoài thì phần nhiệt lượng này hoàn toàn dùng làm tăng nội năng U của hệ vật thêm lượng dU.

Ta có:

$$\delta Q = dU$$

Nếu như hệ vật thực hiện công lên môi trường ngoài δA thì công này lấy ở phần nhiệt lượng mà vật thu được do đó:

$$\delta A = \delta Q - dU$$

hay

$$\delta Q = dU + \delta A \qquad (1.23)$$

Đó là biểu thức toán học của nguyên lý thứ nhất nhiệt động học, được phát biểu như sau:

Nhiệt lượng truyền cho hệ dùng làm tăng nội năng của hệ và biến ra công thực hiện bởi lực của hệ đặt lên môi trường ngoài.

Từ biểu thức (1.23) ta thấy nếu δQ = 0 thì δA = -dU, nghĩa là nếu không cung cấp nhiệt lượng cho hệ, hệ muốn sinh công δA thì buộc phải giảm nội năng một lượng dU.

Cũng trong trường hợp δQ = 0 (không nhận năng lượng từ ngoài), lại có dU = 0 (giả sử khi ấy hệ thực hiện một chu trình) thì buộc phải có δA = 0, điều đó nghĩa là hệ không thể sinh công, nói khác đi là không thể tồn tại những động cơ vĩnh cửu loại một, là những động cơ không cần cung cấp năng lượng δQ cũng sinh công δA mà nội năng lại không thay đổi.

Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học được rút ra từ thực nghiệm, nó không cho biết dạng năng lượng này có thể biến đổi hoàn toàn thành dạng năng lượng khác hay không mà chỉ cho biết sự tương đương về lượng giữa chúng mà thôi. Nguyên lý áp dụng cho thế giới vật chất nói chung, đối với hệ sinh vật người ta thấy nó vẫn hoàn toàn đúng.

http://tieulun.hopto.org

Vì yếu tố vô cùng bé dA không phải là một vi phân toàn phần chính xác, không phải là một hàm trạng thái, nên người ta viết công vô cùng bé dưới dạng δA, do đó:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \delta A = -\int_{V_1}^{V_2} p.d.V$$

3.2. Liên hệ giữa công và nhiệt lượng

Từ những quan sát thực nghiệm chúng ta thấy trong chuyển động của một vật gặp lực ma sát cản, vật phải sinh công chống lại sự cản đó, hiện tượng nhiệt thông thường kéo theo là có sự nóng lên của vật chuyển động hoặc vật cản. Điều này có nghĩa là công có thể làm cho vật tăng nhiệt độ, hay nói khác đi, công có thể biến thành nhiệt lượng. Vậy có một sự liên hệ mật thiết giữa nhiệt và công. Bằng những thí nghiệm tỷ mỉ, thực hiện nhiều lần suốt từ năm 1843 đến năm 1878, Joule đã thiết lập được sự tương đương về nhiệt giữa nhiệt và công.

$$J = \frac{A}{Q} = 427 kgm/kcal = 4{,}18 J/cal \qquad (1.21)$$

Hoặc A = J.Q

II. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG HỌC

1. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học

Năng lượng là độ đo dạng chuyển động xác định của vật chất, nó phản ánh khả năng sinh công của một hệ. Năng lượng có thể biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Trên cơ sở của mọi nghiên cứu tự nhiên, vật lý đã thiết lập được định luật tổng quát nhất là định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng:

"Năng lượng không tự nhiên xuất hiện và không thể biến mất, nó chỉ biến đổi từ dạng này sang dạng khác". Nghiên cứu các quá trình xảy ra trong cơ thể sống, người ta thấy nó cũng tuân theo một cách nghiêm túc định luật trên.

Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học là cách biểu diễn định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng ứng dụng vào các hệ và các quá trình nhiệt động, trong đó khảo sát sự có mặt của nhiệt lượng, nội năng của hệ vật và công mà hệ thực hiện.

1.1. Nội năng

Người ta gọi nội năng của hệ là năng lượng dự trữ toàn phần của tất cả các dạng chuyển động và tương tác của tất cả các phần tử nằm trong hệ.

Năng lượng chuyển động nhiệt, năng lượng dao động của các phân tử, nguyên tử, năng lượng của điện tử quỹ đạo, năng lượng hạt nhân... là các thành phần khác nhau của nội năng.

Động năng của chuyển động tập thể của hệ, thế năng tương tác của hệ với môi trường xung quanh không được kể là thành phần của nội năng.

http://tieulun.hopto.org

2. Áp dụng nguyên lý thứ nhất cho hệ thống sống

Hoạt động sinh công của cơ thể sống có điểm khác với quá trình sinh công của máy nhiệt thông thường. Ở hệ thống sống, dù là cơ thể toàn vẹn hay ở các cơ quan riêng biệt, công sinh ra không phải do dòng nhiệt lượng từ bên ngoài đi vào cơ thể. Ta lấy ví dụ đơn giản sau đây để minh họa. Ta biết rằng hiệu suất của một máy nhiệt được xác định theo biểu thức:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (1.24)$$

trong đó T_1 là nhiệt độ tuyệt đối của nguồn nhiệt, T_2 là nhiệt độ tuyệt đối của nguồn làm lạnh. Giả sử như hoạt động của cơ có sinh công, cơ hoạt động như một máy nhiệt với hiệu suất 33%, nhiệt độ nơi làm lạnh (không khí) là 25^0C hay 298^0K.

Dùng công thức (1.24) ta có: $\frac{1}{3} = \frac{T_1 - 298}{T_1}$

Rút ra $T_1 = 447^0$K hay 174^0C

Thành thử, nếu cơ hoạt động như một máy nhiệt thông thường thì để sinh công nó phải được đun nóng tới 174^0C, điều đó rõ ràng là không thực tế bởi vì các phân tử protein cấu tạo nên bắp cơ đã bị phân huỷ ngay từ nhiệt độ $40^0 \div 60^0$C.

Như vậy thì ở cơ thể sống, công được sinh ra là do sự thay đổi nội năng của hệ thống nhờ các quá trình hoá sinh hoặc nhờ sự thay đổi yếu tố entropi.

Tính chất sinh nhiệt là tính chất tổng quát của vật chất sống, nó cũng đặc trưng cho tế bào đang có chuyển hoá cơ bản. Những chức năng sinh lý bất kỳ cũng kéo theo sự sinh nhiệt. Đối với động vật và con người, nguồn gốc của nhiệt lượng là thức ăn. Thức ăn được cơ thể sử dụng thông qua quá trình đồng hoá để cải tạo các tổ chức tạo thành chất dự trữ vật chất và năng lượng trong cơ thể, phát sinh nhiệt để duy trì nhiệt độ cơ thể chống lại sự mất mát nhiệt vào môi trường xung quanh, dùng để sinh công trong các hoạt động cơ học của cơ thể có sinh công.

Nhiều thí nghiệm trên động vật và người chứng tỏ rằng khi không sinh công ở môi trường ngoài, lượng nhiệt tổng cộng do cơ thể sinh ra gần bằng lượng nhiệt sinh ra do đốt các vật chất hữu cơ nằm trong thành phần thức ăn cho tới khi thành CO_2 và H_20

Nếu ta gọi ΔQ là nhiệt lượng sinh ra trong quá trình đồng hoá thức ăn, ΔE là phần mất mát năng lượng vào môi trường xung quanh, ΔA là công mà cơ thể thực hiện để chống lại lực của môi trường ngoài, ΔM là năng lượng dự trữ dưới dạng hoá năng thì nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học áp dụng cho hệ thống sống được viết dưới dạng:

$$\Delta Q = \Delta E + \Delta A + \Delta M \qquad (1.25)$$

http://tieulun.hopto.org

Đây cũng là phương trình cơ bản của cân bằng nhiệt đối với cơ thể người. Dưới đây là một kết quả đo về cân bằng nhiệt một người sau một ngày một đêm:

Thức ăn đưa vào cơ thể:

Protein	56,8g	tạo	237kcal
Lipid	140,0g	tạo	1307 kcal
Glucid	79,98g	tạo	335kcal
Cộng:			1879 kcal

Năng lượng toả ra:

Năng lượng toả ra xung quanh	1374 kcal
Nhiệt lượng toả ra qua khí thải	43kcal
Phân và nước tiểu	23 kcal
Nhiệt lượng bốc hơi qua hô hấp	181kcal
Nhiệt lượng bốc hơi qua da	227kcal
Các số hiệu chính khác	31 kcal
Cộng:	1879kcal

Hiện nay người ta qui ước chia nhiệt lượng sinh ra trên cơ thể ở thời điểm cho trước ra hai loại: nhiệt lượng sơ cấp (cơ bản) và nhiệt lượng thứ cấp (tích cực). Nhiệt lượng sơ cấp xuất hiện do kết quả phân tán năng lượng nhiệt tất nhiên trong quá trình trao đổi vật chất vì những phản ứng hoá sinh xảy ra không thuận nghịch. Nhiệt lượng này phát ra lập tức ngay sau khi cơ thể hấp thu oxy và thức ăn.

Gần 50% năng lượng xuất hiện trong quá trình oxy hoá thức ăn được dự trữ trong các liên kết giầu năng lượng (ATP). Khi các liên kết này đứt, chúng giải phóng năng lượng để thực hiện một công nào đấy, rồi cuối cùng cũng biến thành nhiệt. Nhiệt lượng toả ra khi đứt các liên kết giàu năng lượng dự trữ sẵn trong cơ thể và để điều hoà các hoạt động chủ động của cơ thể được qui ước là nhiệt lượng thứ cấp.

Ở những điều kiện bình thường, trong cơ thể có sự cân bằng giữa các loại nhiệt lượng này, tức là sự giảm nhiệt lượng sơ cấp dẫn tới tăng nhiệt lượng thứ cấp và ngược lại. Tỷ lệ giữa hai loại nhiệt lượng này có thể thay đổi và do những nguyên nhân:

– Với các quá trình hoạt động sống bình thường của cơ thể, lượng năng lượng dự trữ vào các liên kết giàu năng lượng chiếm khoảng 50%. Với các quá trình bệnh lý thì phần năng lượng do cơ thể toả ra ở dạng nhiệt lượng sơ cấp sẽ chiếm phần lớn vì khi ấy cường độ tạo các liên kết giàu năng lượng giảm xuống.

– Tỷ lệ trên luôn phụ thuộc vào tỷ lệ cường độ toả nhiệt và cường độ sinh nhiệt. Khi tăng sự toả nhiệt thì xảy ra tăng sinh nhiệt, điều đó dẫn tới bảo toàn giá

http://tieulun.hopto.org

trị không đổi của nhiệt độ cơ thể. Trong rất nhiều trường hợp thì nguồn gốc của việc tăng cường sinh nhiệt là sự sử dụng nhiệt lượng loại hai thông qua việc tăng cường các phản ứng động lực của cơ thể, chẳng hạn phản ứng men. Khi ấy năng lượng dự trữ của hệ sẽ giảm đi. Thí dụ động vật máu nóng khi gặp môi trường lạnh hơn nhiệt độ cơ thể, nhiệt thường xuyên toả ra môi trường. Nhiệt lượng này, như trên đã nói, là nhiệt lượng loại hai, sinh ra do co cơ (men). Cũng có thể nhiệt lượng toả ra một phần lấy ở việc tăng cường sinh nhiệt của cơ thể không cần phản ứng men. Thí dụ người ta quan sát thấy nhiều động vật trong quá trình ngủ đông đã duy trì nhiệt độ cơ thể bằng cách tiêu dần lượng mỡ dự trữ trong cơ thể.

3. Một số quá trình biến đổi năng lượng trên cơ thể sống

3.1. Năng lượng trong quá trình co cơ

Hầu hết công do cơ thể sinh ra là kết quả của sự co cơ. Khi co cơ, chiều dài bị rút ngắn và tạo nên một lực; lực này có giá trị phụ thuộc vào chiều dài cơ. Gọi x là chiều dài cơ, dx là biến đổi rất nhỏ của chiều dài cơ, F (x) là lực phát sinh do cơ co, ta có thể viết công A do cơ sinh ra là:

$$A = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx$$

Việc tính A về lý thuyết có thể dựa vào đồ thị trên hình 1.9; một cách gần đúng có thể dùng công thức suy ra từ đồ thị này:

$$A_{max} = 0,45\ F_{max}.\Delta x_{max} \qquad (1.26)$$

trong đó F_{max} là lực lớn nhất do co cơ sinh ra, Δx_{max} là chiều dài bị rút ngắn lớn nhất của cơ.

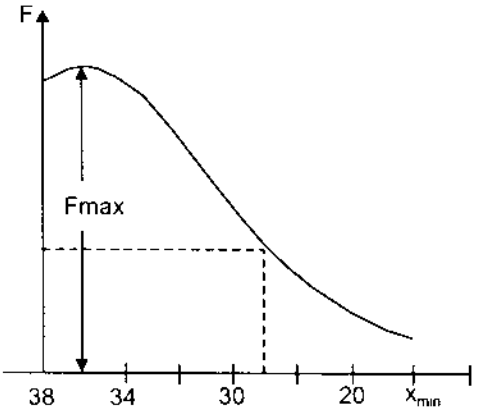
Như ta đã biết, cơ sử dụng năng lượng không phải chỉ để tạo ra công cơ học. Một phần lớn năng lượng đó được dùng để duy trì sự căng thẳng của cơ và một phần chuyển thành nhiệt năng. Phần năng lượng chuyển thành nhiệt năng khoảng $1,6.10^{-3}$J/kg.s. Khi cơ co giá trị đó tăng lên nhiều lần.

Hiệu suất của công do co cơ có thể tính bằng tỷ số giữa công A_c trong thực tế và công tổng cộng A_{max} mà đáng ra cơ phải thực hiện được theo lý thuyết khi sử dụng một giá trị năng lượng tương ứng:

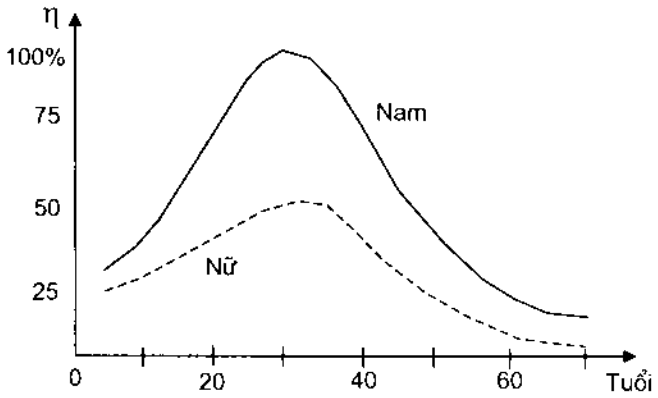
$$\eta = \frac{A_c}{A_{max}} \qquad (1.27)$$

Hiệu suất này chỉ đạt khoảng 20 ÷ 30% nếu xét từng cơ riêng rẽ, hiệu suất còn phụ thuộc vào giới tính, vào tuổi tác (hình 1.10) và thay đổi tuỳ theo sự tập luyện của cơ. Ở đồ thị này, người ta lấy 100% là hiệu suất của lứa tuổi 25-28, đạt tới tối đa.

http://tieulun.hopto.org



Hình 1.9



Hình 1.10

Tuy vậy do sự phối hợp của nhiều cơ trong từng nhóm khi hoạt động nên hiệu suất có thể lớn hơn. Điều cần nhấn mạnh về sự khác nhau của máy cơ học và bắp cơ của sinh vật là ở chỗ trong bắp cơ một phần hoá năng được chuyển thẳng sang cơ năng và phần còn lại chuyển sang nhiệt năng, trong lúc đó ở các máy cơ học trước hết các năng lượng phải được chuyển thành nhiệt năng rồi từ đó mới chuyển sang dạng cơ năng.

Năng lượng dùng khi co cơ lấy trực tiếp từ ATP. Lượng ATP có sẵn trong cơ không nhiều, người ta đã thấy rằng năng lượng trực tiếp từ lượng ATP có sẵn trong cơ không đủ cho cơ hoạt động trong vòng một giây. Vì vậy để cơ hoạt động được liên tục phải có quá trình tổng hợp ATP tại cơ. Việc tổng hợp này thực hiện được nhanh chóng nhờ trong cơ có một hợp chất giàu năng lượng khác là phosphocreatin, ATP được tổng hợp trong cơ qua phản ứng sau đây:

$$\text{Phosphocreatin} + \text{ADP} \longrightarrow \text{ATP} + \text{creatin}$$

Quá trình tổng hợp này cũng rất ít, nghĩa là cũng chỉ đủ cho cơ hoạt động trong mấy giây. Khi các nguồn dự trữ này cạn, ATP được tổng hợp theo một cơ chế khác nhờ sự phân huỷ glycogen. Glycogen là một dạng tích trữ của glucose có nhiều trong cơ. Năng lượng được giải phóng khi phân huỷ glycogen được dùng để tổng hợp ATP. Có thể biểu diễn một cách tổng quát quá trình đó như sau:

$$\text{Glucose} + 3H_3PO_4 + 2\text{ADP} \longrightarrow 2\ \text{lactat} + 2\text{ATP} + 2\ H_2O$$

Khi lượng ATP được tổng hợp nhiều thì lượng lactat càng tích tụ nhiều và kìm hãm quá trình tổng hợp ATP. Nhờ phương thức trên nên khi co cơ mạnh mà máu nhất thời không được cung cấp đủ để mang lại cho các phản ứng hoá sinh, cơ vẫn có đủ năng lượng để hoạt động. Đó là quá trình cung cấp năng lượng yếm khí cho cơ.

3.2. Công trong hô hấp

Đó là công được thực hiện bởi các cơ hô hấp để thắng tất cả các lực cản khi thông khí. Vai trò của các cơ riêng biệt, hoạt động của chúng ở các giai đoạn khác nhau của chu kỳ hô hấp và ở các điều kiện khác nhau được nghiên cứu bằng

http://tieulun.hopto.org

phương pháp ghi điện cơ. Việc đo công của các cơ hô hấp một cách trực tiếp không thực hiện được, vì vậy người ta thường dùng phương pháp gián tiếp để đo công hô hấp. Ở hệ hô hấp công được tính bằng tích số của áp suất và giá trị của thể tích thay đổi tương ứng. Vì áp suất khí trong hệ hô hấp là một đại lượng biến đổi nên việc xác định công A thực hiện lý thuyết theo tích phân:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p.dV$$

Trong thực tế có thể xác định A bằng phế dung kế.

Kết quả thu được là gần đúng, cho biết ở trạng thái tĩnh (thông khí dưới 10l/phút) công hô hấp khoảng 1 - 5J trong 1 phút. Khi tăng thể tích thở trong một phút, công hô hấp sẽ tăng nhưng không tỷ lệ vì điều đó liên quan đến sự tăng sức cản động học của các bộ phận dẫn khí. Khi thở sâu với tần số thở thích hợp thì chi phí công nhỏ nhất, điều đó thực hiện được nhờ hệ thống điều khiển hô hấp và quá trình tập luyện.

3.3. Năng lượng ở tim mạch

Tim hoạt động thường xuyên như một cái bơm liên tục để tạo được áp suất đẩy máu vào mạch. Do các van ở tim và ở mạch máu trong hệ tuần hoàn chuyển động theo một chiều xác định.

Công suất cơ học của tim vào khoảng 1,3 - 1,4 W. Giá trị này rất nhỏ so với giá trị chuyển hoá cơ bản của toàn cơ thể là khoảng 100W. Thực ra tim không phải chỉ thực hiện công cơ học. Cơ tim cũng như các cơ khác của cơ thể còn luôn luôn làm việc để giữ một độ căng nhất định ta gọi là trương lực. Giống như lúc ta chống tay lên thành ghế, tuy ta không di chuyển nghĩa là cơ không thực hiện một công cơ học nhưng mật độ căng của cơ đòi hỏi hoạt động tích cực của cơ và cuối cùng ta cũng mỏi tay. Người ta tính được rằng công suất tổng cộng của cơ vào 13W nghĩa là 13% chuyển hoá cơ bản toàn cơ thể. Công cơ học của tim tạo ra áp suất đẩy máu, phần còn lại tạo ra độ căng của cơ tức là trương lực cơ.

Để hiểu rõ hơn mối quan hệ giữa áp lực và trương lực của buồng tim ta phải vận dụng đến định luật Laplace. Định luật Laplace áp dụng chủ yếu cho một màng phân chia khoảng không gian thành 2 khu vực trong và ngoài màng. Mặt trong lõm và mặt ngoài lồi, có 2 đường kính của hai trục chính r_1 và r_2 vuông góc với nhau và có thể không bằng nhau. Áp suất trong màng p và sức căng T có mối liên hệ như sau:

$$p = T\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \qquad (1.28)$$

Nếu cơ tim bị bệnh, có thể bị giãn rộng và do đó các bán kính r_1 và r_2 của buồng tim tăng lên, lúc đó giá trị của T tăng lên bởi vì:

$$T = p\frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}$$

http://tieulun.hopto.org

Với một giá trị năng lượng nhất định, khi phần dành cho việc sinh trương lực T tăng lên thì giá trị công cơ học tạo ra p sẽ giảm xuống. Trạng thái đó nếu đến một giá trị nhất định, gọi là suy tim.

Cũng như các cơ khác, hoạt động của cơ tim đòi hỏi cung cấp năng lượng. Trong cơ thể, năng lượng này lấy từ liên kết hoá học giàu năng lượng ATP. ATP được sản xuất từ sự phân ly các đường glucose và oxy hoá phospholipid. Đặc điểm của cơ tim khác với cơ khác là cơ tim sử dụng năng lượng chủ yếu từ oxy hoá phospholipid chứ không phải từ phân tử đường đơn glucose. Ta biết rằng oxy hoá một phân tử lipid cung cấp nhiều năng lượng hơn là oxy hoá một phân tử glucose. Tuy nhiên trong những trường hợp mà lượng ATP trong cơ tim bị giảm nhiều thì quá trình phân ly glucose tăng lên. Do vậy xuất hiện những sản phẩm mới có hại như acid lactic. Sự suy giảm chuyển hoá phospholipid và khí oxy cung cấp cho cơ tim có thể gây nên tình trạng thiếu ATP ở cơ tim và làm yếu hoạt động của tim. Cũng phải nhấn mạnh thêm rằng hiệu suất sử dụng năng lượng để biến đổi thành công cơ học ở cơ tim có khi lên đến 20-30% (lúc lao động nặng). Đó là một hiệu suất rất lớn nếu so với các máy móc nhân tạo. Hiệu suất máy hơi nước chỉ 3,5% và máy nổ là 7,5%. Phần năng lượng còn lại được biến thành dạng nhiệt năng.

3.4. Nhiệt lượng và công phụ thuộc vào quá trình biến đổi trạng thái

3.4.1. Quá trình biến đổi trạng thái

Ta đã biết đặc trưng cho trạng thái của một khối khí nào đó có các thông số p, V, T. Với một hệ nhiệt động bất kỳ thì số thông số đặc trưng phụ thuộc vào mức độ phức tạp của hệ mà khái niệm pha cho thấy điều đó.

Pha là một vật thể đồng nhất về phương diện vật lý hoặc tập hợp những vật thể giống hệt như nhau và đồng nhất về phương diện vật lý. Chẳng hạn hơi nước tạo một pha, nước tạo một pha và nước đá (ở thể rắn) tạo một pha. Một hệ phức tạp có thể đồng thời tồn tại cả 3 pha trên. Khí lý tưởng là một thí dụ về hệ đơn giản chỉ gồm 1 pha, đặc trưng cho hệ này chỉ cần 2 trong 3 thông số p, V, T vì theo phương trình Clapeyron - Mendéléev có thể suy ra thông số thứ 3.

Ta hiểu trạng thái cân bằng là trạng thái mà các thông số đặc trưng cho hệ có giá trị xác định và không đổi khi không có những nguyên nhân bên ngoài làm thay đổi chúng. Chẳng hạn một hệ gồm nước và hơi bão hoà khi có cùng nhiệt độ T sẽ cân bằng vì đối với mỗi thứ có thể tích V xác định.

Nếu như nhiệt độ T thay đổi, ta thấy thể tích V của mỗi thứ thay đổi theo, ta bảo là hệ ở trạng thái không cân bằng.

Một thanh sắt mà nhiệt độ hai đầu thanh khác nhau cũng là một hệ không cân bằng. Một quá trình xảy ra trong hệ luôn liên quan với một dãy trạng thái không cân bằng, nhưng nếu quá trình diễn biến chậm đến nỗi với thời gian dt khá nhỏ ta coi các trạng thái là cân bằng thì quá trình trên gọi là một quá trình cân bằng. Như vậy một quá trình cân bằng tạo bởi một dãy những trạng thái cân bằng. Không có một quá trình thực nào là cân bằng nhưng có những quá trình diễn biến chậm được coi là cân bằng.

http://tieulun.hopto.org

Ta cũng gọi một quá trình là thuận nghịch nếu như có thể diễn biến theo cả hai chiều; nghĩa là nếu mới đầu quá trình diễn biến theo một chiều rồi sau lại diễn biến được theo chiều ngược lại thì hệ trở lại trạng thái lúc xuất phát sao cho trong những vật xung quanh không có thay đổi gì. Mọi quá trình cân bằng đều thuận nghịch vì các trạng thái nối tiếp nhau theo hai chiều.

Các quá trình không cân bằng bao giờ cũng không thuận nghịch; do đó ta thấy các quá trình thực không thuận nghịch, và gần thuận nghịch nếu nó diễn biến chậm.

3.4.2. Nhiệt dung đẳng tích và nhiệt dung đẳng áp

Nếu thay đổi nhiệt độ của một vật nào đó, thí dụ một khối khí, thì nội năng của nó thay đổi. Ta xét hai trường hợp:

Ta đốt nóng khí trong khi giữ cho thể tích không thay đổi (quá trình đẳng tích). Theo nguyên lý thứ nhất nhiệt động học vì:

$$dA = F.dl = p.S.dl = p.dV = p.0 = 0$$

Nên nhiệt lượng bị trao đổi bằng sự tăng nội năng, tức là

$$dU = dQ_v = c_v.m.dT \qquad (1.29)$$

c_v là nhiệt dung riêng đẳng tích

Với 1 mol thì $m = \mu$, $c_v.\mu = c_v$ gọi là nhiệt dung đẳng tích

– Ta đốt nóng khí trong khi giữ cho áp suất không đổi (quá trình đẳng áp). Nhờ sự đốt nóng, chất khí dãn nở và thực hiện công chống lại áp suất bên ngoài tác dụng lên nó (thí dụ áp suất của không khí).

Nếu tăng thể tích dV thì công thực hiện để chống áp suất p bằng p.dV. Theo nguyên lý thứ nhất nhiệt động học ta có:

$$dU = dQ_p - p.dV = c_p.m.dT - p.dV \qquad (1.30)$$

Biểu thức (1.30) cho thấy nhiệt truyền cho hệ dùng làm tăng nội năng dU, còn một phần để thực hiện công p.dV.

c_p gọi là nhiệt dung riêng đẳng áp.

Với một mol thì $m = \mu$; $c_\mu.\mu = c_p$ gọi là nhiệt dung đẳng áp

So sánh 2 biểu thức (1.29) và (1.30) ta thấy: giả sử cả hai lần, sự biến thiên nội năng dU là như nhau, trong khi $pdV > 0$, nên với cùng một khối khí duy trì cho dT như nhau thì:

$$c_p.mdT > c_v.mdT$$

Hay

$$c_p > c_v \qquad (1.31)$$

Thực tế thấy với các chất khí có: $\gamma = \dfrac{c_p}{c_v} = 1,2 \div 1,67$

http://tieulun.hopto.org

γ gọi là hằng số đoạn nhiệt, ta cũng có $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

3.4.3. Entanpi

Các quá trình đẳng áp xảy ra có thể được mô tả đơn giản hơn nếu ta đưa vào hàm số trạng thái mới gọi là entanpi H được định nghĩa như sau:

$$H = U + p.V \qquad (1.32)$$

Trong đó U là nội năng của hệ, V là thể tích của hệ, còn p là áp suất mà hệ có tại nhiệt độ nào đó xảy ra sự cân bằng. Ta thấy ngay áp suất cân bằng này của hệ luôn luôn bằng áp suất ngoài (thí dụ áp suất khí quyển) tác dụng lên hệ thống.

Ta có: $dH = dU + pdV + Vdp$

Hoặc theo biểu thức của nguyên lý thứ nhất (1.23) thì:

$$dH = \delta Q + V.dp$$

Trong trường hợp đẳng áp thì:

$$dH = dU + p.dV = \delta Q \qquad (1.33)$$

Biểu thức (1.33) cho thấy sự biến thiên của entanpi nhận được là tổng của sự biến thiên nội năng và công theo sự biến thiên của thể tích. Nhờ vậy có khả năng biểu diễn nhiệt lượng trao đổi trong quá trình đẳng áp qua sự biến thiên entanpi:

$$\Delta H = \Delta Q_p \qquad (1.34)$$

còn trong quá trình đẳng tích do công pdV = 0 ta chỉ còn nhiệt lượng trao đổi bằng biến thiên của nội năng:

$$\Delta U = \Delta Q_v \qquad (1.35)$$

– Nếu vật rắn nóng chảy tại nhiệt độ không đổi và bỏ qua sự biến đổi không lớn của thể tích khi nóng chảy, thì tất cả nhiệt lượng thu được sử dụng làm tăng nội năng, do đó ta có thể viết phương trình tương tự phương trình (1.35) trong đó nhiệt lượng thu và do đó, sự biến thiên nội năng có thể biểu diễn qua nhiệt lượng nóng chảy.

– Để hiểu đầy đủ các phản ứng hoá học, cần phải biết nhiệt lượng mà nó giải phóng hay hấp thụ trong phản ứng tại những nhiệt độ ban đầu và cuối cùng như nhau (quá trình đẳng nhiệt). Thường thường người ta biểu diễn khối lượng các vật chất tham gia trong phản ứng ra đơn vị mol, vì vậy nhiệt lượng giải phóng hay hấp thụ của một mol vật chất trong phản ứng gọi là nhiệt phản ứng.

Trong trường hợp phản ứng đẳng nhiệt đẳng tích, ta nói là nhiệt phản ứng được đo khi thể tích không đổi, sự biến thiên nội năng bằng nhiệt phản ứng ΔQ_v, tức là:

$$\Delta U = \Delta Q_v \qquad (1.35)$$

Trong trường hợp phản ứng đẳng nhiệt đẳng áp ta nói là nhiệt phản ứng được đo khi áp suất không đổi; nhiệt phản ứng được sử dụng một phần để thực hiện công

http://tieulun.hopto.org

liên quan đến sự thay đổi thể tích, vì thế nhiệt phản ứng ΔQ_p không phải bằng sự biến thiên nội năng, mà bằng sự biến thiên entanpi, tức là:

$$\Delta H = \Delta Q_p$$

Trong những phản ứng này xảy ra ở các pha rắn và lỏng, có thể bỏ qua công do sự thay đổi thể tích, bởi vậy có thể sử dụng phương trình (1.35); tuy nhiên ở các phản ứng của các chất khí mà ở đó không thể bỏ qua công, cần phải sử dụng phương trình (1.34).

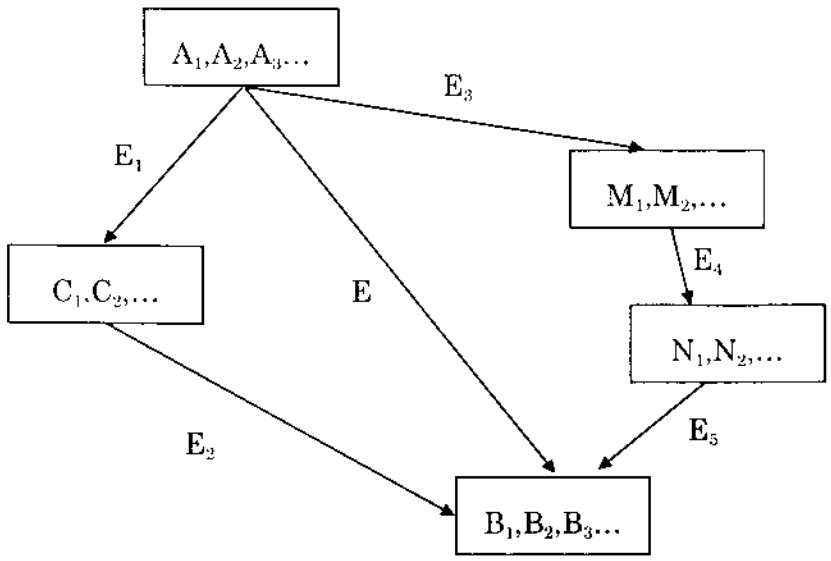
Dựa vào các điều trên ta kết luận được rằng:

+ Ở trường hợp cụ thể cho trước, có thể xác định được sự biến thiên trong nội năng hoặc trong entanpi nếu biết được các nhiệt dung riêng khi thể tích không đổi (c_v) và khi áp suất không đổi (c_p) cũng như nhiệt biến đổi và nhiệt phản ứng nếu như trong quá trình còn xảy ra những biến đổi pha hay phản ứng hoá học.

Nếu ta biết giá trị nội năng tại nhiệt độ không tuyệt đối thì có thể xác định giá trị tuyệt đối của cả nội năng lẫn entanpi ở những trạng thái khác nhau. Rất đáng tiếc là điều này chỉ có thể trong một vài chất, vì thế những bảng tra cứu chỉ cho biết những biến thiên của entanpi (nội năng). Thành thử người ta phải qui ước là nội năng và entanpi của tất cả các nguyên tố hoá học bằng không tại 25^{0}C và 1 atm. Từ đó suy ra rằng nội năng vì entanpi của hợp chất tại 25^{0}C và 1 atm bằng nhiệt tạo thành khi thể tích và áp suất không đổi. Các bảng có các số liệu này còn là bảng các dữ liệu chuẩn.

Biểu thức (1.34) còn cho thấy năng lượng toả ra hay cần cung cấp do các phản ứng hoá học trong điều kiện áp suất không đổi chỉ phụ thuộc vào trạng thái ban đầu và cuối cùng của hệ mà thôi; đó là nội dung của định luật Hess.

"Năng lượng sinh ra bởi quá trình hoá học phức tạp không phụ thuộc vào các giai đoạn trung gian mà chỉ phụ thuộc vào các trạng thái ban đầu và cuối cùng của hệ hoá học".



Hình 1.11. Minh hoạ định luật Hess

http://tieulun.hopto.org

$$E = E_1 + E_2 = E_3 + E_4 + E_5 \qquad (1.36)$$

A_1, A_2, A_3... là các chất ở trạng thái ban đầu.

B_1, B_2, B_3.. là các sản phẩm ở trạng thái cuối cùng.

Thí dụ: Khi đốt cháy carbon theo 2 cách sau đều thu được năng lượng như sau:

Cách 1: $C + \frac{1}{2}O_2 = CO + 26{,}42kcal$

$C + \frac{1}{2}O_2 = CO_2 + 67{,}63kcal$

Cộng 94,05kcal

Cách 2: $C + O_2 = CO_2 + 94{,}05Kcal$

Định luật Hess được ứng dụng rộng rãi trong y học để xác định khả năng sinh nhiệt của thức ăn cho cơ thể. Muốn xác định khả năng sinh nhiệt này, người ta đốt thức ăn trong bình đo nhiệt và xác định nhiệt lượng toả ra. Nhiệt lượng này, theo định luật Hess cùng bằng nhiệt lượng sinh ra trong quá trình oxy hoá thức ăn trong cơ thể.

3.4.4. Công trong các quá trình đẳng nhiệt, đoạn nhiệt

– Quá trình đẳng nhiệt là quá trình trong đó nhiệt độ của hệ không thay đổi theo thời gian:

$$T = const$$

Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng pV = RT hoặc theo định luật Boyle - Mariotte ta có trong quá trình đẳng nhiệt:

$$p.V = const$$

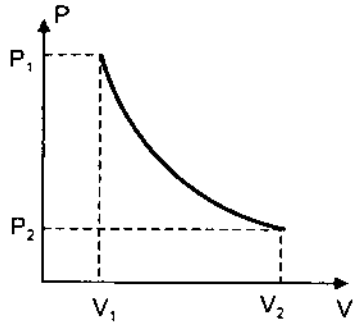
Giả sử ở trạng thái đầu ta có p_1, V_1; ở trạng thái cuối cùng p_2, V_2 (hình 1.12).

Do $dA = -pdV$

Và $p.V = p_1V_1$

Nên ta có công thực hiện trong quá trình là:

$$\Delta A = \int_{V_1}^{V_2} -p_1V_1\frac{dV}{V} = -p_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1} \qquad (1.37)$$



Hình 1.12

Nhưng vì $p_1V_1 = -\frac{m}{\mu}RT_1$

Nên ta có: $\Delta A = -\frac{m}{\mu}RT\ln\frac{V_2}{V_1} \qquad (1.37)$

http://tieulun.hopto.org

Nhưng theo nguyên lý thứ nhất:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

do nội năng chỉ phụ thuộc nhiệt độ U = U (T), nhiệt độ không đổi thì $\Delta U = 0$

Cuối cùng ta có: $\Delta Q = \Delta A$ (1.38)

Vậy hệ nếu nhận công ΔA thì sẽ toả nhiệt ΔQ, ngược lại nếu hệ sinh công ΔA thì sẽ phải nhận nhiệt lượng ΔQ.

- Quá trình đoạn nhiệt là quá trình hệ không trao đổi nhiệt lượng với môi trường ngoài:

$$\delta Q = 0 \qquad \text{hay} \qquad \Delta Q = 0$$

Thực tế ta có quá trình đoạn nhiệt khi nén hoặc dãn khí trong bình có vỏ cách nhiệt tốt.

Ta có $dU = \delta Q + \delta A = -pdV$

Với 1 mol khí lý tưởng, từ (1.29) ta có:

$$dU = c_v.\mu.dt = C_v dT \text{ hay } C_v = \frac{dU}{dT}$$

Mặt khác, do H = U + pV và pV = RT, ta có:

$$dH = dU + RdT; \qquad \frac{dH}{dT} = \frac{dU}{dT} + R \qquad \text{hay}$$

$$C_p = C_v + R \rightarrow R = C_p - C_v$$

$$dU = C_v dT = -pdV = -RT\frac{dV}{dT}, \qquad \text{do đó:}$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{-R}{C_v}\cdot\frac{dV}{V} = -\frac{(C_p - C_v)}{C_v}\frac{dV}{V} = -(\gamma - 1)\frac{dV}{V}$$

Nếu giả thiết rằng γ (và cả C_p) độc lập đối với nhiệt độ, tích phân hai vế biểu thức trên dẫn tới:

$$\ln T + (\gamma - 1)\ln V = \text{const}$$

$$\ln (T.V^{\gamma-1}) = \text{const}$$

$$\text{hay } T.V^{\gamma-1} = \text{const} \qquad (1.39)$$

Dùng phương trình trạng thái khí lý tưởng, ta có:

$$T.p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const} \qquad (1.40)$$

hoặc $p.V^{\gamma} = \text{const}$ (1.40')

http://tieulun.hopto.org

Công nhận được trong quá trình đoạn nhiệt là:

$$\Delta A = \int_{V_1}^{V_2} -p.dV \qquad (1.41)$$

Vì $p.V^{\gamma} = p_1 V_1^{\gamma}$ nên $p = \frac{p_1 V_1^{\gamma}}{V^{\gamma}}$ thay vào (1.41) ta được:

$$\Delta A = \int_{V_1}^{V_2} -p_1 V_1^{\gamma} . \frac{dV}{V^{\gamma}} = -p_1 V_1^{\gamma} . \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{\gamma}} = -p_1 V_1^{\gamma} . \frac{V^{1-\gamma}}{\gamma - 1} \Big|_{V_1}^{V_2}$$

$$\Delta A = \frac{p_1 V_1^{\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})}{\gamma - 1}$$

Nhưng vì $p_1 V_1^{\gamma} = p_2 V_2^{\gamma}$ nên khai triển (1.42) cuối cùng ta có:

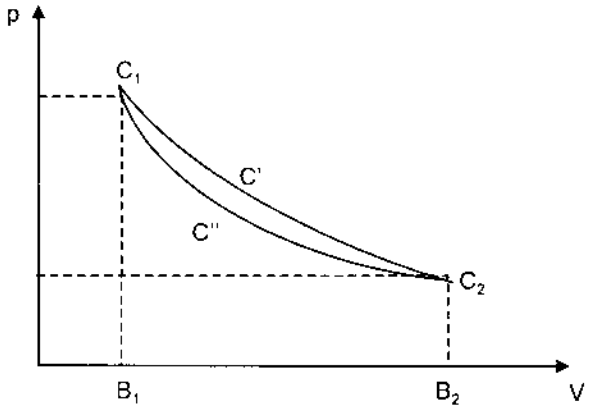
$$\Delta A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1} \qquad (1.43)$$

4. Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

4.1. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

4.1.1. Động cơ nhiệt - máy lạnh

Xét một khối khí dãn nở từ trạng thái C_1 đến trạng thái C_2 theo đường cong biểu diễn quá trình $C_1C'C_2$ (hình 1.13) ta thấy:



Hình 1.13

$$\Delta Q = \Delta U + p.dV$$

và công thực hiện trong quá trình này là:

$$\Delta A_1 = \Sigma p . \Delta V$$

http://tieulun.hopto.org

ΔA_1 chính là diện tích hình thang cong $C_1C''C_2B_2B_1$, có giá trị dương. Thực hiện nén hệ này cho nó trở về trạng thái C1 mà quá trình nén biểu diễn bởi đường cong các trạng thái $C_2C''C_{1+}$.

Công nén ΔA_2 là diện tích hình thang cong $C_2C''C_1B_1B_2$ có giá trị âm.

Quá trình này tạo nên một chu trình (quá trình kín) mà công thực hiện là:

$$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2$$

ΔA bằng diện tích hình $C_1C'C_2C''$ có giá trị dương. Khi dãn nở, hệ nhận nhiệt lượng $\Delta Q_1 > 0$, theo nguyên lý thứ nhất nhiệt động học:

$$\Delta Q_1 = U_2 - U_1 + \Delta A_1$$

Khi nén, hệ toả nhiệt $\Delta Q_2 > 0$ hay nhận $-\Delta Q_2$:

$$-\Delta Q_2 = U_1 - U_2 + \Delta A_2$$

Ta có ngay $$\Delta A = \Delta A_1 + \Delta A_2 = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \qquad (11\text{-}1)$$

Biểu thức này cho ta thấy: hệ nhận từ vật bên ngoài nhiệt lượng ΔQ_1, sau đó lại truyền cho vật ngoài khác nhiệt lượng ΔQ_2 bé hơn ΔQ_1, hiệu số này biến thành công chống lại lực cản bên ngoài.

Chu trình trên đây gọi là chu trình của động cơ nhiệt vì nó nhận nhiệt lượng $\Delta Q_1 - \Delta Q_2$ để thực hiện công ΔA.

Bởi vì nhiệt lượng chỉ truyền từ vật nóng hơn sang vật lạnh hơn cho nên một động cơ nhiệt (máy nhiệt) cần phải có một bộ phận nóng cung cấp cho hệ nhiệt lượng ΔQ_1 và một bộ phận làm lạnh để truyền sang đó nhiệt lượng ΔQ_2.

Người ta gọi hiệu suất của máy nhiệt là η.

$$\eta = \frac{\Delta A}{\Delta Q_1} = \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2}{\Delta Q_1} = 1 - \frac{\Delta Q_2}{\Delta Q_1} \qquad (1.44)$$

Một máy thực hiện chu trình theo chiều ngược lại của động cơ nhiệt, tức là theo chiều $C_1C''C_2C'C_1$ gọi là máy lạnh.

4.1.2. Quá trình thuận nghịch

Một quá trình biến đổi hệ từ trạng thái này sang trạng thái khác được gọi là thuận nghịch khi nó có thể tiến hành theo chiều ngược lại và trong quá trình ngược đó, hệ trải qua các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận.

Quá trình thuận nghịch chỉ có thể là tập hợp các trạng thái cân bằng nên nó là một quá trình cân bằng.

Do quá trình ngược trải qua các trạng thái trung gian như quá trình thuận nên hệ nhận công trong quá trình thuận bao nhiêu thì cũng sinh công trong quá trình ngược bấy nhiêu; hệ nhận nhiệt lượng trong quá trình thuận bao nhiêu thì cũng cung cấp cho môi trường ngoài bấy nhiêu trong quá trình ngược. Nói khác đi,

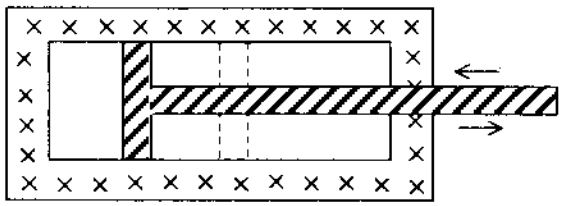
http://tieulun.hopto.org

đối với quá trình thuận nghịch thì sau khi biến đổi thuận rồi biến đổi nghịch để về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh không bị biến đổi nào.

Thí dụ:

– Dao động không ma sát của con lắc toán học: con lắc chuyển động từ trái qua phải rồi từ phải qua trái, không có ma sát nên môi trường không nóng lên, đồng thời công thực hiện do trọng lực cũng bằng không; do vậy môi trường xung quanh không bị biến đổi.

– Quá trình nén dãn khí đoạn nhiệt vô cùng chậm (hình 1.14): Xi lanh cách nhiệt với môi trường ngoài, cho dãn khí từ V_1 đến V_2 vô cùng chậm, rồi sau đó lại nén khí từ V_2 đến V_1 cũng chậm tương tự. Kết quả pistông trở về vị trí ban đầu mà không có biến đổi của môi trường.



Hình 1.14

4.1.3. Quá trình không thuận nghịch

Trong thực tế đời sống hàng ngày ta thấy hàng loạt các quá trình mà ta chỉ quan sát thấy nó tiến triển theo một chiều, không quan sát thấy quá trình xảy ra ngược lại: người lớn lên rồi chết, quả trứng rơi bị vỡ nát, nước hoa khuếch tán ra môi trường xung quanh, từ con lợn sống có thể sản xuất lạp xưởng, từ mủ cao su lấy ở cây cao su sống có thể làm thành lốp xe đạp... Đó là quá trình không thuận nghịch.

Quá trình không thuận nghịch là quá trình mà khi tiến hành theo chiều ngược lại, hệ không trải qua các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận.

Các trạng thái mà hệ trải qua trong quá trình không thuận nghịch là các trạng thái không cân bằng, do đó khi trạng thái đã biến đổi thì nó không thể trở về trạng thái cũ.

Trong quá trình không thuận nghịch, công và nhiệt lượng mà hệ nhận vào không bằng công và nhiệt lượng do hệ cung cấp cho bên ngoài, do đó đối với quá trình không thuận nghịch, sau khi tiến hành theo chiều thuận và theo chiều ngược để trở về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh bị biến đổi.

Thí dụ về các quá trình không thuận nghịch

– Thí dụ 1: Giả sử có một hệ nhiệt động là một bình cô lập với môi trường xung quanh, gồm 2 phần A và B, cùng chứa một loại khí với mật độ $n_A > n_B$. Nhiệt độ của bình ở mọi điểm như nhau. Ta bỏ vách ngăn, các phân tử ở hai phần khuếch tán lẫn sang nhau cho tới khi mật độ đồng đều theo toàn bộ thể tích bình. Nhìn

http://tieulun.hopto.org

chung thì số phân tử từ A sang B nhiều hơn ở B sang A. Do hệ cô lập (không trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường ngoài) nên ta có thể nói: Tuy tổng năng lượng dự trữ của hệ không đổi, nhưng trong hệ đã xảy ra một quá trình quan trọng có chiều hướng duy nhất xác định là tiến tới sự san bằng mật độ.

Trạng thái của hệ tồn tại ngay sau khi bỏ vách ngăn là trạng thái không cân bằng nhiệt động, là trạng thái không thể duy trì mãi mãi theo thời gian. Trong quá trình tự chuyển vào trạng thái mới (phân phối đều các phân tử theo toàn bộ thể tích), một khối lượng khí đã đi từ phần A sang phần B. Hệ đã thực hiện một công nào đó. Có thể chứng minh rằng công A thực hiện được tính theo công thức:

$$A = RT1n\frac{n_A}{n_B} \qquad (1.45)$$

Trong đó: R là hằng số lý tưởng, T là nhiệt độ tuyệt đối của hệ.

Từ công thức (1.45) ta dễ dàng thấy công A chỉ có khi $n_A > n_B$, nghĩa là $n_A \neq n_B$ thì hệ có khả năng sinh công, còn khi $n_A = n_B$ thì hệ mất khả năng sinh công. Trạng thái ổn định được thiết lập sau khi hệ san bằng mật độ là trạng thái cân bằng nhiệt động. Ở trạng thái đó, trong những điều kiện không thay đổi, khả năng thay đổi vĩ mô và thực hiện công của hệ có xác suất rất nhỏ.

Từ thí dụ này ta nhận thấy: Để tự nhiên, hệ tiến triển theo một chiều xác định làm gradiêng mật độ suy giảm, tới trạng thái ít sinh công. Sự tiến triển của hệ theo chiều hướng ngược lại rất khó xảy ra.

– Thí dụ 2: Cho hai vật có nhiệt độ T khác nhau tiếp xúc nhau và cô lập với môi trường ngoài. Ta thấy nhiệt độ ở vật có nhiệt độ cao sẽ hạ xuống, còn nhiệt độ ở vật có nhiệt độ thấp tăng lên. Quá trình truyền nhiệt này chỉ dừng lại khi hai vật có cùng nhiệt độ. Vậy nhiệt chỉ có thể truyền trực tiếp từ vật nóng sang vật lạnh mà thôi. Mọi quan sát thực nghiệm không hề cho ta kết quả khi hai vật tiếp xúc lại xảy ra hiện tượng vật có nhiệt độ thấp ngày càng lạnh đi, còn vật có nhiệt độ cao ngày càng nóng lên. Quá trình truyền nhiệt như vậy là quá trình một chiều, xảy ra theo xu hướng truyền năng lượng từ mức cao xuống mức thấp.

Thí dụ 3: Dùng dây dẫn nối hai vật đang tích điện mà có điện thế khác nhau thì điện tích sẽ di chuyển sao cho kết quả sau cùng là hai vật có cùng điện thế. Lúc đó hệ đã đạt tới trạng thái cân bằng. Ta không thấy có một quá trình thứ hai ngược lại, tự diễn biến là từ điện thế hai vật bằng nhau dẫn đến điện thế khác nhau.

– Thí dụ 4: Giả sử ta có hai bình đựng nước được đậy bằng nắp giống hệt nhau. Bình A chứa lượng nước thể tích rất lớn nhưng ở nhiệt độ T_A cao hơn nhiệt độ môi trường xung quanh một chút. Bình B chứa lượng nước có thể tích nhỏ nhưng ở nhiệt độ T_B rất cao hơn môi trường xung quanh. Rõ ràng rằng (so với môi trường xung quanh) nhiệt lượng dự trữ trong bình A rất lớn còn nhiệt lượng dự trữ bên trong bình B nhỏ, nhưng hơi nước trong bình A không có khả năng đẩy bật nắp (không có khả năng sinh công), còn hơi nước trong bình B lại có khả năng đẩy bật nắp (có khả năng sinh công).

Thí dụ này cho ta thấy:

http://tieulun.hopto.org

– Sự chênh lệch nhiệt độ giữa hệ và môi trường xung quanh càng lớn thì khả năng sử dụng hữu hiệu nhiệt lượng chứa trong nó càng cao.

– Không phải bất kỳ nhiệt lượng nào dự trữ trong hệ vật cũng có thể dễ dàng biến đổi thành công cơ học, đồng thời ta cũng thấy không thể biến đổi hoàn toàn nhiệt thành ra công.

Thành thử việc đánh giá một hệ nhiệt động không chỉ dựa vào phần năng lượng dự trữ của nó mà còn phải dựa vào khả năng sinh công của nó.

Các dạng năng lượng khác luôn luôn có thể hoàn toàn biến đổi thành nhiệt năng trong khi nhiệt năng không thể hoàn toàn biến đổi thành dạng năng lượng khác. Tính chất này cũng là một thể hiện của các quá trình biến đổi trong tự nhiên chỉ diễn biến theo một chiều.

Người ta gọi tất cả các quá trình biến đổi trong tự nhiên chỉ diễn biến theo một chiều là các quá trình không thuận nghịch. Ngược với quá trình không thuận nghịch là quá trình thuận nghịch, đó là quá trình mà hệ có thể tự diễn biến theo cả hai chiều ngược nhau.

Loại trừ các quá trình lý tưởng thuận nghịch (đẳng nhiệt thuận nghịch, đoạn nhiệt thuận nghịch), tất cả các quá trình xảy ra trong tự nhiên (nhiệt truyền từ nóng sang lạnh, ma sát biến công thành nhiệt, các phân tử khuếch tán từ nơi có áp suất cao (hay mật độ cao) sang nơi có áp suất thấp (hay mật độ thấp) nhiều hơn chiều ngược lại... là các quá trình không thuận nghịch.

Từ các ví dụ trên ta rút ra các nhận xét:

– Các quá trình tự nhiên không thuận nghịch diễn biến luôn luôn liên quan đến sự truyền năng lượng từ mức cao xuống mức thấp; tức là các gradiêng (gradiêng nồng độ trong khuếch tán khí, gradiêng nhiệt độ trong truyền nhiệt...) đang từ các giá trị lớn giảm dần rồi tiến đến giá trị không, nói khác đi là có sự suy giảm gradiêng.

– Tính trật tự của hệ giữ nguyên hoặc giảm dần theo diễn biến của quá trình không thuận nghịch trong hệ cô lập.

Thật vậy, ở thí dụ khuếch tán khí, trật tự ban đầu là sự sắp xếp mật độ nơi thấp nơi cao rõ ràng phân biệt, lúc cuối trật tự này mất đi để thay bằng sự san bằng; ở nhận xét "công dễ dàng biến đổi thành nhiệt", ta thấy công (chuyển động có hướng có trật tự) được thay bằng nhiệt (chuyển động nhiệt là chuyển động hỗn loạn, vô trật tự của các phân tử).

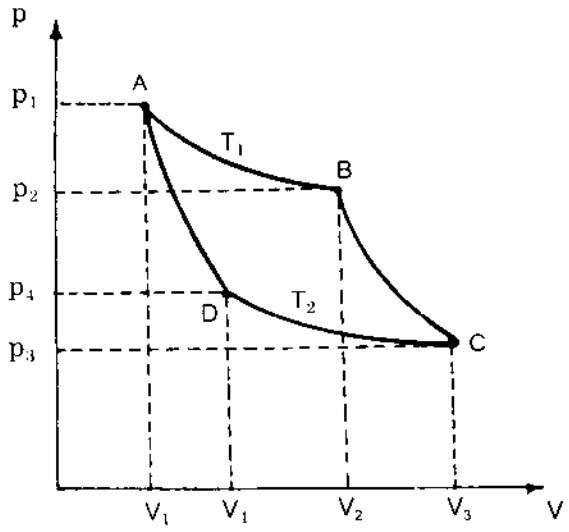
Trong cả ba thí dụ trên, muốn cho hệ về trạng thái ban đầu ($n_A > n_B$; $T_1 > T_2$; $V_1 > V_2$) ta phải tốn công từ ngoài tác dụng vào, tức là môi trường phải có thay đổi. Bơm chân không, máy làm lạnh, dynamô là các quá trình ngược của các quá trình trên.

4.1.4. Chu trình Carnot

Xét một khối khí ở nhiệt độ T_1, áp suất p_1 và thể tích V_1 (điểm A trên hình 1.15). Cho khí tiếp xúc với một nguồn nhiệt luôn ở nhiệt độ T_1. Khí sẽ dãn nở đẳng nhiệt tới trạng thái có T_1, p_2, V_2 (điểm B). Giữ cho khối khí cô lập về nhiệt với nguồn

http://tieulun.hopto.org

nhiệt và môi trường ngoài, cho khí dãn nở đoạn nhiệt tới trạng thái có T_2, p_3, V_3 (điểm C). Hai quá trình trên là các quá trình dãn nở, gọi nhiệt lượng khối khí thu thêm vào là ΔQ_1.



Hình 1.15

Bây giờ ta thực hiện nén đẳng nhiệt bằng cách trong quá trình nén cho khối khí tiếp xúc với nguồn làm lạnh có nhiệt độ T_2, khối khí sẽ chuyển sang trạng thái có T_2, p_4, V_4 (điểm D). Cô lập khối khí về nhiệt và thực hiện nén khi đoạn nhiệt cho khí trở về trạng thái ban đầu có T_1, p_1, V_1 (điểm A). Hai quá trình sau (từ C đến D rồi về A) là quá trình nén, gọi nhiệt lượng là vật nhả ra cho nguồn làm lạnh là ΔQ^*_2.

Quá trình kín (chu trình) trên gọi là chu trình Carnot. Hiệu suất của chu trình là:

$$\eta_C = 1 - \frac{\Delta Q_2^*}{\Delta Q_1} \qquad (1.44)$$

Theo (1.37) ta có:

$$\Delta Q_1 = \frac{m}{\mu} R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

và

$$\Delta Q_2^* = -\frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = \frac{m}{\mu} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

Thay hai biểu thức này vào (1.44), ta rút ra:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2 \ln \dfrac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \dfrac{V_2}{V_1}} \qquad (1.44')$$

http://tieulun.hopto.org

Mặt khác, trong quá trình đoạn nhiệt BC và DA, ta có các phương trình liên hệ giữa nhiệt độ và thể tích như sau:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

Chia cả 2 vế cho nhau ta có:

$$(\frac{V_2}{V_1})^{\gamma-1} = (\frac{V_3}{V_4})^{\gamma-1}$$

Tức là

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \rightarrow \ln\frac{V_2}{V_1} = \ln\frac{V_3}{V_4}$$

Từ (1.44') ta suy ra

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (1.46)$$

Ta thấy hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch với tác nhân là khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn cung cấp nhiệt T_1 và nhiệt độ của nguồn làm lạnh T_2.

Nhiệt độ của nguồn làm lạnh càng thấp gần 0 độ tuyệt đối thì hiệu suất càng cao, gần 1; nhiệt độ T_2 càng gần T_1 thì hiệu suất càng thấp, gần 0.

Ta cũng cần chú ý rằng hiệu suất η_c không thể đạt tới 1 vì không bao giờ có thể đạt tới nhiệt độ không tuyệt đối do nguyên lý thứ ba của nhiệt động học được Nerst phát biểu như sau: "không thể có một quá trình biến đổi kín hữu hạn, mà qua đó vật lại lạnh đi đến tận không độ tuyệt đối".

Tuy làm thí nghiệm với khí lý tưởng ở trường hợp 2 quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt, nhưng có thể chứng minh chặt chẽ rằng:

– Trong chu trình Carnot, với bất kỳ hệ vật nào thay cho khí ta cũng thu được hiệu suất như trên.

– Không có một chu trình nào khác hoạt động trong điều kiện nhiệt như trên có thể có hiệu suất lớn hơn hiệu suất của chu trình Carnot thuận nghịch trên; nói khác đi chu trình chỉ gồm các quá trình thuận nghịch sẽ có hiệu suất như trên; các chu trình không thuận nghịch bao giờ cũng có hiệu suất thấp hơn. Nghĩa là:

$$\eta_c = \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2}{\Delta Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (1.47)$$

Dấu = lấy cho quá trình thuận nghịch, dấu < lấy cho quá trình không thuận nghịch.

4.2. Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học nói về sự biến đổi tương hỗ giữa các dạng năng lượng là nội năng U, công A, nhiệt lượng Q, cho phép xác định hệ thức biểu

http://tieulun.hopto.org

diễn sự liên quan về lượng giữa chúng khi chúng tham gia vào một quá trình cho trước, nhưng không nêu lên khả năng xảy ra và chiều hướng phát triển của quá trình đó. Mặt khác, qua thực nghiệm ta thấy công có thể biến đổi hoàn toàn thành nhiệt, nhưng quá trình ngược lại là nhiệt lượng biến thành công thì không bao giờ xảy ra hoàn toàn. Điều đó chỉ có thể giải thích bằng nguyên lý thứ hai nhiệt động học.

Nguyên lý thứ hai nhiệt động học độc lập với nguyên lý thứ nhất, nó xác định chiều hướng diễn biến của một quá trình vĩ mô và cho phép đánh giá khả năng sinh công của các hệ nhiệt động khác nhau.

4.2.1. Một vài thông số nhiệt động quan trọng

Trong các thông số nhiệt động liên quan nhiều đến nguyên lý thứ hai, ta thấy có gradiêng, entropi, năng lượng tự do.

a. Gradiêng

Giả sử f là hàm vô hướng của các toạ độ không gian x, y, z, người ta định nghĩa: Gradiêng của f ký hiệu là gradf là một vetơ mà 3 thành phần trên 3 trục toạ độ là các đạo hàm riêng của f lần lượt theo x, y, z.

$$\overrightarrow{\text{gradf}} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial f}{\partial z} \end{Bmatrix} \qquad (1.48)$$

Ta có : $$df = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial y}dy + \frac{\partial f}{\partial z}dz$$

Hoặc ở dạng tích vô hướng: $df = \overrightarrow{\text{gradf}}.\overrightarrow{dl}$

trong đó $\overrightarrow{dl}$ là vectơ có các thành phần dx, dy, dz.

Nếu f chỉ là hàm của một biến x thì:

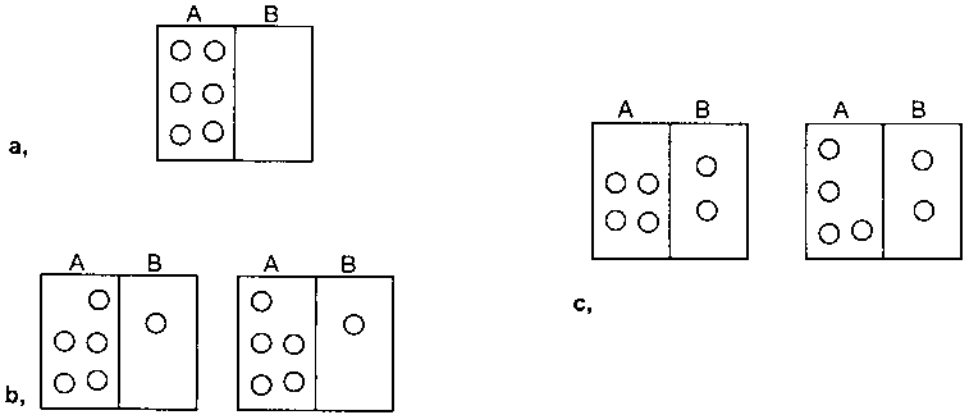
$$\overrightarrow{\text{gradf}} = \frac{\overrightarrow{df}}{dx} \qquad (1.48')$$

Như vậy gradiêng f là đại lượng vectơ cho ta biết mức độ thay đổi của đại lượng f trong không gian (độ lớn và hướng)

Khi so sánh tế bào sống với hệ không sống thì điểm khác nhau đầu tiên dễ dàng nhận thấy là ở tế bào sống có rất nhiều gadiêng. Thí dụ: gradiêng thẩm thấu có trong mọi tế bào sống và đóng vai trò quan trong trong hoạt động sống của tế bào động thực vật; gradiêng nồng độ gây bởi sự phân phối không đồng đều các vật chất khác nhau giữa môi trường trong và ngoài tế bào; trong đại đa số các tế bào thì

http://tieulun.hopto.org

nồng độ ion Kali ở bên trong tế bào lớn hơn ở môi trường bao quanh nhiều lần, trong khi ấy thì sự phân phối ion Natri lại theo tỷ lệ đảo ngược. Sự phân phối không đồng đều các ion làm xuất hiện gradiêng điện ở màng tế bào. Như vậy sự có mặt của các gradiêng tạo ra khả năng cơ bản thực hiện công ở các tế bào sống. Thí dụ: sự phát sinh xung động thần kinh liên hệ mật thiết với sự phân phối không đồng đều các ion và gradiêng điện, sự trương bào liên quan với gradiêng thẩm thấu... ở các tế bào chết không còn các gradiêng nói trên nữa.



Hình 1.16

b. Entropi

Ta xét thí dụ: một hệ là bình kín chia làm hai phần bằng nhau A và B bằng một vách ngăn. Trong bình có 6 phân tử giống nhau đánh số từ 1 đến 6. Ban đầu cả 6 phân tử tập trung ở phần A. Bỏ vách ngăn, các phân tử khuếch tán và số phân tử ở phần A có thể thay đổi từ 6 đến 0.

Nếu cả 6 phân tử ở phần A thì ta có duy nhất một cách phân phối như hình 1.16a.

Nếu 5 phân tử ở phần A, 1 phân tử ở phần B thì có 6 cách phân phối khác nhau (hình 1.16b). Với số phân tử ở phần A khác nhau, ta có bảng sau đây:

Số phân tử ở phần		Số cách phân phối (xác suất nhiệt động W)	Xác suất toán học p
A	B		
6	0	1	1/64
5	1	6	6/64
4	2	15	15/64
3	3	20	20/64
2	4	15	15/64
1	5	6	6/64
0	6	1	1/64
Tổng cộng		64	64/64

http://tieulun.hopto.org

Xác suất nhiệt động cho ta thấy số cách có thể thực hiện phân phối các phân tử. Đại lượng này luôn luôn lớn hơn hoặc bằng đơn vị; nó khác với xác suất toán học ở chỗ xác suất toán học nằm trong khoảng từ 0 đến 1 và cho biết khả năng xảy ra một cách phân phối nào đó.

Qua bảng trên ta thấy: ban đầu số phân tử ở phần A là 6 thì sau đó đa số khả năng quan sát được là phần A có 4,3 hoặc 2 phân tử. Nói khác đi là hệ chuyển từ trạng thái có xác suất xuất hiện nhỏ sang trạng thái có xác suất xuất hiện lớn hoặc là hệ chuyển từ trạng thái có ít cách phân phối sang trạng thái có nhiều cách phân phối (xác suất nhiệt động W lớn). Vì lnW là hàm đồng biến với W nên có thể dùng lnW để xác định chiều hướng của các quá trình tự nhiên.

Định nghĩa 1:

Đại lượng $S = k\ln W$ (1.49)

gọi là entropi của hệ, trong đó k là hằng số Boltzmann.

Ở thí dụ trên, chiều hướng của quá trình là tiến tới trạng thái có xác suất nhiệt động W lớn hay là có entropi S lớn; chiều hướng này có tính cách một chiều khi ta để hệ tự do diễn biến. Nói một cách khác, trạng thái có entropi S lớn là trạng thái dễ xảy ra.

Định nghĩa 2:

Gọi T là nhiệt độ tuyệt đối của hệ, Q là nhiệt lượng mà hệ trao đổi, S là entropi của hệ thì:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \qquad (1.50)$$

Trong trường hợp T thay đổi, thì:

$$\Delta S = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta Q_i}{T_i} \quad \text{hay} \quad \Delta S = \int_A^B \frac{\delta Q}{T} = S_B - S_A \qquad (1.51)$$

Từ định nghĩa này ta thấy có các nhận xét:

– Entropi S là hàm trạng thái, nghĩa là một hàm chỉ phụ thuộc trạng thái đầu và trạng thái cuối mà không phụ thuộc quá trình thay đổi trạng thái.

– Entropi S là đại lượng có thể cộng được tương tự như nội năng. Entropi của một hệ phức tạp bằng tổng entropi của từng phần riêng.

– Entropi được xác định sai khác một hằng số cộng:

$$\Delta S = S_B - S_A = (S_B + S_0) - (S_A + S_0)$$

– Khi hệ nhận nhiệt, $\delta Q > 0$, ta có $dS > 0$ hay entropi của hệ tăng lên.

– Khi hệ trao nhiệt, $\delta Q < 0$, ta có $dS < 0$ hay entropi của hệ giảm đi.

– Hệ nhận nhiệt lượng, chuyển động hỗn loạn của các phân tử, nguyên tử tăng lên, tương ứng tăng entropi. Hệ trao bớt nhiệt lượng, chuyển động hỗn loạn

http://tieulun.hopto.org

của các phân tử, nguyên tử giảm xuống, tương ứng giảm entropi. Như vậy entropi S cho ta khái niệm về mức độ hỗn loạn của một hệ nào đấy.

– Giả sử một hệ cô lập gồm 2 phần nhiệt độ T_1 và T_2 ($T_1 < T_2$). Hai phần này trao nhau nhiệt lượng:

$$\delta Q_1 = - \delta Q_2 = \delta Q > 0$$

Ta có thay đổi entropi của cả hệ:

$$dS = \frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} = \frac{\delta Q}{T_1} - \frac{\delta Q}{T_2} > 0$$

Như vậy trong quá trình truyền nhiệt trong nội bộ một hệ cô lập entropi của hệ tăng hay mức độ hỗn loạn của hệ tăng lên.

c. Năng lượng tự do của hệ

Từ (1.50) ta có:

$$\delta Q = T.dS$$

kết hợp với (1.23), nhận được:

$$\delta A = T.dS - dU$$

$$\delta A = - [dU - T.dS]$$

$$\delta A = - d [U - T.S]$$

Đặt $U - TS = F$ (1.52)

và gọi là năng lượng tự do của hệ, ta có:

$$\delta A = - dF \quad (1.53)$$

$$U = F + T.S \quad (1.52')$$

Năng lượng tự do không phải là một dạng đặc biệt của năng lượng, đây chỉ là qui ước gọi tên phần nội năng của hệ được dùng để thực hiện công nào đấy, nói khác đi nó đặc trưng cho khả năng sinh công của hệ.

Trong biểu thức (1.52') biểu diễn nội năng, phần TS gọi là năng lượng liên kết, không có khả năng sinh công.

4.2.2. Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

a) Ta không thể giải thích được vì sao các quá trình trong tự nhiên lại có những quá trình chỉ xảy ra theo một chiều hướng xác định; ta buộc phải thừa nhận đó là một qui luật được rút ra từ quan sát thực nghiệm một số lớn hiện tượng. Do đó qui luật này có tính chất thống kê đúng với số đông và cũng có nghĩa là không loại trừ khả năng xảy ra hiện tượng với chiều hướng ngược lại. Qui luật được phát biểu bằng nguyên lý thứ hai nhiệt động học theo nhiều cách khác nhau mà tương đương nhau:

– Tính trật tự của một hệ cô lập chỉ có thể giữ nguyên hoặc giảm dần.

http://tieulun.hopto.org

– Không thể tồn tại trong tự nhiên một chu trình mà kết quả duy nhất là biến nhiệt thành công và không để lại dấu vết gì ở môi trường xung quanh.

– Không thể thực hiện được động cơ vĩnh cửu loại hai tức là động cơ chuyển động tuần hoàn, cho ta công bằng cách nhận nhiệt lượng và làm lạnh từ cùng một nguồn.

– Hiệu suất của một máy nhiệt không phụ thuộc vào bản chất các vật tham dự vào hoạt động của máy mà chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của vật cung nhiệt và của vật thu nhiệt.

Ở phần định nghĩa entropi ta đã lưu ý tới hiện tượng: Nếu để cho hệ tự diễn biến, nó sẽ tiến tới trạng thái có entropi lớn; nói khác đi, ở các quá trình biến đổi năng lượng trong hệ cô lập để tự diễn biến (quá trình không thuận nghịch), entropi luôn luôn không giảm:

$$\Delta S \geq 0$$

Ở trạng thái cân bằng nhiệt động của hệ cô lập, tức là ở trạng thái không thay đổi theo thời gian, entropi không còn tăng hơn được nữa, nói khác đi là nó đạt cực đại.

$$\frac{dS}{dt} = 0$$

$$S = S_{max}$$

– Như vậy dựa vào khái niệm entropi, nguyên lý thứ hai của nhiệt động học có thể được phát biểu cách khác như sau:

"Trong các hệ cô lập, chỉ những quá trình nào kéo theo việc entropi mới có thể tự diễn biến; giới hạn tự diễn biến của chúng là trạng thái có trị số cực đại của entropi".

Ta cũng cần chú ý rằng nói chung trạng thái có xác suất cao hay xảy ra hơn trạng thái có xác suất thấp, điều đó cũng có nghĩa là cũng có lúc ta quan sát được trạng thái có xác suất thấp. Nói khác đi, các quá trình tự nhiên trong hệ cô lập diễn biến theo chiều tăng entropi và cá biệt có thể có trường hợp hệ chuyển từ trạng thái có entropi cao sang trạng thái có entropi thấp. Đó là tính chất thống kê của nguyên lý thứ hai nhiệt động học.

Cũng như các định luật thực nghiệm khác, cơ sở của nguyên lý thứ hai nhiệt động học là những quan sát trong thế giới xung quanh con người. Lĩnh vực con người quan sát thấy trực tiếp là một tập hợp rất lớn các phân tử, đã khá là to lớn nhưng chỉ là một phần vô cùng nhỏ của vũ trụ. Vì thế nguyên lý thứ hai này không thể đem áp dụng cho toàn thể vũ trụ (khi xem vũ trụ như hệ cô lập), cũng như cho thế giới các hạt cơ bản vì tại đấy vật chất và chuyển động trong không gian, thời gian có những tính chất, quy luật mới.

Xét biểu thức (1.52'): $U = F + TS$

Ta thấy: Vì S của hệ cô lập chỉ giữ nguyên hoặc tăng nên phần năng lượng liên kết TS cũng giữ nguyên hoặc tăng, nó là phần nội năng không có khả năng

http://tieulun.hopto.org

biến thành công. Khi hệ thống tiến đến cân bằng, S đạt cực đại nghĩa là TS đạt cực đại (năng lượng liên kết cực đại), vì U có giá trị không đổi (hệ cô lập) nên năng lượng tự do F đạt cực tiểu.

Do đó sự cân bằng nhiệt động được đặc trưng bằng entropi đạt cực đại hay năng lượng tự do đạt cực tiểu.

b) Nếu ta quan sát một quá trình cân bằng hoá học nào đấy thì sự thay đổi năng lượng tự do khi các chất tham gia phản ứng tạo thành các sản phẩm của phản ứng phụ thuộc vào hằng số tốc độ như sau:

$$F = -RT\ln.K$$

Trong đó T là nhiệt độ tuyệt đối, R là hằng số khí, K là hằng số cân bằng.

Tuỳ theo mức độ thay đổi của năng lượng tự do, có thể đánh giá độ lớn cực đại của công hữu ích nhận được khi thực hiện quá trình cho trước. Ta cũng suy ra rằng năng lượng tự do của hệ tăng lên khi ta nạp công cho hệ. Chẳng hạn, một khối khí khi bị nén là đã được nạp công; rõ ràng khi khối khí giãn nở, nó có khả năng sinh công.

Người ta định nghĩa entanpi H bằng biểu thức: $H = U + pV$ (1.32)

U là nội năng khối khí, p là áp suất còn V là thể tích. Ta có:

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V + \Delta Vp$$

Với các quá trình đẳng áp ta có:

$$\Lambda H = \Delta U + p.\ \Delta V = \Delta Q$$

Entanpi gọi là hàm chứa nhiệt, nhờ nó ta dễ dàng tính được năng lượng trong các quá trình hoá học.

Trong cơ thể sống, năng lượng hoá học được sử dụng không hoàn toàn, điều đó cho thấy cơ chế của các quá trình sinh vật không được hoàn thiện. Trong những trường hợp khác nhau, hiệu quả của các cơ chế này không như nhau. Để đặc trưng cho hiệu quả này người ta dùng tỷ số giữa công sản sinh trong quá trình và phần năng lượng chi phí để sinh công đó. Vì các cơ thể sống chỉ sử dụng năng lượng tự do của các phản ứng để sinh công nên hiệu quả của các cơ chế cho trước có thể đánh giá bằng hiệu suất η, là tỷ số:

$$\eta = \frac{\Delta A}{\Delta F}$$

trong đó ΔA là công sản sinh, ΔF là phần năng lượng tự do giảm đi để sinh công này. Khi tỷ số này đạt gần đến đơn vị thì hiệu suất nhiệt động học của các quá trình sinh vật có thể xem như cực đại.

Đưa các chất vào trong cơ thể và oxy hoá chúng là tạo nên nhiệt độ cơ thể và các liên kết giầu năng lượng, tức là dự trữ năng lượng tự do. Năng lượng tự do này có thể biến chuyển thành năng lượng tập trung trong các gradiêng khác nhau, tức là chúng đã làm giàu năng lượng cho cơ thể. Như vậy năng lượng tự do của hệ được

http://tieulun.hopto.org

quyết định bằng độ lớn các gradiêng. Từ nguyên lý thứ hai nhiệt động học ta suy ra rằng những quá trình tự nhiên trong hệ cô lập tiến triển theo phương hướng làm suy giảm gradiêng, tức là làm giảm năng lượng tự do hay làm tăng entropi.

4.2.3. Năng lượng trong các phản ứng hoá sinh

a) Trong quá trình chuyển hoá cơ bản có xảy ra các phản ứng hoá sinh. Ở những giai đoạn riêng biệt của quá trình, các phản ứng này có thể coi là thuận nghịch và đối với chúng, có thể tính các thông số nhiệt động như năng lượng tự do, lượng chứa nhiệt (entanpi) và entropi. Biết rõ các đại lượng này ta có thể dự đoán trước phương hướng của phản ứng này hay khác trên cơ sở nguyên lý thứ hai nhiệt động học.

Nếu như phản ứng là thuận nghịch thì năng lượng tự do bằng công cực đại, nếu phản ứng không thuận nghịch thì một phần năng lượng phân tán ở dạng nhiệt và công thực hiện sẽ tương ứng nhỏ hơn. Thông thường các phản ứng hoá sinh xảy ra trong những điều kiện không đổi về áp suất và nhiệt độ, bởi vậy phương trình $\Delta F = \Delta U - T.\Delta S$ có thể viết tương tự:

$$\Delta Z = \Delta H - T.\Delta S \qquad (1.55)$$

trong đó ΔZ là sự thay đổi năng lượng tự do khi áp suất và nhiệt độ không đổi, ta gọi nó là thế nhiệt động, ΔH là biến thiên entanpi. Lượng AZ khác với ΔF là phần thay đổi năng lượng tự do của hệ khi thể tích và nhiệt độ không đổi.

Độ lớn của thế nhiệt động liên hệ với hằng số cân bằng của phản ứng hoá sinh thuận nghịch bằng hệ thức:

$$\Delta Z = \Delta Z_0 + RT.1nK \qquad (1.56)$$

K là hằng số cân bằng của phản ứng.

Đại lượng ΔZ bằng năng lượng tự do chuẩn của phản ứng (ΔZ_0) nếu mọi chất ban đầu và các sản phẩm của phản ứng chứa trong dung dịch ở 25^0C và với độ linh động của các phân tử trong dung dịch bằng đơn vị. Có thể xác đụnh ΔZ_0 bằng những phương pháp khác nhau, thông thường hơn cả là theo công thức (1.56).

Thí dụ ta xét phản ứng oxy hoá acid panmitic thành CO_2 và H_20

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23O_2 = 16CO_2 + 16H_2O$$

Từ các bảng tra cứu biết rằng ΔZ_0 tạo acid panmitic, CO_2 và H_2O bằng:

$C_{16}H_{33}O_2 = 16C + 16H_2 + O_2$;	$\Delta Z_0 = 80$kcal
$16C + 16O_2 = 16\ CO_2$;	$\Delta Z_0 = -1511,2$ kcal
$16\ H_2 + 8O_2 = 16\ H_2O$;	$\Delta Z_0 = -907,04$kcal

Nếu cộng ba phương trình hoá học này thì ta nhận được phương trình oxy hoá acid panmitic. Cộng các độ lớn của năng lượng tự do ta thu được 2338,24 kcal trên mol. Dấu trừ cho thấy việc oxy hoá acid panmitic là quá trình nhiệt động tự diễn biến và xảy ra đến cùng, có toả năng lượng lớn.

http://tieulun.hopto.org

Sự thay đổi lượng chứa nhiệt H có thể xác định bằng cách đo hiệu ứng nhiệt của phản ứng khi đốt cháy vật chất trong bình đo nhiệt lượng. Trong trường hợp này $\Delta H = - \Delta Q$. Một cách khác là xác định sự phụ thuộc của phản ứng vào nhiệt độ. Khi ấy theo phương trình đẳng áp của phản ứng:

$$\frac{d\ln k}{dT} = \frac{-Q}{RT^2}$$

Có thể xác định $\Delta H = -\Delta Q$. Khi đặt các dữ kiện về đại lượng ΔZ_0, ΔH, dễ dàng xác định ΔS theo phương trình (1.55) trong đó những biến thiên của các đại lượng tương ứng có thể thay bằng những giá trị sau cùng của những đại lượng này. Thông thường những giá trị chuẩn của những đại lượng này được dẫn ra trong các sổ tay hoá sinh.

b) Sự thay đổi năng lượng tự do khi tạo nên liên kết hoá sinh nào đấy liên quan chặt chẽ với sự thay đổi năng lượng của liên kết hoá học giữa các nguyên tử của các phân tử tham gia phản ứng. Bằng cách phân tích công thức phân tử và những dữ kiện về nhiệt lượng của các phản ứng có thể xác định năng lượng liên kết. Người ta tìm thấy rằng năng lượng định khu trong những liên kết hoá trị, đồng thời mỗi dạng liên kết có năng lượng gọi là năng lượng liên kết trung bình. Để tính toán năng lượng liên kết trung bình người ta sử dụng những dữ kiện về nhiệt lượng đốt và về nhiệt lượng phân ly phân tử thành nguyên tử. Nhiệt lượng phân ly thông thường được xác định bằng phép quang phổ khi nghiên cứu các mức độ dao động của phân tử và nguyên tử.

Thí dụ, để xác định năng lượng liên kết N - H ta xét phản ứng tạo một mol NH_3 từ các nguyên tử N và H.

$$2H + 6H = 2NH_3$$

Theo các dữ kiện quang phổ, nhiệt lượng tạo một mol N_2 từ nguyên tử N là 169kcal còn tạo một mol H_2 từ nguyên tử H là 101,9kcal.

$$N + N = N_2 + 169kcal$$

$$H + H = H_2 + 101,9\ kcal$$

Do đó năng lượng tạo một mol N_2 và ba mol H_2 từ nguyên tử là:

$$169\ kcal + 3.101,9\ kcal = 474,7\ kcal$$

* Cần phải bổ sung thêm vào đó nhiệt lượng tạo $2NH_3$ từ khí N_2 và H_2 bằng:

$$N_2 + 3H_2 = 2NH_3 + 18,6\ kcal$$

Vậy năng lượng tạo một mol NH_3 bằng:

$$\frac{474,7kcal + 18,6\ kcal}{2} = 246,7\ kcal$$

Nếu thừa nhận rằng cả ba nguyên tử H là như nhau trong phân tử NH_3 thì sự bền vững của liên kết hay năng lượng liên kết trung bình N - H bằng:

$$\frac{246,7\ kcal}{3} = 82\ kcal$$

http://tieulun.hopto.org

Dưới đây là bảng trình bày năng lượng của các dạng liên kết khác nhau.

Năng lượng liên kết trung bình của các dạng liên kết khác nhau

Dạng liên kết trung bình	Năng lượng trung bình	Dạng liên kết	Năng lượng trung bình
C – C	58,6 kcal	S – H	87,5 kcal
N – N	20,0 kcal	C – N	48,6 kcal
O – O	34,9 kcal	C – O	70,0 kcal
P – O	50,0 kcal	C – S	57,5 kcal
S – S	63,8 kcal	C = C	100,0 kcal
C – H	87,3 kcal	C ≡ C	123,0 kcal
N – H	82,0 kcal	C = O	142,0 kcal
O – H	110,2 kcal	H - H	4 ÷ 8 kcal

Từ các số liệu trên, thấy ngay liên kết hydro là yếu nhất.

Trong sinh học, rất phổ biến các từ: "liên kết giàu năng lượng" hay "liên kết năng lượng lớn". Acid Adenosin triphosphoric (ATP) là chất quan trọng nhất trong các chất có liên kết giàu năng lượng.

Ta hiểu năng lượng của liên kết giàu năng lượng là năng lượng tự do giải phóng ra trong quá trình phản ứng hoá sinh có sự tham gia của liên kết giàu năng lượng. Cần lưu ý rằng ở đây không phải nói về việc xác định nhiệt hoá của năng lượng liên kết mà nói về năng lượng tự do của phản ứng thuỷ phân phân tử ATP

$$ATP + H_2O = ADP + H_3PO_4$$

Khi nhóm phosphat chuyển vào nước thì làm tách ra 7,0 ÷ 8,5 kcal/mol năng lượng tự do. Do đó đối với phân tử ATP hay liên kết tương tự khác, vấn đề không phải là làm đứt liên kết, P nằm phía cuối cùng trong ATP, chẳng hạn như A - P - P - P chuyển thành A - P - P và P. Để làm đứt liên kết này cần phải chi năng lượng lớn vào khoảng 50 ÷100kcal/mol (xem bảng trên). Với ý nghĩa này thì ATP không có dự trữ năng lượng tương tự như năng lượng toả ra ở các chất nổ; ngược lại, ATP là liên kết khá bền. Quá trình thực ra là: việc chuyển nhóm phosphat vào nước có làm tách ra năng lượng tự do lớn. Gluco - 6 phosphat có năng lượng liên kết phosphat cỡ 50 ÷100 kcal/mol, nhưng khi chuyển nhóm phosphat vào nước nó chỉ giải phóng gần 3 kcal/mol năng lượng tự do, như vậy Gluco - 6 - phosphat không phải là liên kết giầu năng lượng.

Một cách nhiệt động học, có thể coi phân tử ATP trong tế bào như phân tử giàu năng lượng vạn năng hay dạng mang năng lượng đã được "nạp". còn ADP là phân tử nghèo năng lượng hay dạng đã "phóng" năng lượng.

4.3. Áp dụng nguyên lý thứ hai nhiệt động học cho hệ thống sống

4.3.1. Trạng thái dừng của hệ thống sống

Khi áp dụng nguyên lý thứ hai nhiệt động học vào hệ thống, thoạt tiên ta thấy có vẻ có những mâu thuẫn. Theo nguyên lý thứ hai nhiệt động học thì tính trật tự của hệ cô lập cần phải giảm tương ứng với sự tăng của entropi.

http://tieulun.hopto.org

Trong khi đó cơ thể lại tạo ra liên tục những tổ chức có trật tự cao trong quá trình phát triển. Tính trật tự của tổ chức ngày một hoàn thiện. Từ những phân tử nhỏ trật tự thấp mà cơ thể nhận được trong quá trình ăn uống và hô hấp, những đại phân tử phức tạp có trật tự cao của các polime sinh học được tạo ra và xây dựng nên những cấu trúc hoàn thiện. Cơ thể lớn lên và phát triển tuy thực hiện một quá trình không thuận nghịch nhưng tính trật tự được bảo toàn mà còn tăng lên, entropi như vậy phải giảm đi tương đối.

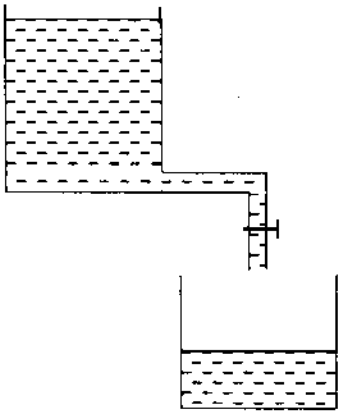
Phải chăng nguyên lý thứ hai nhiệt động học không thể áp dụng cho hệ thống sống? Thực ra điều này không phải như vậy. Như ta đã biết, cơ thể sống là một hệ mở, tức là có trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường ngoài, khác với hệ cô lập. Trong hệ cô lập, quá trình phản ứng hoá học, biến đổi trạng thái... bị giới hạn bởi số lượng vật chất tham gia phản ứng. Trạng thái cân bằng được thiết lập sau khi phản ứng hay quá trình biến đổi kết thúc và hệ sẽ không thay đổi theo thời gian.

Trong khi đó, ở hệ thống sống, do vật chất và năng lượng ra vào không ngừng nên quá trình biến đổi năng lượng luôn luôn xảy ra. Chính do sự diễn biến của các quá trình này nên buộc hệ thống sống (hệ mở) không thể nằm ở trạng thái cân bằng nhiệt động. Nói cách khác, sự tồn tại trạng thái không cân bằng là điều kiện sống của cơ thể. Tuy nhiên đối với cơ thể không phải được đặc trưng bằng trạng thái không cân bằng bất kỳ mà chỉ bằng trạng thái tại đó các tính chất của hệ không thay đổi, các thông số hoá lý như các gradiêng, các đặc trưng động học... được bảo toàn (không thay đổi theo thời gian). Thí dụ, ở tế bào sống thì độ pH và gradiêng nồng độ ion luôn luôn giữ không đổi. Trạng thái vừa nói trên gọi là trạng thái dừng. Trạng thái dừng khác cơ bản với trạng thái cân bằng nhiệt động ở chỗ hệ trong trạng thái dừng vẫn luôn luôn trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường bên ngoài.

Ta hãy so sánh trạng thái dừng xảy ra ở hệ mở với trạng thái cân bằng hoá học xảy ra ở hệ kín.

	Trạng thái cân bằng hoá học	Trạng thái dừng
1	Hệ kín, không có dòng vật chất ra vào hệ	Hệ mở, có dòng vật chất không đổi vào hệ và thải ra các sản phẩm của phản ứng
2	Tốc độ phản ứng thuận bằng tốc độ phản ứng nghịch: $V_1 = V_2$ $A + B \underset{V_2}{\overset{V_1}{\rightleftharpoons}} C + D$	Tốc độ phản ứng thuận luôn luôn lớn hơn tốc độ phản ứng nghịch do vật chất được đưa vào và thải ra: $V_1 > V_2$ $A + B \underset{V_2}{\overset{V_1}{\rightleftharpoons}} C + D$
3	Tốc độ phản ứng phụ thuộc vào nồng độ ban đầu của các chất tham gia phản ứng	Tốc độ phản ứng hoá học không phụ thuộc vào nồng độ ban đầu, nhưng đáng kể là các nồng độ dừng liên tục được giữ nguyên do dòng vật chất mới đi vào
4	Năng lượng tự do trong hệ bằng không $F = 0$	Năng lượng tự do trong hệ khác không và bảo toàn giá trị $F = const \neq 0$
5	Chất xúc tác không làm thay đổi tỷ lệ chất phản ứng	Chất xúc tác làm thay đổi nồng độ dừng, ảnh hưởng tới tốc độ của quá trình.

http://tieulun.hopto.org

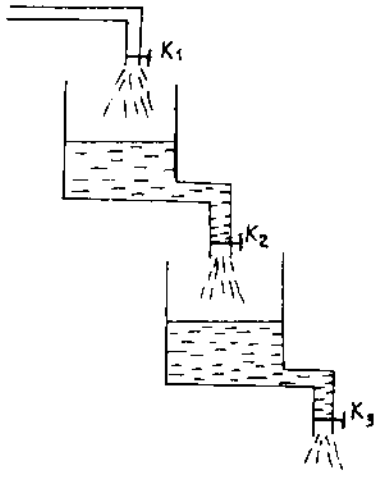


Hình 1.17. Mô hình Burton

Sự khác biệt giữa hai trạng thái này có thể minh họa trên thí dụ về sự chảy của chất lỏng từ bình này sang bình khác (mô hình Burton). Sự chảy cho ta hình ảnh tiến trình phản ứng hoá học.

Nếu hệ kín tức là nếu chất lỏng không đi vào bình từ bên ngoài và không chảy ra ngoài, thì toàn bộ chất lỏng chuyển từ bình cao hơn sang bình thấp hơn với tốc độ được xác định bằng độ mở của khoá và sau khoảng thời gian nào đấy sự cân bằng được thiết lập (hình 1.17). Mức chất lỏng ở dưới không thay đổi nữa vì không còn dòng chảy.

Nếu hệ mở thì bình trên và bình dưới sẽ có mức chất lỏng xác định không ứng với sự cân bằng. Khoá 1 và khoá 3 cho ta mô hình các hằng số vận chuyển giới hạn tốc độ vật chất vào và ra khỏi hệ; khoá 2 cho mô hình hằng số tốc độ phản ứng hoá học, nó gợi cho ta hình ảnh chất xúc tác làm ảnh hưởng tới tốc độ phản ứng hoá học trong hệ mở. Khi thay đổi nồng độ chất xúc tác (khi vặn khoá K2), những mức mới của chất lỏng được thiết lập, tạo nên trạng thái dừng mới (hình 1.18).



Hình 1.18

Mức của trạng thái dừng dễ dàng bị dao động lớn. Phụ thuộc vào những điều kiện bên ngoài và bên trong, hệ mở bất kỳ (trong đó kể cả cơ thể người) có thể chuyển sang những mức khác nhau của trạng thái dừng (trạng thái nghỉ ngơi, công tác, quá trình lớn lên...)

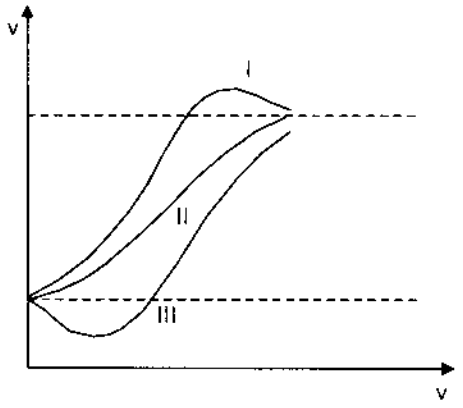
Nếu con người thay đổi điều kiện lao động, nơi ở thì trong mọi trường hợp đều có sự điều chỉnh lại trạng thái dừng từ mức này sang mức khác.

Có thể quan sát thấy sự điều chỉnh trong thí dụ thay đổi tốc độ các quá trình oxy hoá. Khi chuyển từ một trạng thái dừng này sang trạng thái dừng khác, mức mới trong hệ không được thiết lập ngay tức khắc. Thông thường ban đầu quan sát thấy sự tăng hoặc giảm mức ở trạng thái dừng của hệ so với mức đòi hỏi tương ứng với những điều kiện bị thay đổi của môi trường ngoài và trong. Thí dụ: sự dao động động lực của mức áp suất máu ở động mạch lúc bắt đầu và sau khi hoạt động chân tay. Bước chuyển từ một trạng thái dừng này sang trạng thái dừng khác xảy ra khá khác nhau. Có thể chia ra ba dạng chuyển cơ bản minh họa trên hình 1.19.

http://tieulun.hopto.org

Dạng I: Bước chuyển với lệch thừa. Bước chuyển này thường quan sát thấy ở những người trẻ tuổi. Quá trình hưng phấn ở đây có dạng "đỉnh sóng". Đỉnh sóng này có thể được tạo thành do sự vượt khỏi mức tự điều chỉnh của một phản ứng nào đó. Hệ tự điều chỉnh lên mức cao hơn và tốc độ các quá trình cao hơn một chút.

Dạng II: Bước chuyển theo dạng gần hàm mũ, là bước chuyển tiết kiệm nhất. Hệ có xu hướng hoạt động với năng lượng tiêu thụ ít nhất. Quan sát thấy dạng chuyển này ở những người đứng tuổi. Cơ thể người đứng tuổi không thể tạo những bước nhảy vọt như ở người trẻ tuổi.



Hình 1.19

Dạng III: Bước chuyển với "mức xuất phát giả tạo", khác biệt ở chỗ cùng với sự tăng tốc độ phản ứng trong tương lai, có quan sát thấy cả sự giảm tốc độ phản ứng rồi sau đó mới tăng. "Mức xuất phát giả tạo" xuất hiện do sự phát triển thái quá của quá trình glucose phân kỵ khí, rồi sau đó chỉ có quá trình ưa khí phát triển, đóng vai trò của quá trình năng lượng hữu hiệu nhất.

Trong các hệ phức tạp người ta thấy có những bước chuyển ứng với những đường cong phức tạp, chúng có nhiều điểm cực trị.

Sự chuyển của trạng thái dừng từ mức này sang mức khác xảy ra khi có sự thay đổi của môi trường ngoài. Burton quan sát thấy ngay trong thí dụ co bóp của tim ếch cô lập cũng có 3 dạng. Nếu như trong môi trường thích đáng, tim ếch co bóp với tốc độ hầu như không đổi thì với những thay đổi khác nhau về thành phần hoá học và nhiệt độ của môi trường, sự thay đổi nhịp co bóp tim chuyển sang trạng thái dừng mới theo những đường khác nhau có dạng I, II hay III.

Ở cơ thể sống, các đường cong dạng I là những đường cong điển hình của những phản ứng của cơ thể hay tế bào khi có hưng phấn, còn những đường cong dạng III ứng với khi có thương tổn. Người ta đã chứng minh được rằng những bước chuyển giữa các dạng khác nhau của các đường cong phụ thuộc vào cường độ tác động của tác nhân kích thích và cần phải được xem xét về thực chất với quan điểm chung. Sự đồng nhất về dạng của các đường cong thể hiện bước chuyển đổi với những sinh vật cao cấp, vi sinh vật và thực vật là một chứng minh cho sự kiện là toàn thể chúng thuộc vào loại hệ mở.

Sự tiến hoá của trạng thái dừng xảy ra theo phương hướng tiến tới những quá trình xảy ra với tốc độ cao hơn, nhưng bảo toàn sự ổn định của hệ. Chính những tốc độ cao hơn của các quá trình đã giúp ta phân biệt các sinh vật bậc cao với sinh vật bậc thấp. Có thể sự tiến hoá của thế giới hữu cơ không đi qua dạng nhuyễn thể, nếu như để thay thế cho huyết lam tố của con sên, thiên nhiên không tìm thấy hemoglobin là chất có hiệu quả hơn nhiều về tốc độ liên kết với oxy.

Tốc độ phản ứng hoá học trong hệ càng lớn thì hệ càng kém ổn định, dĩ nhiên hệ ở cùng trạng thái dừng. Bởi vậy trong quá trình tiến hoá, sự nâng cao tốc độ phản

http://tieulun.hopto.org

ứng đạt được là nhờ các men tác dụng ở nhiệt độ thấp, còn sự ổn định của hệ thống được cung ứng bởi sự duy trì cân bằng nội môi nhờ có các liên hệ ngược. Sự không đổi của môi trường bên trong là yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ các phản ứng hóa học thì có giá trị hàng đầu. Ở sinh vật máu nóng có một hệ điều chỉnh nhiệt độ tự động luôn luôn hoạt động vì khoảng nhiệt độ hoạt động của các men trong cơ thể khá hẹp.

Các nhà bác học đã thử giải thích sự phát triển của các mô u ác tính bằng quan điểm xuất hiện trạng thái dừng mới khác với mức thấp khá nhiều, nhưng lại ổn định hơn. Trạng thái dừng mới đạt được bằng tỷ lệ các chất xúc tác và các chất ức chế. Các tế bào ung thư tích luỹ những chất oxy hoá, những chất này giúp tế bào ung thư chuyển sang trạng thái có tốc độ các quá trình oxy hoá thấp. Chính vì vậy những tế bào này tăng thêm được độ bền vững và có tốc độ sinh sản lớn so với tế bào bình thường của cơ thể.

4.3.2. Biến đổi entropi ở hệ thống sống

Hệ mở trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh, bởi vậy sự thay đổi entropi ở hệ chia ra làm hai phần. Ta ký hiệu dS_e là phần thay đổi entropi gây bởi sự tương tác với môi trường xung quanh (do thay đổi bằng các dòng vật chất và năng lượng ra vào hệ), ký hiệu dS_i là phần thay đổi entropi gây bởi những thay đổi bên trong hệ. Có thể biểu diễn sự thay đổi chung ở hệ như sau:

$$dS = dS_e + dS_i \qquad (1.58)$$

Giả sử ta cô lập hệ, không còn phần thay đổi dS_e nữa (không có trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh), khi ấy $dS = dS_i$. Theo nguyên lý thứ hai nhiệt động học, dS_i chỉ có thể nhận các giá trị dương hoặc bằng không. Đại lượng dS_i bằng không chỉ khi mà hệ chịu thay đổi thuận nghịch, nó luôn luôn dương nếu trong hệ xảy ra các quá trình không thuận nghịch. Như vậy $dS_i = 0$ đối với những quá trình thuận nghịch, $dS_i > 0$ đối với những quá trình không thuận nghịch. Đối với cơ thể sống, những quá trình biến đổi bên trong cơ thể (quá trình oxy hoá, phân huỷ hiếm khí các thức ăn đưa vào cơ thể và sự tổng hợp các sản phẩm năng lượng cao) xảy ra không thuận nghịch nên chúng gắn liền với sự tăng entropi hay $dS_i > 0$.

Đại lượng dS_e có thể nhận giá trị bất kỳ: dương, âm hoặc bằng không. Với cơ thể sống, do quá trình tương tác với môi trường xung quanh (sử dụng thức ăn cao phân tử, tách ra khỏi cơ thể các sản phẩm thoái hoá trong quá trình tiêu hoá, truyền nhiệt trực tiếp vào môi trường xung quanh...) mà tạo thành một dòng vật chất có năng lượng tự do thấp (S lớn) đi ra khỏi cơ thể. Kết quả chung là hình như tạo nên một dòng entropi âm đi vào cơ thể.

Khi $dS_e = 0$ (trường hợp riêng là hệ cô lập, nói chung hệ mở vẫn có thể xảy ra trường hợp này) thì $dS = dS_i$, tức là phần thay đổi entropi của toàn hệ thống được xác định bằng sự tăng entropi bên trong hệ.

Khi $dS_e > 0$ thì dS chắc chắn lớn hơn không.

Khi $dS_e < 0$ ta thấy có 3 trường hợp:

– Nếu $\left|dS_e\right| < \left|dS_i\right|$, $dS > 0$

http://tieulun.hopto.org

– Nếu $|dSe| > |dS_i|$, $dS < 0$. Do tương tác với môi trường xung quanh mà entropi của toàn hệ giảm xuống, tính trật tự của hệ ngày càng tăng. Đến đây ta dễ dàng hiểu được vì sao mà có những giai đoạn phát triển, hệ thống sống có tính trật tự ngày càng cao.

– Nếu $|dS_e| = |dS_i|$, sự thay đổi entropi của hệ bằng không, điều đó tương ứng với trường hợp trạng thái dừng.

Như ta đã nhận thấy, nếu trong hệ, mọi thông số không thay đổi theo thời gian và không có một dòng dừng nào cả do tác dụng của những nguồn bên ngoài nào đấy thì trạng thái của hệ được gọi là cân bằng nhiệt động. Những nét giống nhau và khác nhau cơ bản của cân bằng dừng và cân bằng nhiệt động nằm trong 3 thông số: entropi, năng lượng tự do và thời gian. Như ta đã xác định: cân bằng nhiệt động không phụ thuộc vào thời gian; entropi của nó đạt cực đại, còn năng lượng tự do bằng không, tức là hệ hoàn toàn bị giảm phẩm chất và không thể ở trạng thái sinh công được.

Sự giống nhau của trạng thái cân bằng nhiệt động với trạng thái dừng ở chỗ không phụ thuộc vào thời gian, tức là tương tự trạng thái cân bằng nhiệt động, hệ dừng sẽ giữ những thông số cơ bản không đổi theo thời gian. Entropi của trạng thái dừng có độ lớn không đổi nào đó, không bằng giá trị cực đại. Năng lượng tự do hay là thế nhiệt động của hệ dừng khác không, mà được đặc trưng bằng độ lớn không đổi nào đó. Điều này có nghĩa là trạng thái dừng không nằm ở trạng thái bị kém phẩm chất, còn ngược lại, khi nó đi ra khỏi trạng thái cân bằng dừng, nó có khả năng sinh công trước khi đạt tới cân bằng nhiệt động.

Sự khác nhau về nguyên tắc của cân bằng nhiệt động so với cân bằng dừng là ở chỗ xuất hiện những thông số động học của cân bằng dừng.

Phương trình (1.58) có thể viết:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} \tag{1.59}$$

Đó là công thức Prigogine

Ta có thể suy ở trạng thái dừng:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} = 0$$

Hay

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \neq 0 \tag{1.60}$$

Biểu thức (1.60) cho ta thấy ở trạng thái dừng tốc độ tăng entropi trong cơ thể bằng tốc độ trao đổi entropi với môi trường xung quanh. Như vậy ở trạng thái dừng tốc độ tăng entropi bên trong hệ khác không và trở thành một trong những đại lượng quan trọng cùng với entropi và năng lượng tự do đặc trưng cho hệ mở dừng.

Sự khác nhau của $\frac{dS_i}{dt}$ với số không cũng có nghĩa có sự không bình đẳng giữa các dòng vật chất theo hướng đi vào và theo hướng ra.

http://tieulun.hopto.org

Với các phản ứng hoá học thuận nghịch, sự cân bằng nhiệt động được xác định bằng sự bằng nhau của phản ứng thuận và nghịch và trong trường hợp ấy cũng có:

$$\frac{dS_i}{dt} = 0$$

Ở trạng thái dừng thì: $\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} = C \neq 0$

Như vậy, ở trạng thái dừng thì tốc độ phản ứng thuận có thể vượt quá tốc độ của phản ứng ngược, nhưng hiệu tốc độ phải giữ không đổi theo thời gian.

Đối với hệ thống sống ta có thể kết luận: để duy trì sự tồn tại, hệ thống sống cần phải trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường ngoài, nói khác đi môi trường ngoài là điều kiện tồn tại của hệ thống sống.

4.3.3. Phương trình hiện tượng

Tất cả những quá trình xảy ra trong cơ thể sống đều là hàm số của thời gian; việc đưa thông số thời gian vào trong phương trình nhiệt động học cho phép mô tả các hiện tượng sinh vật cả về vật chất lẫn lượng. Tuy nhiên điều này không phải giản đơn vì rằng tốc độ các quá trình trong cơ thể sống khác nhau đáng kể. Thí dụ: các quá trình khuếch tán xảy ra chậm hơn đáng kể so với các quá trình tự phân tích và những quá trình liên quan đến sự kích thích cơ và thần kinh. Hiện nay công cụ nhiệt động học các quá trình không thuận nghịch không thể dùng để mô tả mọi hiện tượng sinh vật, đặc biệt là bị giới hạn bởi những vấn đề phải dùng đến phương trình hiện tượng để xử lý.

Khảo sát các hiện tượng xảy ra trong các hệ thống sống và không sống, nhiệt động học các quá trình không thuận nghịch mô tả quá trình gần với cân bằng nhiệt động, khi mà các lực gây nên quá trình này hay khác (lực suy rộng) phụ thuộc tuyến tính (tỷ lệ thuận) vào tốc độ của quá trình này (dòng suy rộng).

$$I_i = L_{ik}X_k$$

Trong đó I_i là dòng suy rộng

X_k là lực suy rộng

L_{ik} là hệ số tỷ lệ

Các phương trình tuyến tính phản ánh những quá trình có giá trị nền tảng đối với sinh học. Các quá trình khuếch tán hay những quá trình thấm của vật chất qua màng sinh vật, ở đó lượng vật chất chuyển qua trong một đơn vị thời gian, tức là tốc độ vận chuyển, tỷ lệ với gradiêng nồng độ, được mô tả bằng phương trình Fick.

$$\frac{dm}{dt} = DS\frac{dc}{dx} \qquad (1.61)$$

Trong đó $\frac{dm}{dt}$ là tốc độ khuếch tán vật chất.

http://tieulun.hopto.org

S là diện tích xảy ra khuếch tán.

D là hệ số khuếch tán.

$\frac{dc}{dx}$ là gradiêng nồng độ.

Hiện nay công cụ nhiệt động học các quá trình không thuận nghịch được dùng để mô tả sự xâm nhập của nước, các chất điện ly và không điện ly qua màng sinh vật.

Trong những hệ mở phức tạp, thí dụ cơ thể là một hệ loại đó, người ta đã không thấy một quá trình nào đó xảy ra một cách biệt lập, mà thấy có nhiều quá trình khác cũng xảy ra, đồng thời sự tương tác giữa chúng đôi khi xảy ra rất kỳ lạ. Trong giới tự nhiên không sống, các hiện tượng này được biết đến và nghiên cứu từ lâu. Thí dụ sự xuất hiện nồng độ và sự khuếch tán nhiệt từ phần nóng tới phần lạnh dẫn tới sự phân phối lại vật chất hoà tan, đó là nhiệt khuếch tán, khi ấy xuất hiện gradiêng nồng độ. Duy trì hiệu số nồng độ dừng dẫn tới xuất hiện hiệu nhiệt độ ở hai đầu của mẫu vật. Duy trì hiệu số nồng độ dừng dẫn tới xuất hiện hiệu nhiệt độ ở hai đầu của mẫu vật. Duy trì hiệu nhiệt độ ở hai nơi tiếp xúc hai vật dẫn điện thì làm xuất hiện suất nhiệt điện động và ngược lại, cho dòng điện đi qua hai nơi tiếp xúc hai vật dẫn thì sẽ làm một chỗ toả nhiệt, một chỗ hấp thu nhiệt.

Đối với các quá trình sinh vật thì sự tương tác của các quá trình không thuận nghịch có giá trị to lớn, chẳng hạn như các quá trình không thuận nghịch gây nên sự chồng chất điện thế và sự khuếch tán của nước qua màng. Khi ấy xuất hiện hiệu ứng điện thấm và hiện tượng thẩm thấu dị thường liên hệ với hiệu ứng điện thấm.

Sự tương tác của hai dòng trong hệ mở được mô tả bằng hệ hai phương trình hiện tượng:

$$I_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2 \qquad (1.62)$$

$$I_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2$$

Các hệ số chỉ số giống nhau L_{11}, L_{22} đặc trưng cho một quá trình thuần tuý nào đó; chúng có thể là các hệ số dẫn nhiệt, dẫn điện, khuếch tán. Các hệ số với chỉ số không giống nhau (L_{12}, L_{21}) gọi là các hệ số hiện tượng. Các hệ số hiện tượng phản ánh các quá trình tương tác giữa các quá trình không thuận nghịch với nhau; chúng có thể là các hệ số khuếch tán, điện thấm, nhiệt điện...

Năm 1931, Onsager thiết lập rằng trong phạm vi tác dụng của các phương trình hiện tượng tuyến tính, các hệ số phản ánh tương tác của các quá trình với nhau thì tương ứng bằng nhau:

$$L_{ik} = L_{ki} \ (i,k = 1...n)$$

Đẳng thức này được gọi là hệ thức tương hỗ Onsager, nó chứng tỏ rằng nếu dòng tương ứng quá trình không thuận nghịch i gây ảnh hưởng lên cực X_k của quá trình không thuận nghịch k thì dòng của quá trình k cũng gây ảnh hưởng lên lực X_i phản ánh bằng hệ số L_{ik}. Giá trị của nguyên lý này đối với toàn bộ nhiệt động học các quá trình không thuận nghịch rất lớn.

http://tieulun.hopto.org

Trên cơ sở nguyên lý này, Prigogine phát biểu và chứng minh tính chất cơ bản của trạng thái dừng: "Ở trạng thái dừng, tốc độ tăng entropi $\frac{dS_i}{dt}$ gây bởi sự xảy ra các quá trình không thuận nghịch có giá trị dương và bé nhất trong các giá trị có thể".

Ta xét sự tăng entropi trong hệ kín; hệ này tạo nên từ hai pha với nhiệt độ khác nhau, giữa hai pha này có trao đổi nhiệt lượng và vật chất. Khi ấy sự tăng entropi trên một đơn vị thời gian có thể viết ở dạng phương trình:

$$T = \frac{dS_i}{dt} = I_T X_T + I_M X_M > 0 \qquad (1.63)$$

trong đó I_T và I_M tương ứng là dòng nhiệt lượng và vật chất.

X_T và X_M là các gradiêng nhiệt độ và nồng độ.

Các phương trình hiện tượng tương ứng có thể viết dưới dạng:

$$I_T = L_{11}X_T + L_{12}XM$$

$$I_M = L_{21}X_T + L_{22}M$$

Ta đặt các giá trị I_T và I_M vào phương trình (1.63) và sử dụng hệ thức tương hỗ Onsager $L_{12} = L_{21}$, ta có:

$$T = \frac{dS_i}{dt} = L_{11}X_T^2 + 2L_{21}X_T X_M + L_{22}X_M^2 > 0$$

Lấy đạo hàm phương trình này theo X_M với X_T không đổi ta nhận được khi T = const biểu thức sau:

$$\frac{\partial}{\partial X_M}\left(\frac{dS_i}{dt}\right) = 2(L_{21}X_T + L_{22}X_M) = 2I_M = 0 \qquad (1.64)$$

Hai điều kiện $I_M = 0$ và $\frac{\partial}{\partial X_M}\left(\frac{dS_i}{dt}\right) = 0$ hoàn toàn tương đương nếu các hệ thức bậc nhất còn tác dụng.

Vì đại lượng $\frac{dS_i}{dt}$ đối với các phản ứng không thuận nghịch luôn luôn dương nên các điều kiện cực trị xác định bằng phương trình (1.64) cho thấy đó là cực tiểu, đó là điều cần chứng minh. Đối với hệ mở có thể chứng minh tương tự. Như vậy ở trong hệ mở không cân bằng thì tốc độ tăng entropi hay tốc độ giảm năng lượng tự do nhận giá trị dương cực tiểu có thể với những điều kiện cho trước. Nếu như vì nguyên nhân nào đó hệ lệch khỏi trạng thái dừng thì trong hệ xảy ra những biến đổi nội bộ làm cho hệ tiến dần tới trạng thái dừng. Đó là một tính chất của trạng thái dừng, có giá trị lớn, gọi là sự tự làm ổn định (làm bền vững).

Tính chất tự làm bền vững là nguyên lí Le Chatelier được mở rộng và bao gồm không phải chỉ những phản ứng cân bằng mà cả những phản ứng không thuận nghịch ở trạng thái dừng. Nguyên lý này phát biểu cho trường hợp cân bằng nhiệt

http://tieulun.hopto.org

động như sau: "Nếu hệ nằm ở trạng thái cân bằng thì khi tác dụng lên nó những lực làm phá huỷ sự cân bằng, hệ sẽ chuyển sang trạng thái sao cho khi ấy hiệu quả của tác dụng bên ngoài bị yếu đi. Thí dụ khi nâng cao nhiệt độ, sự cân bằng dừng hoá học chuyển sang phía phản ứng xảy ra hấp thụ nhiệt lượng, còn khi nâng cao áp suất, thì chuyển sang phía phản ứng xảy ra làm giảm thể tích. Trong cả hai trường hợp thì mức tăng kết thúc của nhiệt độ và áp suất sẽ nhỏ hơn những giá trị kỳ vọng.

4.3.4. Thí dụ minh họa

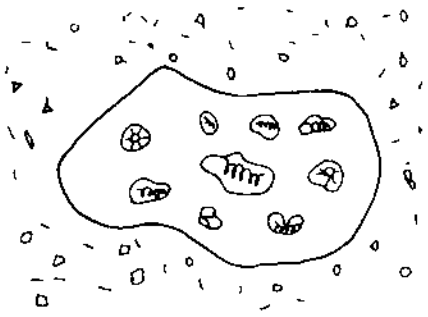
Ta xét quá trình nuôi cấy vi sinh vật đang ở pha lớn cực đại. Đặc điểm của các quá trình xảy ra khi ấy minh họa trên hình (1.20). Tế bào vi sinh lớn không ngừng, sinh ra các polime đặc trưng (các protein và acid nucleic), từ các polime này sẽ tạo nên các sợi nhiễm sắc và các cơ quan. Vì tế bào là một cấu trúc có tổ chức nên entropi của nó phải thấp. Bởi vậy kết luận đầu tiên là tế bào sống làm giảm entropi. Theo nguyên lý thứ hai của nhiệt động học thì entropi của toàn hệ thống bao gồm tế bào và môi trường ngoài hoặc không thay đổi hoặc tăng lên; việc giảm entropi ở trong tế bào phải được bù trừ bằng việc tăng entropi ở môi trường bên ngoài. Thành thử những vật chất cần cho tế bào để duy trì sự tồn tại và phát triển phải có entropi nhỏ; entropi sẽ tăng trong quá trình trao đổi vật chất. Schrödinger gọi điều đó là "sự tiêu dùng entropi âm".

Để tính độ lớn của entropi trong tế bào vi sinh, Lipchitz dựa vào hai giả thiết nhiệt động như sau:

- Entropi của một hệ đầy đủ minh hoạ trên hình (1.20) (tế bào vi sinh và môi trường ngoài) phải giữ nguyên hoặc tăng, tức là:

$$\Delta S_i + \Delta S_e \geq 0$$

trong đó S_i và S_e là entropi bên trong và bên ngoài tế bào.



Hình 1.20

- Năng lượng tự do toàn phần phải giữ không đổi hoặc giảm, tức là:

$$\Delta F_i + \Delta F_e \leq 0$$

Chỉ số i và e có ý nghĩa như trên.

Để tiện diễn giải, ta tính toán với dấu bằng, đó là trường hợp giới hạn. Tuy rằng trên thực tế có xảy ra việc giảm năng lượng tự do mà hiệu suất của quá trình rất lớn, khi ấy ta sử dụng trường hợp giới hạn cũng không mắc sai lầm đáng kể. Khi ấy:

$$\Delta F_i = - \Delta F_e$$

Thông thường trong thực tế không đo trực tiếp năng lượng tự do mà đo nhiệt lượng của phản ứng tức là đo độ tăng của entanpi H. Nhờ hệ thức F = H - TS ta có:

$$\Delta H_i - T. \Delta S_i = \Delta F_e$$

hay là:

http://tieulun.hopto.org

$$\Delta S_i = \frac{\Delta H_i + \Delta F_e}{T}$$

Lipchitz xét loại Bacillus Pycnoticus, chúng thường dùng H_2 làm nguồn năng lượng (cho phép tính ΔF_e) và CO_2 (ở dạng carbonat) làm nguồn carbon. Dùng dữ kiện về nhiệt lượng của các phản ứng:

$2H_2 + O_2 = 2H_2O$; ΔH = -56kcal/mol H_2

và $6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$; ΔH = 675kcal.

Người ta cũng thấy là 1mol CO_2 thích hợp với 8mol H_2, khi ấy ta tìm được trên 1g carbon (tức là 1/12mol).

$$\Delta F_e = \frac{8}{12}(-56) = -37{,}4\text{kcal/g}$$

$$\Delta H = \frac{1}{72}675 = 9{,}4\text{kcal/g}$$

Chú ý rằng 72 là trọng lượng của thành phần carbon nằm trong đường glucose, vì vậy đối với một gam thì cần 1/72 nhiệt lượng của mol.

Ở nhiệt độ T = 300°K ta thấy:

$$\Delta S_i = \frac{9{,}4 - 37{,}4}{300} = \frac{-28}{300}\text{kcal/độ} = -93\text{cal/độ}$$ cho một gam carbon của tế bào.

Nếu thừa nhận rằng khoảng 10% khối lượng tế bào là thành phần carbon, khối lượng tế bào vào cỡ 10^{-12} gam thì lượng carbon trong một tế bào vào khoảng 10^{-13} gam. Do đó khi tế bào tạo thành thì đã có biến thiên entropi khoảng $-9.3.10^{-12}$ cal/độ.

Bay - John và Ritz đo bằng thực nghiệm, nhiệt lượng ΔQ chi phí khi tạo một tế bào E. Coli theo phương pháp đo trực tiếp của Morovichs, thấy rằng kết quả trên tế bào phát triển theo hàm mũ ở 37°C vào khoảng 4.10^{-10} cal; nếu thừa nhận rằng $\Delta S = \Delta Q/T$ thì với T = 310,5°K sẽ có $\Delta S = -1.3.10^{-12}$ cal/độ. Kết quả này gần đúng với kết quả tính toán của Lipchitz, nếu đặc biệt chú ý tới tình hình là những loại vi sinh vật khác nhau sẽ có biến thiên entropi khác nhau.

http://tieulun.hopto.org

CHƯƠNG 2

SỰ VẬN CHUYỂN VẬT CHẤT TRONG CƠ THỂ SỐNG

Phan Sỹ An,
Nguyễn Văn Thiện,
Đoàn Giáng Hương

Để đảm bảo cho một cơ thể sống hoạt động và phát triển thì trong nó luôn diễn ra không ngừng các quá trình vận chuyển vật chất. Các quá trình này được diễn ra ở dạng vi mô (như vận chuyển vật chất qua màng tế bào) hay dạng vĩ mô (như vận chuyển của máu trong hệ tuần hoàn, vận chuyển khí trong hoạt động hô hấp) thì nhiệm vụ của chúng vẫn là mang các chất cần thiết đến các cơ quan, mô, tế bào và mang đi để đào thải các chất có hại cho cơ thể. Quá trình vận chuyển vật chất trong cơ thể sống là một quá trình phức tạp, xảy ra theo nhiều cơ chế và phụ thuộc vào nhiều yếu tố:

– Bản chất của phần tử vận chuyển: kích thước, điện tích, khả năng hoà tan...

– Hoạt động của cơ thể.

Tuy vậy những quá trình này đều xảy ra theo những cơ chế vật lý và giải thích được bằng các quy luật vật lý. Trong chương này ta sẽ đề cập đến các hiện tượng vận chuyển vật chất cơ bản trong cơ thể sống, giải thích sự vận chuyển vật chất qua màng tế bào, sự vận chuyển máu và vận chuyển khí trên cơ thể sống.

I. PHÂN TỬ VÀ DUNG DỊCH TRONG CƠ THỂ SINH VẬT

1. Các phân tử và ion trong cơ thể sinh vật

Trong mô và tế bào sống của bất kỳ cơ thể nào (thực vật, động vật hay vi khuẩn) đều chứa các đại phân tử sắp xếp rất có trật tự. Trái lại trong môi trường bao quanh tế bào đều có các phân tử, ion bình thường, không đặc trưng và phân bố một cách ngẫu nhiên. Do đó ta có thể khẳng định mọi cơ thể sống đều được cấu tạo bởi vô số các phân tử và ion. Các phân tử và ion này được cấu tạo từ rất nhiều nguyên tố thường gặp trong tự nhiên. Dù số lượng chúng có thể nhiều như Carbon, Hydro, Nitơ, Lưu huỳnh, Phospho, Clo, Calci, Kali, Natri và có thể như flo, iod, sắt, đồng, chì, nhôm... thì chúng đều giữ vai trò rất quan trọng trong việc hình thành cũng như hoạt động của cơ thể sống. Mỗi phân tử, ion tồn tại trong cơ thể sống đều luôn hoạt động và biến đổi. Nghiên cứu về các phân tử và ion trong cơ thể sống ta nhận thấy chúng có một số đặc điểm sau:

– Chúng có hình dáng, kích thước, khối lượng rất khác nhau Bảng 2.1 cho ta một số ví dụ về các loại phân tử khác nhau:

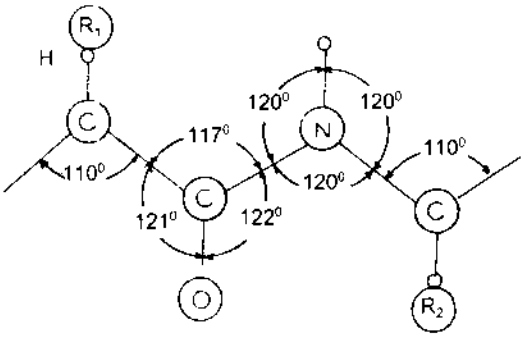
http://tieulun.hopto.org

Bảng 2.1

Loại phân tử	Hình dạng	Kích thước (nm)	Phân tử lượng
Hydro		0,1	2
Nước		0,2	18
Benzen		0,3	78
Hemoglobin người	elip	5,5 - 6,5	67.000
Anbumin huyết tương người	elip	4 - 15	69.000
Fibrinogen bò	gậy	4 - 70	580.000

Chỉ xét riêng với phân tử protein ta thấy: phân tử lượng của chúng thay đổi từ hàng trăm đến hàng triệu; hình dạng của chúng có hai loại: Protein sợi có hình dạng dài (chiều dài lớn hơn đường kính hàng trăm lần) và protein cầu (chiều dài lớn hơn đường kính 3-10 lần).

Tùy theo khả năng hoạt động, nhiệm vụ của các ion và phân tử trong cơ thể mà chúng có thể đứng yên một cách tương đối hoặc chuyển động hỗn loạn hay thành dòng. Thông thường các đại phân tử thường ít vận động. Các ion thì trái lại, vận động khá linh động như K^+, Na^+, Cl^-.... Một dạng khác của ion là các phân tử bị ion hoá. Các ion này vẫn có cấu trúc phức tạp của các phân tử ban đầu, thông thường chúng đứng yên tương đối trong tế bào.



Hình 2.1. Hình ảnh góc tạo bởi các phân tử trong chuỗi peptid

– Chúng có cấu trúc rất phức tạp:

+ Giữa các nguyên tử tạo nên phân tử có tạo góc xác định trong không gian. Trên hình 2.1 cho ta hình ảnh góc tạo bởi các phân tử trong một chuỗi peptid.

+ Một số phân tử như glucid và acid amin có hoạt tính quang học tức là khả năng làm quay mặt phẳng của ánh sáng phân cực sang phải hoặc trái.

+ Các đại phân tử trong cơ thể có cấu trúc rất phức tạp, chúng tạo thành những thể hình học xác định và bắt đầu có tính chất như một vật rắn. Đặc biệt với phân tử protein được phân ra làm bốn cấu trúc.

* Cấu trúc cấp I: biểu thị thứ tự các acid amin của phân tử protein.

* Cấu trúc cấp II: biểu thị sự xoắn của chuỗi polypeptid.

* Cấu trúc cấp III: biểu thị sự xoắn và cuộn khúc của chuỗi polypeptid thành khối đặc trưng của protein dạng cầu.

* Cấu trúc cấp IV: biểu thị sự kết hợp của nhiều chuỗi polypeptid có cấu trúc bậc III trong phân tử protein oligome (protein có nhiều chuỗi polypeptid).

http://tieulun.hopto.org

– Các phân tử và ion trong cơ thể tồn tại ở những trạng thái ứng với những mức năng lượng gián đoạn, xác định. Khi bị kích thích chúng có thể chuyển từ trạng thái cơ bản (ứng với mức năng lượng thấp nhất) sang trạng thái kích thích (ứng với mức năng lượng cao hơn). Nhưng đa số các phân tử chỉ tồn tại ở trạng thái kích thích khoảng $10^{-9} \cdot 10^{-8}$s (một số có thể ở trạng thái kích thích vài phút trở lên). Trạng thái kích thích được giải phóng bằng phản ứng hoá học hay sự phát quang hoặc năng lượng được di chuyển từ phân tử này sang phân tử khác.

– Với một loại phân tử xác định, đời sống của một phân tử là khoảng thời gian xác định rồi biến đổi thành phân tử khác. Đời sống trung bình của một phân tử là giá trị trung bình cộng của đời sống tất cả các phân tử loại đó trong cơ thể sinh vật hoặc trong một mô hay tế bào.

$$t = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n} \qquad (2.1)$$

Đại lượng này mang một ý nghĩa xác suất nhất định, nó phụ thuộc vào loại phân tử được xét và những điều kiện cụ thể của hoàn cảnh mà loại phân tử này đang tồn tại.

– Trong tất cả các quá trình sinh học đều có sự tham gia của các phân tử và ion. Đại đa số các quá trình đó đều có một số lượng phân tử và ion rất lớn tham gia như vận chuyển máu, như quá trình hô hấp... Cũng có quá trình như quá trình di truyền chỉ có rất ít các phân tử ADN tham gia nhưng phẩm chất của các phân tử này quyết định hoàn toàn việc hình thành một cá thể sống mới.

Như vậy các phân tử và ion trong cơ thể sống phải bảo đảm 3 vai trò:

– Là yếu tố cấu trúc của cơ thể.

– Dự trữ, vận chuyển, giải phóng năng lượng cần thiết cho hoạt động sống.

– Một số trong chúng chứa đựng toàn bộ thông tin cần thiết để tổ chức cơ thể sống.

2. Dung dịch trong cơ thể sinh vật

Các dung dịch trong cơ thể sinh vật đóng vai trò rất quan trọng. Chúng vận chuyển vật chất từ nơi này đến nơi khác của cơ thể, chúng là môi trường để thực hiện hàng loạt các phản ứng hoá sinh, chúng bao bọc và bảo vệ các tổ chức, chúng thực hiện các quá trình trao đổi chất, chúng dẫn truyền các xung điện sinh vật.

Trong cơ thể có hai loại dung môi chính là nước và lipid, từ đó chia ra làm 4 loại dung dịch: dung dịch không điện ly, dung dịch điện ly, dung dịch keo và dung dịch đại phân tử.

– Dung dịch hoà tan không điện ly: là một hệ đồng nhất gồm 2 hay nhiều chất và các chất này không có khả năng phân ly thành ion. Khi nghiên cứu loại dung dịch này ta quan tâm đến tỷ lệ chất tan trong dung dịch (nồng độ) bởi vì mọi tính chất của dung dịch đều phụ thuộc vào nồng độ của nó.

http://tieulun.hopto.org

– Dung dịch hoà tan chất điện ly: nó khác với loại dung dịch trên ở chỗ các chất hoà tan có khả năng phân ly thành các ion dương và âm. Để đặc trưng cho loại dung dịch này người ta đưa ra khái niệm độ điện ly α:

$$\alpha = \frac{\text{Số phân tử điện ly}}{\text{Số phân tử chất tan}}$$

α có giá trị từ 0 đến 1.

Đối với chất không điện ly α = 0 còn với chất điện ly hoàn toàn α = 1 (α = 100%).

Độ điện ly phụ thuộc dung môi, nhiệt độ, nồng độ chất điện ly. Dưới đây là bảng 2.2 cho biết giá trị độ điện ly của một số chất trong dung dịch nước ở 18°C, nồng độ 0,1.

Bảng 2.2. Giá trị độ điện ly của một số chất trong dung dịch nước ở 18°C

Tên	Công thức	α
Acid clohydric	HCl	0,92
Kali clorua	KCl	0,82
Natri clorua	NaCl	0,84
Acid carbonic	H_2CO_3	0,0014

Dung dịch không điện ly và dung dịch điện ly được gọi chung là dung dịch thực.

– Dung dịch keo là một hệ phân tán dị thể, chúng gồm một pha liên tục - môi trường phân tán và các phân tử chia nhỏ với kích thước và hình dáng có thể khác nhau - pha phân tán, ở trong môi trường này. Các phân tử chia nhỏ trong dung dịch keo hay còn gọi là tiểu phân keo (hạt keo) có kích thước từ 1- 100nm (kích thước tiểu phân trong dung dịch thực nhỏ hơn 1nm). Khi môi trường phân tán là chất lỏng thì dung dịch keo được gọi là sol lỏng. Nếu môi trường phân tán là nước thì gọi là sol nước, nếu là chất lỏng hữu cơ gọi là sol hữu cơ. Đối với cơ thể ta quan tâm chủ yếu đến sol lỏng. Sol lỏng được chia làm hai loại: keo thân dịch và keo sơ dịch.

Các tiểu phân keo thân dịch liên kết chặt chẽ với môi trường phân tán nhờ lớp vỏ solvat. Khi làm đông vón, ta thu được một khối đặc gọi là gen. Các protein, gôm... thuộc loại này.

Các keo sơ dịch không thể tự tạo được lớp solvat nên không gắn chặt được với môi trường phân tán. Khi làm đông vón keo sơ dịch kết tủa tách khỏi môi trường phân tán dưới dạng bột. Thuộc loại này có các keo vô cơ như một số oxyd kim loại, sunfua kim loại được điều chế dưới dạng keo.

– Dung dịch đại phân tử: các đại phân tử có phân tử lượng lớn (cỡ hàng chục nghìn đến hàng triệu) như protein, polymer cao phân tử có kích thước của hạt keo và các phân tử này có thể được phân tán vào trong môi trường nước hoặc lipid trong

http://tieulun.hopto.org

cơ thể, do vậy, dung dịch đại phân tử cũng là một dạng của dung dịch keo nói chung. Như vậy nó cũng có các tính chất chung như dung dịch keo.

Sau đây là một số tính chất của dung dịch keo và dung dịch đại phân tử:

+ Không thể tách các hạt keo và đại phân tử bằng lọc sứ nhưng có thể tách chúng bằng siêu ly tâm, màng động thực vật, màng collodion.

+ Dung dịch keo khuếch tán chậm hơn dung dịch thực rất nhiều và đây chính là dấu hiệu để phân biệt dung dịch keo và dung dịch thực.

+ Hạt keo và đại phân tử có khối lượng lớn hơn phân tử và ion rất nhiều nên dưới tác dụng của trọng lực chúng bị kéo xuống. Đó là sự sa lắng tự do. Tốc độ sa lắng phụ thuộc kích thước khối lượng riêng của hạt, khối lượng riêng và độ nhớt của môi trường.

+ Các hạt keo và đại phân tử trong dung dịch gây ra tán xạ ánh sáng (hiệu ứng Tinđal), cường độ ánh sáng tán xạ phụ thuộc vào thể tích hạt keo và đại phân tử.

+ Các dung dịch keo và đại phân tử rất nhạy với các tác nhân hoá học (các ion H^+, OH^-, các thuốc thử màu...) vì diện tích bề mặt tổng cộng của chúng rất lớn.

+ Các hạt keo và đại phân tử có khả năng tích điện. Đối với keo thân dịch, sự tích điện này phụ thuộc nghiêm ngặt vào độ pH của môi trường. Thí dụ với keo protein, để đơn giản lấy một acid amin, ta thấy khi môi trường có pH = 5,97 thì nó trung hoà về điện, nếu pH < 5,97 nó tích điện âm còn pH > 5,97 nó tích điện dương.

+ Trong dung dịch keo và đại phân tử luôn diễn ra những quá trình kết hợp của các phân tử lại với nhau thành những phân tử lớn hơn, dẫn đến cuối cùng, dung dịch keo tách thành hai lớp: chất phân tán kết tủa lắng xuống và môi trường phân tán. Đó là hiện tượng đông tụ keo.

Có thể làm đông tụ keo bằng chất điện ly, bằng cách trộn lẫn hai dung dịch keo tích điện trái dấu nhau hoặc bằng cách đun nóng.

Để chống sự đông tụ keo người ta dùng một số chất bảo vệ gelatin, casein, hemoglobin, albumin. Hiện tượng dung dịch keo được bảo vệ giữ một vai trò quan trọng trong các quá trình sinh lý trong cơ thể sống.

Riêng về dung dịch đại phân tử ta thấy cần quan tâm đến các dung dịch tạo từ:

+ Protein, tạo thành từ các mạch peptid của các acid amin.

+ Polysacarid (amidon, glycogen, cellulose) là các polymer của glycopyranose D (Dung dịch keo của hydracellulose và visco).

+ Các acid nucleic là các polymer của nucleotid.

II. CÁC HIỆN TƯỢNG VẬN CHUYỂN VẬT CHẤT CƠ BẢN TRONG CƠ THỂ

Trong cơ thể sinh vật, vật chất vận chuyển giữa cơ thể và môi trường, từ nơi này đến nơi khác, giữa trong và ngoài màng tế bào có thể tạo thành dòng vĩ mô như

http://tieulun.hopto.org

máu, bạch huyết... cũng có thể là kết quả của sự chuyển động của các phân tử mang đặc tính vi mô. Hiện tượng vận chuyển vật chất có thể xảy ra theo những cơ chế vật lý cơ bản: khuếch tán, thẩm thấu, lọc và siêu lọc. Để hiểu rõ bản chất các hiện tượng đó, chúng ta nhắc lại những kiến thức cơ bản về động học các chất.

1. Thuyết động học chất khí và khí lý tưởng

Ta đã biết vật thể cấu tạo từ các nguyên tử, phân tử. Trạng thái rắn, lỏng và khí được quyết định bởi mật độ phân tử và lực lượng tương tác giữa các phân tử với nhau.

Người ta gọi 1 phân tử gam hay 1 mol của một chất nào đấy là một lượng chất đó có trọng lượng đo ra gam với số trị đúng bằng trọng lượng phân tử chất đó. Bất kỳ 1 mol chất nào cũng chứa cùng một số phân tử, gọi là số Avôgadrô N:

$$N = 6{,}024.10^{23}$$

Quan sát 2 vật thể rắn để áp sát vào nhau, 2 chất lỏng hoặc 2 chất khí để tiếp xúc nhau ta thấy có hiện tượng trộn lẫn chúng với nhau. Điều này chứng tỏ là các phân tử luôn luôn chuyển động hỗn loạn (yếu tố sức hút trái đất lên phân tử ảnh hưởng không đáng kể).

Brown là người đầu tiên phát hiện ra chuyển động hỗn loạn của các phân tử nhỏ bé, nên chuyển động hỗn loạn của phân tử gọi là chuyển động Brown.

Tuy các phân tử chuyển động hỗn loạn, nhưng giữa chúng có tương tác nhau bởi những lực xác định. Lực tương tác này chỉ tác dụng trong phạm vi kích thước phân tử (khoảng 10^{-8} cm), là lực hút khi các phân tử ở xa nhau, là lực đẩy khi các phân tử quá gần nhau.

Trong chất khí, lực tương tác giữa các phân tử yếu nên phân tử chuyển động hoàn toàn hỗn loạn. Trong chất lỏng, lực tương tác giữa các phân tử mạnh hơn, các phân tử dao động quanh vị trí cân bằng đồng thời vị trí cân bằng này lại có thể dịch chuyển. Chất khí và chất lỏng được gọi chung là chất lưu. Ở chất rắn, do lực tương tác giữa các phân tử chất rắn khá mạnh nên phân tử chỉ dao động quanh vị trí cân bằng mà thôi, vì thế chất rắn dễ có hình dáng xác định.

1.1. Thuyết động học chất khí

Chất khí lý tưởng là một tập hợp các phân tử luôn luôn chuyển động hỗn loạn, không phương nào ưu tiên hơn phương nào, tức là số phân tử trung bình chuyển động theo mỗi phương thì bằng nhau.

Khoảng cách giữa các phân tử rất lớn so với kích thước của phân tử nên thể tích riêng của tất cả các phân tử không đáng kể so với thể tích của bình đựng và lực tương tác giữa các phân tử rất yếu, coi bằng không.

Các phân tử được coi như các quả cầu rắn chắc, khi va chạm nhau thì hoàn toàn đàn hồi, do đó năng lượng toàn phần của chúng không giảm đi do sự va chạm. Chính sự va chạm này đã gây nên áp suất của chất khí trên thành bình.

http://tieulun.hopto.org

1.2. Các định luật thực nghiệm về chất khí

Từ thực nghiệm người ta thu được các định luật nêu lên sự liên hệ giữa 3 thông số: áp suất p thể tích V và nhiệt độ T của một khối khí loãng (gần giống khí lý tưởng) ở điều kiện phòng thí nghiệm.

Định luật Boyle - Mariotte:

Với một khối khí nhất định (m = const) khi nhiệt độ không đổi thì tích số giữa thể tích và áp suất của khối khí là một hằng số:

$$p.V = \text{const} \qquad (2.2)$$

Định luật Gay Lussac:

– Với một khối khí nhất định (m = const) nếu giữ áp suất không đổi thì thể tích của nó phụ thuộc bậc nhất vào nhiệt độ.

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t) = V_0 . \alpha.T$$

trong đó V_0 là thể tích ở 0^0C, V_t là thể tích ở t^0C hay $(273,16 + t)^0$K = T^0K, $\alpha = \frac{1}{273,16^0}$ là hệ số dãn nở nhiệt.

Với một khối khí nhất định (m = const) nếu giữ thể tích không đổi thì áp suất của nó phụ thuộc bậc nhất vào nhiệt độ.

$$p_t = p_0 (1 + \alpha t) = p_0 . \alpha.T$$

p_0 là áp suất khí ở 0^0C, p_t là áp suất khí ở t^0C hay T^0K; T^0K = $(273,16 + t)^0$K, $\alpha = \frac{1}{273,16^0}$.

1.3. Phương trình trạng thái khí lý tưởng

Ở áp suất lớn và trong một giới hạn rộng của nhiệt độ, các chất khí không hoàn toàn tuân theo định luật Boyle - Mariotte và Gay Lussac. Tuy nhiên nếu áp suất không lớn quá và nhiệt độ không thấp quá thì các chất khí tuân theo đúng các định luật đó. Vì vậy để đơn giản trong việc nghiên cứu người ta định nghĩa: Khí lý tưởng là khí tuân theo hoàn toàn chính xác các định luật Boyle - Mariotte và Gay Lussac. Nhiều chất khí ở áp suất và nhiệt độ phòng đã có thể coi là khí lý tưởng.

Khi xét đến cấu tạo phân tử của chất khí, ta sẽ thấy một chất khí được coi là lý tưởng nếu bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử và kích thước của chúng.

Các định luật thực nghiệm về chất khí ở trên đã cho ta mối liên hệ giữa hai thông số. Dựa vào các định luật đó, ta có thể tìm ra mối liên hệ giữa 3 thông số áp suất, thể tích và nhiệt độ, nghĩa là tìm được phương trình trạng thái khí lý tưởng.

Giả sử áp suất khí ở 0^0C là p_0, thể tích là V_0. Đốt nóng chất khí đến nhiệt độ t sao cho áp suất không đổi, ta ký hiệu thể tích mới là V_t. Theo định luật thứ nhất của Gay Lussac:

http://tieulun.hopto.org

$$V_t = V_0(1 + \alpha t) = V_0.\ \alpha.T$$

Sau đó tại nhiệt độ t, thay đổi áp suất từ p_0 đến p, thể tích sẽ bị thay đổi từ V_t đến V. Theo định luật Boyle - Mariotte:

$$V_t.p_0 = V.\ p$$

thay giá trị V_t vào biểu thức này ta có:

$$pV = \alpha p_0 V_0 T$$

hay

$$p.V = R'T \qquad (2.3)$$

R' là hằng số tuỳ thuộc vào mỗi khối khí và phương trình (2.3) được gọi là phương trình trạng thái khí lý tưởng.

Với một phân tử gam khí (1 mol khí) có thể tích Vμ thì:

$$pV\mu = RT$$

khi ấy R gọi là hằng số khí lý tưởng

$$R = (8{,}3170 \pm 0{,}0003)\ 10^3\ J/Kmol.^0K$$

với một khối khí bất kỳ có khối lượng m, thể tích V_m cùng ở nhiệt độ T và áp suất p như của một mol khí ấy thì:

$$\frac{m}{\mu} = \frac{V_m}{V\mu} \qquad \text{hay} \qquad V_m = V\mu \cdot \frac{m}{\mu}$$

Nhân 2 vế của phương trình sau với p ta có:

$$pV_m = pV_m.\frac{m}{\mu}$$

Nhưng vì pVμ = RT nên:

$$pV_m = \frac{m}{\mu}RT \qquad (2.4)$$

Đó là phương trình Clapeyron - Mendéléev cho khối khí bất kỳ.

Gọi

$$\rho = \frac{m}{V_m} = \frac{\mu p}{RT}$$

Công thức này cho thấy khối lượng riêng của một chất khí tỷ lệ thuận với trọng lượng phân tử và áp suất, tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối.

Từ phương trình trạng thái khí lý tưởng có thể suy ngược lại ra các định luật Boylơ - Mariotte và Gay - Lussac.

Chú ý: Theo biểu thức (2-3), tại $T = 0^0K = -273{,}16^0C$ giá trị pV trở thành bằng không, điều này chỉ xảy ra ở trường hợp chất khí lý tưởng (khoảng cách giữa 2 phân tử bất kỳ rất lớn hơn kích thước phân tử và lực tương tác giữa 2 phân tử bằng

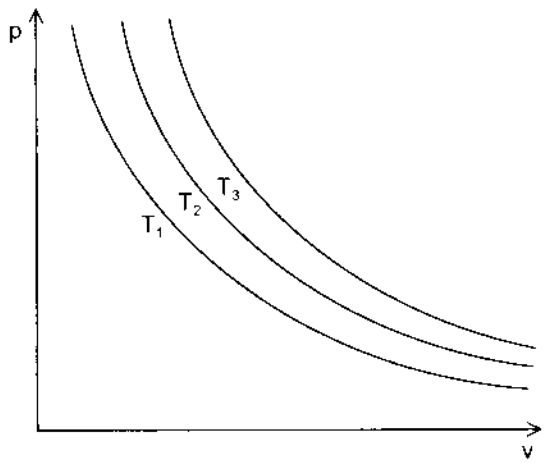
http://tieulun.hopto.org

không). Với khí thực, trước khi hạ thấp đến nhiệt độ này nó đã chuyển sang trạng thái lỏng rồi.

Điều đó có ý nghĩa thực tiễn là chỉ có thể đạt gần đến độ không tuyệt đối (0°K) mà thôi; cho đến nay nhiệt độ thấp nhất đạt được là 0,001°K. Ở các nhiệt độ rất thấp, tính chất vật lý của vật chất rất đặc biệt, chẳng hạn như siêu chảy và siêu dẫn.

Nếu giữ cho nhiệt độ không đổi (T = const), vẽ đồ thị biểu diễn sự thay đổi của áp suất theo thể tích (hoặc ngược lại), sẽ thu được một họ các đường hypebol gọi là các đường đẳng nhiệt của khí lý tưởng. Trên đồ thị (hình 2.2) thì:

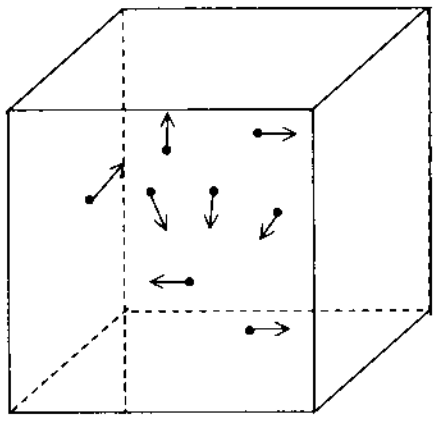
$$T_1 < T_2 < T_3$$



Hình 2.2

2. Phương trình cơ bản của thuyết động học chất khí

Giả sử có một bình hình lập phương mỗi cạnh là một đơn vị chiều dài, trong bình chứa n phân tử cùng loại, khối lượng mỗi phân tử là m (hình 2.3). Tất nhiên n được gọi là mật độ phân tử (số phân tử trong một đơn vị thể tích). Do chuyển động hỗn loạn nên theo mỗi phương có $\frac{n}{3}$ phân tử chuyển động và va đập vào thành bình. Sau một lần đập vào thành bình bên trái, phân tử với tốc độ v, hoàn toàn đàn hồi, nảy ngược lại. Muốn đập vào thành bình bên trái lần thứ hai nó phải đập vào thành bình bên phải để nảy ngược lại. Nghĩa là giữa 2 lần đập vào thành bình bên trái (hay bất kỳ), một phân tử phải đi quãng đường 2 đơn vị chiều dài. Như vậy trong 1 đơn vị thời gian (1s) nó sẽ đập $\frac{v}{2}$ lần vào thành bình bên trái (ở đây đã giả thiết là khoảng cách giữa 2 phân tử quá lớn so với kích thước phân tử nên trên đường đi phân tử không va vào phân tử khác, còn va vào thành bình thì chắc chắn).



Hình 2.3

Trước lúc va vào thành bình, phân tử có tốc độ là v, sau khi va chạm nó có tốc độ -v. Vậy động lượng thay đổi sau mỗi lần va vào thành bình là:

$$mv - (-mv) = 2mv$$

Sau 1 giây thì biến thiên động lượng là:

http://tieulun.hopto.org

$$\Delta(mv) = 2mv \times \frac{v}{2} = mv^2$$

Biến thiên động lượng Δ (mv) này gây xung lực (f. Δt) tác động lên thành bình bên trái. Vì các phân tử trong $\frac{n}{3}$ phân tử có tốc độ v khác nhau nên xung lực gây nên cũng khác nhau.

Phân tử thứ nhất gây xung lực: $f_1.1s = mv_1^2$

Phân tử thứ hai gây xung lực: $f_2.1s = mv_2^2$

Phân tử thứ $\frac{n}{3}$ gây xung lực: $f_{\frac{n}{3}}.1s = mv_{\frac{n}{3}}^3$

Vậy xung lực tổng cộng tác dụng lên thành bình là:

$$F.1s = \sum_{i=1}^{n:3} f_i.1s = \sum_{i=1}^{n:3} mv_i^2$$

Có thể viết được:

$$F = \sum_{i=1}^{n:3} mv_i^2 = 2\sum_{i=1}^{n:3} \frac{1}{2} mv_i^2 = 2\sum_{i=1}^{n:3} E_{d,i}$$

$E_{d,i} = \frac{1}{2} mv_i^2$ là động năng của phân tử thứ i.

Ta đặt được:

$$\sum_{i=1}^{n:3} E_{d,i} = \frac{n}{3} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n:3} E_{d,i}}{\frac{n}{3}} = \frac{n}{3} \overline{E}_d$$

$\overline{E}_d$ gọi là động năng trung bình của phân tử khí.

Ta cũng có:

$$\sum_{i=1}^{n:3} \frac{1}{2} mv_i^2 = \frac{n}{3} \cdot \frac{1}{2} m \frac{\sum_{i=1}^{n:3} v_i^2}{\frac{n}{3}} = \frac{n}{3} \cdot \frac{1}{2} m\overline{v^2}$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n:3} v_i^2}{\frac{n}{3}}} \qquad (2.5)$$

được gọi là tốc độ toàn phương trung bình của phân tử khí.

http://tieulun.hopto.org

$$\overline{E}_d = \frac{1}{2} m\overline{v^2}$$

Kết quả $$F = \frac{2}{3} n\overline{E}_d = \frac{2}{3} n.\frac{1}{2} m\overline{v^2}$$

Vì lực F tác động lên thành bình có diện tích 1 đơn vị nên chính nó là áp suất chất khí tác dụng lên thành bình:

$$F = p = \frac{2}{3} n\overline{E}_d \qquad (2.6)$$

Biểu thức này gọi là phương trình cơ bản của thuyết động học chất khí, cho ta thấy áp suất của một chất khí phụ thuộc vào số phân tử có trong một đơn vị thể tích (mật độ phân tử n) và vào động năng trung bình của phân tử.

3. Hiện tượng khuếch tán

3.1. Khuếch tán không qua màng

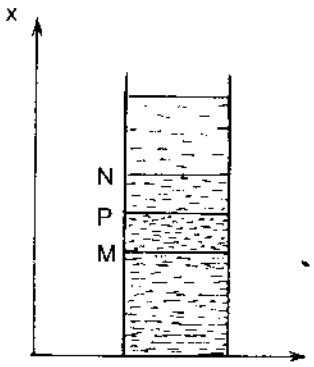
Các phân tử luôn luôn chuyển động hỗn loạn và va chạm vào nhau, cho nên khi ta để hai tập hợp phân tử lại gần nhau dù chúng ở thể rắn, lỏng hay khí chúng cũng chuyển động ngẫu nhiên xuyên lẫn vào nhau. Đó là hiện tượng khuếch tán phân tử.

Với chất rắn ta khó quan sát được hiện tượng này nhưng với chất lỏng hoặc khí ta có thể quan sát được ở dạng vĩ mô. Nếu trong chất khí hoặc chất lỏng không có sự đồng nhất ở mọi điểm về nồng độ thì chuyển động nhiệt của các phân tử sẽ có tác dụng làm mất đi sự không đồng nhất đó. Nói cách khác là nó sẽ dẫn đến sự san bằng nồng độ ở mọi điểm. Và như vậy đã có sự di chuyển vật chất từ nơi có nồng độ cao đến nơi có nồng độ thấp. Hiện tượng khuếch tán là hiện tượng di chuyển vật chất có bản chất là sự chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử không tạo phương ưu tiên dẫn tới trạng thái san bằng nồng độ, là trạng thái có xác suất nhiệt động cực đại hoặc có entrôpi cực đại khi không có tương tác với môi trường ngoài.

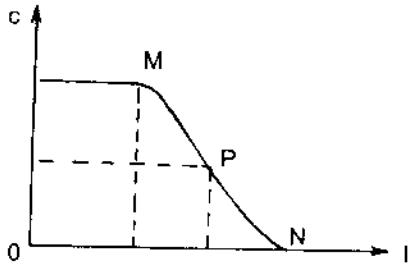
Để quan sát hiện tượng khuếch tán xảy ra trong dung dịch ta làm thí nghiệm sau: Dùng một bình thuỷ tinh đựng sirô đặc có mầu tới mức P. Đổ nhẹ tay nước lên phần trên. Lúc đầu ta quan sát thấy có mặt phân cách rõ rệt P. Sau một thời gian ta thấy có một khoảng từ M đến N màu sắc thay đổi nhạt dần, không còn mặt P nữa. Các phân tử tạo nên sirô và các phân tử nước đã chuyển động xen lẫn vào nhau, đó là sự khuếch tán trong dung dịch (hình 2.4).

Khảo sát sự thay đổi nồng độ C theo trục Ox ta được đồ thị dạng sau (hình 2.5)

http://tieulun.hopto.org



Hình 2.4. Sự khuếch tán trong dung dịch



Hình 2.5. Khảo sát sự thay đổi nồng độ C theo trục ox

Nghiên cứu hiện tượng khuếch tán, Fick đã khảo sát sự phụ thuộc của số phân tử khuếch tán dn qua diện tích S trong khoảng thời gian dt và ông đã thiết lập được công thức:

$$dn = - D.S\ gradC\ dt$$

Đây chính là công thức của định luật Fick trong đó gradC là gradiêng nồng độ và D là hệ số khuếch tán của loại phân tử mà ta khảo sát.

Người ta nhận thấy D phụ thuộc vào:

+ Khối lượng và hình dạng của phân tử.
+ Độ nhớt của dung môi.
+ Nhiệt độ của dung dịch.

Einstein đã thiết lập hệ thức biểu diễn sự phụ thuộc giữa hệ số khuếch tán D và các yếu tố liên quan:

$$D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{\varphi} = \frac{kT}{\varphi}$$

Trong đó R là hằng số khí lý tưởng.

N là số Avogadro.

k là hằng số Boltzmann.

T là nhiệt độ tuyệt đối của dung dịch.

φ là hệ số ma sát phân tử biểu diễn sự cản của môi trường lỏng đối với chuyển động nhiệt của phân tử. Có thể coi $\varphi = K\eta$ trong đó η là hệ số nhớt của môi trường. K là hệ số đặc trưng cho hình dạng của phân tử. Trong trường hợp phân tử có dạng hình cầu với bán kính r thì $\varphi = 6\pi.r.\ \eta$

và

$$D = \frac{RT}{N} \cdot \frac{1}{6\pi r\eta} = \frac{kT}{6\pi r\eta}$$

Nếu biểu diễn công thức này theo khối lượng phân tử μ thì ta có:

http://tieulun.hopto.org

$$D = \frac{A}{\sqrt[3]{\mu}}$$

Trong đó A là một hằng số phụ thuộc nhiệt độ và loại dung môi. Bảng 2.3 dưới đây cho những giá trị của D tính bằng đơn vị cm^2/ngày ở 20^0C với một số phân tử khác nhau trong trường hợp dung môi là nước.

Bảng 2.3. Giá trị của D tính bằng đơn vị cm^2/ngày ở 20^0C

Chất	μ	D
Urê	60	0,81
Manitol	182	0,40
Sacarose	342	0,31
Hemoglobin	63.000	0,059
Serum albumin	69.000	0,06

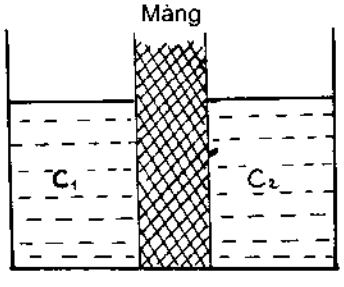
Định luật Fick là định luật thực nghiệm, nó cho ta biết số phân tử tham gia khuếch tán khi có sự chênh lệch về nồng độ chất tan giữa các vùng trong dung dịch. Các phân tử hoà tan sẽ dịch chuyển từ nơi có nồng độ cao sang nơi có nồng độ thấp tức là theo chiều ngược với gradiêng nồng độ. Tốc độ khuếch tán tăng theo nhiệt độ và giảm khi phân tử lượng chất hoà tan và độ nhớt của môi trường tăng.

Ngoài ra ta cũng thấy rằng hiện tượng khuếch tán không chỉ xảy ra với phân tử chất tan mà còn xảy ra với cả dung môi. Các phân tử dung môi sẽ chuyển động ngược chiều với các phân tử chất tan có nghĩa là từ nơi có nồng độ dung môi lớn đến nơi có nồng độ dung môi nhỏ.

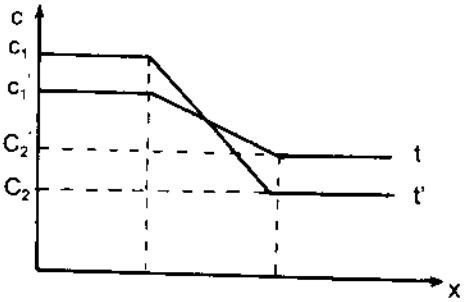
3.2. Khuếch tán qua màng xốp thấm tự do

Màng xốp thấm tự do là loại màng có những lỗ với đường kính rất lớn so với đường kính phân tử khuếch tán. Khi ta đặt hai dung dịch có nồng độ khác nhau ở hai phía của màng thì sẽ có hiện tượng khuếch tán xảy ra và hiện tượng khuếch tán này xảy ra tương tự như trường hợp không có màng chắn nhưng xảy ra chậm hơn vì phần diện tích để các phân tử đi qua bây giờ chỉ là phần diện tích tổng cộng của tất cả các lỗ.

Thí nghiệm bố trí như hình 2.6



Hình 2.6. Khuếch tán qua màng xốp thấm tự do



Hình 2.7. Sự biến thiên nồng độ theo không gian ứng với thời điểm t và t'

http://tieulun.hopto.org

Giả sử rằng ở mỗi phía của màng luôn duy trì nồng độ đồng nhất là C_1 và C_2 (chẳng hạn bằng cách khuấy), khi ấy chỉ có phần bên trong giữa hai mặt màng là có nồng độ biến đổi (giả sử biến đổi tuyến tính liên tục) tức là grad C có giá trị không đổi.

$$\text{Grad } C = \frac{dC}{dx} = \frac{C_2 - C_1}{\ell}$$

ℓ là chiều dày của màng.

Áp dụng định luật Fick ta có:

$$\Delta n = -DS\frac{C_2 - C_1}{\ell}\Delta t$$

S/ℓ gọi là hằng số màng.

Ta không biết được chính xác diện tích S của các lỗ màng và chiều dầy ℓ của màng nhưng bằng thực nghiệm có thể xác định được giá trị trung bình của hằng số màng.

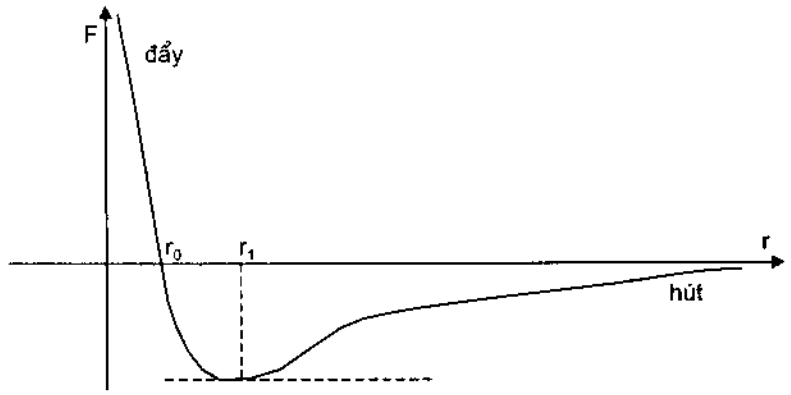
Trên hình 2.7 vẽ đồ thị biểu diễn sự biến thiên nồng độ theo không gian ứng với thời điểm t và t' (t'>t) ta thấy sự chênh lệch nồng độ giữa hai phía của màng giảm dần theo thời gian, dần dần tiến tới trạng thái cân bằng khuếch tán tức là trạng thái mà số phân tử chuyển động qua màng theo hai phía bằng nhau.

4. Hiện tượng căng mặt ngoài - áp suất phụ

4.1. Hiện tượng căng mặt ngoài

4.1.1. Đặc điểm của các phân tử chất lỏng

Các phân tử chất khí ở rất xa nhau nên lực tương tác giữa chúng rất không đáng kể và tồn tại lực hút là chủ yếu. Khác với các phân tử khí, các phân tử chất lỏng ở khá gần nhau nên lực tương tác rất đáng kể và chính đó là nguyên nhân gây ra một số hiện tượng đặc biệt trên mặt thoáng của chất lỏng.



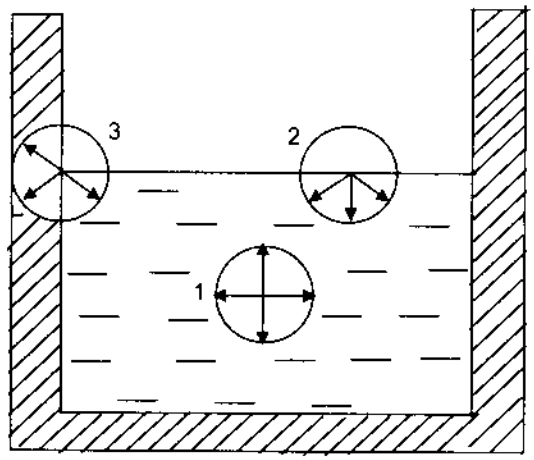
Hình 2.8. Tương quan giữa lực tương tác F và khoảng cách giữa hai phân tử là r, r_0 là khoảng cách mà ở đó lực hút và đẩy cân bằng

http://tieulun.hopto.org

Khi hai phân tử chất lỏng ở gần nhau lực hút giữa 2 phân tử đáng kể; khi chúng xa nhau hơn, lực hút giảm dần (hình 2.8). Nếu hai phân tử chất lỏng ở gần nhau quá, lực tương tác khi ấy là lực đẩy, đẩy chúng ra xa nhau. Lực đẩy này tăng rất nhanh khi khoảng cách giảm dần. Rõ ràng là việc nén cho chất lỏng giảm thể tích rất khó thực hiện do lực đẩy này. Hình cầu có bán kính để lực phân tử chất lỏng có giá trị đáng kể gọi là hình cầu tác dụng phân tử.

Ta xét các vị trí khác nhau của phân tử chất lỏng nằm trong bình đựng (hình 2.9).

Ở vị trí 1, hình cầu tác dụng phân tử nằm hoàn toàn trong chất lỏng, khi ấy phân tử chất lỏng bị tác dụng lực hút đều theo mọi phương, các lực hút phân tử này cân bằng lẫn nhau.



Hình 2.9. Các lực hút phân tử này cân bằng lẫn nhau.

Ở vị trí 2 phân tử nằm gần mặt thoáng, hình cầu tác dụng phân tử có một phần nằm trong vùng khí. Ở đây, các phân tử khí hút phân tử này lên phía trên với một lực rất yếu, không đáng kể, còn các phân tử chất lỏng ở dưới hút phân tử này với lực lớn hơn, xu hướng muốn kéo nó vào trong lòng chất lỏng điều đó cũng có nghĩa là phân tử nào nằm trên mặt thoáng cũng phải có một lực nào đó chống lại lực kéo vào để không bị đi vào trong lòng chất lỏng.

Ở vị trí 3, phân tử nằm sát thành bình và mặt thoáng, hình cầu tác dụng phân tử có một phần nằm trong chất rắn, một phần chất khí và một phần chất lỏng. Tuỳ theo lực tác dụng của phân tử chất rắn hút mạnh hay yếu so với phân tử chất lỏng mà phân tử chất lỏng này có dính vào thành bình hay không.

4.1.2. Hiện tượng căng mặt ngoài

a) Mặt thoáng bé nhất

Quan sát một giọt nước mưa rơi ta thấy nó có hình cầu. Một giọt thuỷ ngân cũng có hình cầu. Với các hình khối khác nhau có cùng thể tích thì hình cầu có diện tích mặt ngoài bé nhất. Một giọt chất lỏng thu về hình cầu là có xu hướng muốn cho mặt ngoài của nó bé nhất.

Những phân tử ở trên mặt thoáng luôn luôn bị tác dụng lực kéo vào trong lòng chất lỏng, do đó mặt thoáng luôn luôn mất bớt phân tử, nghĩa là thu hẹp lại. Sự thu hẹp lại đó phải tiến đến một giới hạn xác định: diện tích bé nhất bao một thể tích xác định không đổi, đó là hình cầu.

http://tieulun.hopto.org

Về phương diện năng lượng ta thấy: một phân tử nào đó muốn ngoi lên mặt thoáng chất lỏng phải có một lực tác dụng chống lực hút kéo vào, nghĩa là phải thực hiện một công. Công này đã tạo cho phân tử nằm trên mặt thoáng một thế năng xác định. Việc mặt thoáng thu hẹp đến bé nhất như vậy có thể hiểu về phương diện năng lượng là để cho thế năng mặt ngoài bé nhất.

b) Lực căng mặt ngoài

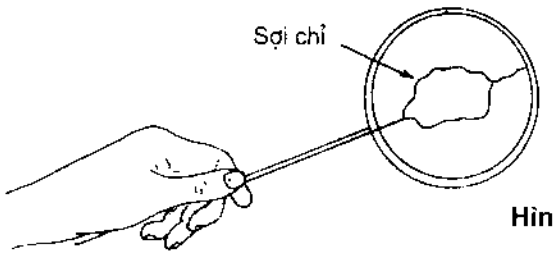
Chính thế năng của mặt ngoài này có bản chất là lực hút phân tử đã tạo cho nó một lực căng mặt ngoài. Ta có thể quan sát bằng thí nghiệm sau đây: Dùng một khung dây thép hình tròn trên có căng một sợi chỉ và nhúng vào nước xà phòng cho có một màng ở giữa (hình 2.10). Lấy kim chọc thủng màng ta thấy sợi chỉ bị căng ra thành hình tròn (hình 2.11): có lực tác dụng kéo sợi chỉ ra. Đó là lực căng mặt ngoài.

Lực căng mặt ngoài này có các đặc điểm sau:

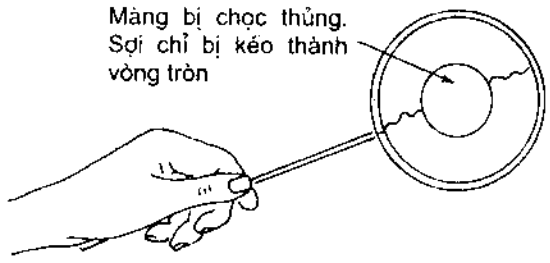
- Tác dụng lên các phân tử mặt ngoài (ở đây là các phân tử dính vào chỉ).
- Vuông góc với bất kỳ phân tử nào của đường chu vi mặt chất lỏng (sợi chỉ) và tiếp tuyến với mặt chất lỏng.
- Phân phối đều trên toàn chu vi (vì mật độ phân tử đều).

$$\text{Ta có:} \quad F = \sigma . \ell \qquad (2.9)$$

F là lực căng, ℓ là chiều dài chu vi cần tính lực, σ là hệ số căng mặt ngoài (cũng là lực căng mặt ngoài tác dụng lên một đơn vị chiều dài).



Hình 2.10



Hình 2.11

http://tieulun.hopto.org

c) Hệ số căng mặt ngoài

Đơn vị đo hệ số căng mặt ngoài có thể dùng dyn/cm, 1 dyn/cm = 10^{-3} N/m

Khảo sát thực nghiệm thấy rằng:

– *Hệ số căng mặt ngoài phụ thuộc vào nhiệt độ của chất lỏng*, khi nhiệt độ tăng thì σ giảm.

– *Hệ số căng mặt ngoài phụ thuộc vào tạp chất trong chất lỏng*. Chẳng hạn trong nước có thêm một số lượng mặc dù rất ít xà phòng hay rượu etylic thì hệ số căng mặt ngoài cũng đã giảm đi nhiều. Những chất trên gọi là những chất có hoạt động mặt ngoài. Tác dụng của những chất đó trước hết là do chúng tập trung hầu hết lên trên mặt thoáng của chất lỏng và sau nữa là do lực liên kết giữa các phân tử của chúng nhỏ hơn so với liên kết phân tử của chất lỏng.

Bảng 2.4 sau đây cho ta hệ số căng mặt ngoài của một vài chất

Bảng 2.4. Hệ số căng mặt ngoài

	t^0C	σ (10^{-3} N/m)		t^0C	σ (10^{-3} N/m)
Nước	18	73,7	Rượu êthylic	30	20,8
Chloroformal	20	27	Thuỷ ngân	18	520
Rượu êthylic	20	22	Sữa người	20	50

Huyết thanh bình thường có hệ số căng mặt ngoài nhỏ hơn nước (khoảng 67 đyn/cm ở 18°C); hệ số căng mặt ngoài của huyết thanh tăng lên trong các bệnh xơ cứng động mạch, ung thư... và giảm đi khi bị choáng. Nước tiểu có hệ số căng mặt ngoài gần bằng nước. Nếu trong nước tiểu tăng muối mật thì hệ số căng mặt ngoài sẽ giảm đi nhiều. Chúng ta lợi dụng hiện tượng này để tìm muối mật trong nước tiểu: rắc một ít bột diêm sinh thăng hoa lên mặt nước tiểu, bình thường hệ số căng mặt ngoài của nước tiểu đủ làm cho diêm sinh nổi ở trên mặt thoáng của nó, nhưng nếu có muối mật, sức căng giảm, diêm sinh sẽ chìm xuống.

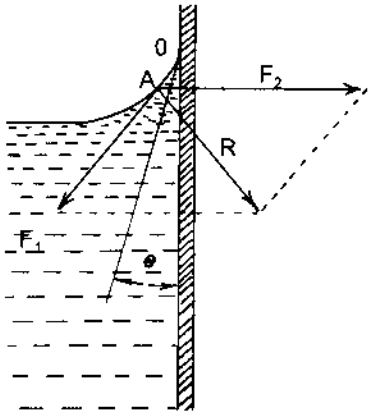
4.2. Áp suất phụ tác dụng lên mặt thoáng cong của chất lỏng

4.2.1. Chất lỏng làm ướt bình và không làm ướt bình: thực nghiệm cho thấy mặt thoáng chất lỏng ở cạnh thành bình đựng có dạng như hình 2.12 và 2.13.

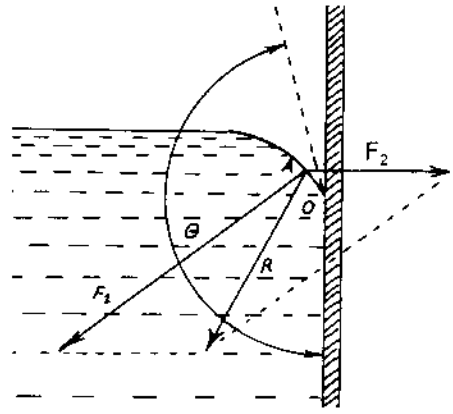
Gọi O là điểm mặt thoáng chạm thành bình, θ là góc hợp giữa tiếp tuyến mặt thoáng vẽ từ 0 và phần thành bình phía dưới chứa chất lỏng.

Nếu $\theta < 90^0$ ta bảo chất lỏng làm ướt bình (nước ở bình thuỷ tinh) hình 2.12. Nếu $\theta > 90^0$ ta bảo chất lỏng không làm ướt bình (thuỷ ngân ở bình thuỷ tinh), hình 2.13.

http://tieulun.hopto.org



Hình 2.12



Hình 2.13

Sở dĩ mặt thoáng cạnh bình cong như vậy là vì tại đấy không những tồn tại lực hút phân tử của chất lỏng mà còn có lực hút phân tử của chất rắn đối với lỏng. Gọi F_1 là tổng cộng lực các phân tử nước tác dụng lên phân tử nước A nằm sát thành bình, F_2 là tổng cộng lực các phân tử thành bình tác dụng lên A.

Trường hợp lực F_2 có trị số lớn hơn F_1 tổng hợp lực R hướng vào thành bình, chính lực này đã đẩy các phân tử chất lỏng xô vào phía thành bình tạo mặt cong lõm: chất lỏng làm ướt bình (hình 2.12)

Trường hợp F_2 có trị số bé hơn F_1, tổng hợp lực R hướng vào lòng chất lỏng, lực này đẩy các phân tử xô vào lòng chất lỏng tạo mặt cong lồi: chất lỏng không làm ướt bình (hình 2.13).

4.2.2. Áp suất phụ tác dụng lên mặt thoáng cong của chất lỏng: mặt thoáng chất lỏng do tồn tại sức căng mặt ngoài nên có thể coi như một màng đàn hồi luôn luôn căng. Có thể thấy rõ hiện tượng này khi chúng ta lấy đầu bút chì chọc thủng một màng mỏng nước xà phòng: do mặt thoáng luôn luôn căng nên sau khi chọc, lỗ thủng bị toác rộng theo mọi phương (hình 2.10). Xét một diện tích nhỏ của mặt thoáng thấy:

– Nếu như mặt thoáng lồi diện tích này chịu tác dụng của các lực do các phần mặt thoáng xung quanh kéo ra, tiếp tuyến mặt, có thể phân tích thành lực nằm ngang và lực hướng xuống dưới (hình 2.14). Kết quả chung là mặt thoáng lồi chịu tác dụng một áp suất phụ Δp hướng xuống phía dưới.

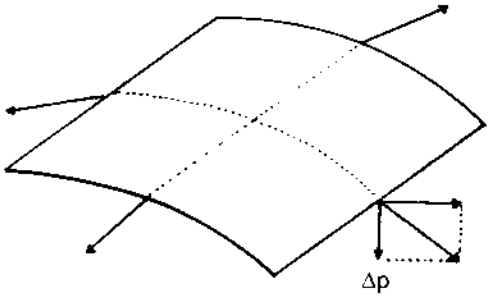
– Nếu như mặt thoáng lõm, diện tích này chịu tác dụng của các lực do các phần mặt thoáng xung quanh kéo ra (tiếp tuyến mặt), có thể phân tích thành lực nằm ngang và lực hướng lên trên. Kết quả chung là mặt thoáng lõm chịu tác dụng một áp suất phụ Δp hướng lên trên (hình 2.15).

Áp suất phụ Δp này tính theo công thức:

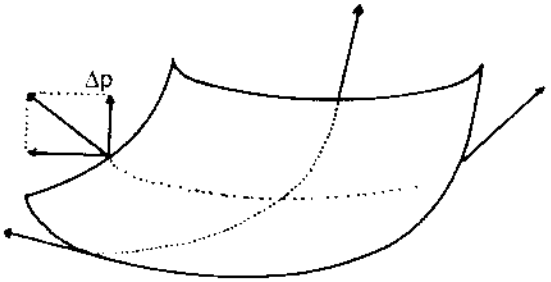
$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$

trong đó R là bán kính của mặt cong, σ là hệ số căng mặt ngoài.

http://tieulun.hopto.org



Hình 2.14



Hình 2.15

Công thức có thể được chứng minh như sau:

Xét một mặt cong dạng chỏm cầu đặc trưng bằng bán kính cong R và bán kính chỏm cầu r (hình 2.16). Trên một đơn vị chiều dài chu vi của chỏm cầu có lực căng mặt ngoài σ tác dụng (theo định nghĩa hệ số căng mặt ngoài). σ có thể phân tích ra thành phần nằm ngang σ_n và thẳng đứng là σ_t. Ta có:

$$\sigma_t = \sigma \sin \theta$$

Trên toàn chu vi sẽ có lực tác dụng thẳng đứng là:

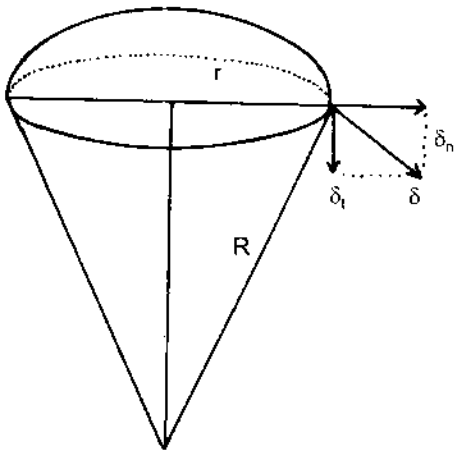
$$f_t = \sigma_t . 2\pi r = 2\ \pi r\sigma \sin\theta$$

Lực này phân phối đều trên diện tích thiết diện chỏm cầu là πr^2 tạo ra áp suất phụ. Do đó áp suất phụ là:

$$\Delta p = \frac{f_t}{\pi r^2} = \frac{2\pi r\sigma \sin\theta}{\pi r^2} = \frac{2\sigma \sin\theta}{r}$$

Nhưng do r = R sin θ nên:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$



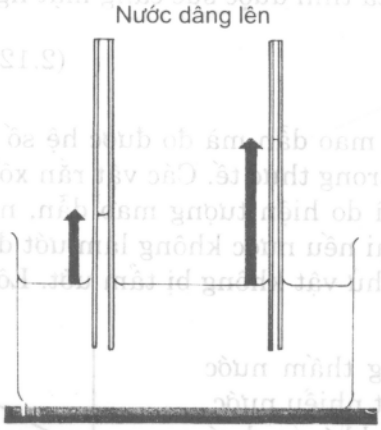
Hình 2.16

Trong một ống mao dẫn chất lỏng thực mà có bọt khí, áp suất phụ có thể làm cho chất lỏng không chảy được. Hiện tượng bọt khí cản chuyển động này ta gọi là chuỗi hạt mao quản.

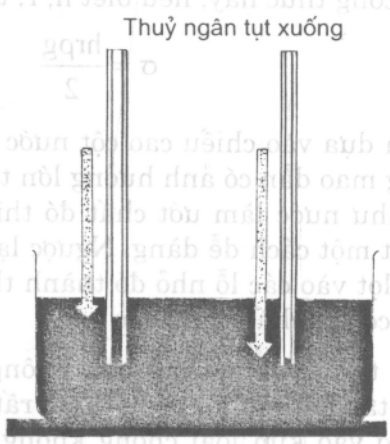
4.2.3. Hiện tượng mao dẫn

Nhúng một ống thủy tinh nhỏ vào chậu nước, ta thấy mặt nước lõm trong ống thuỷ tinh dâng cao hơn ở chậu (hình 2.17). Nhưng nếu nhúng ống thuỷ tinh này vào chậu thuỷ ngân, mặt cong lồi của thuỷ ngân trong ống thấp hơn mặt thuỷ ngân ở chậu (hình 2.18). Hiện tượng nước dâng lên hay tụt xuống trên gọi là hiện tượng mao dẫn.

http://tieulun.hopto.org



Hình 2.17



Hình 2.18

Trong ống thuỷ tinh, do nước làm ướt ống, mặt nước sẽ lõm, áp suất phụ Δp hướng lên trên làm giảm áp suất khí quyển p trên mặt ống nước, nước phải dâng lên để cho áp suất tại 2 điểm A và B có cùng độ cao phải bằng nhau:

$$P = P_A = P_B = P - \Delta p + \rho\ gh$$

trong đó ρ gh là áp suất cột nước có chiều cao h.

tương tự, ở chậu thuỷ ngân thì:

$$p = p + \Delta p - \rho\ gh$$

Nói chung, với mọi chất lỏng đều có:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R} = \rho gh$$

Suy ra chiều cao cột chất lỏng (dâng lên hay hạ xuống) là:

$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g} \qquad (2.11)$$

Nếu r là bán kính ống, α là góc tạo bởi giữa thành bình và tiếp tuyến mặt thoáng cong tại nơi mặt cong gặp thành bình (hình 2.19) thì:

$$R = \frac{r}{\cos\alpha}$$

Suy ra:

$$h = \frac{2\sigma.\cos\alpha}{r.\rho.g}$$

Trường hợp σ lớn, ρ nhỏ, nước bám thành nhiều thì $\alpha = 0$ do đó $\cos\alpha \approx 1$ nên:

$$h = \frac{2\sigma}{r.\rho.g}$$

http://tieulun.hopto.org

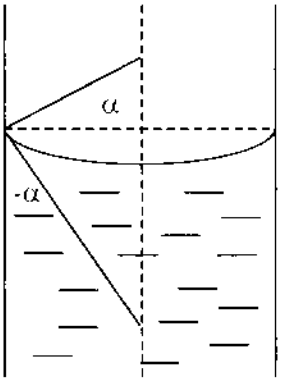
Dựa công thức này, nếu biết h, r, ta tính được sức căng mặt ngoài:

$$\sigma = \frac{hr\rho g}{2} \qquad (2.12)$$

tức là dựa vào chiều cao cột nước mao dẫn mà đo được hệ số căng mặt ngoài. Hiện tượng mao dẫn có ảnh hưởng lớn trong thực tế. Các vật rắn xốp có rất nhiều lỗ nhỏ, nếu như nước làm ướt chất đó thì do hiện tượng mao dẫn, nước dâng lên và làm ướt vật một cách dễ dàng. Ngược lại nếu nước không làm ướt được vật thì nước không thể lọt vào các lỗ nhỏ đó thành thử vật không bị tẩm ướt. Lông thú không bị tẩm ướt vì có các chất nhầy bao bọc.

Bông thô có nhiều mỡ nên không thấm nước nhưng khi tẩy hết mỡ thì bông thấm rất nhiều nước. Bôi dầu mỡ vào kim loại chống không khí oxy hoá cũng là chống nước xâm nhập vào các lỗ nhỏ.

Với thực vật, các ống dẫn nhựa có đường kính rất nhỏ (vài phần trăm milimet), do hiện tượng mao dẫn mà nhựa leo lên được đến vài mét. Nhưng với những cây to cao vài chục mét, nhựa lên ngọn được không những là do sức mao dẫn mà còn do sức thẩm thấu của các tế bào sống.



Hình 2.19

5. Hiện tượng thẩm thấu

Trong tự nhiên có những loại màng chỉ cho một loại hoặc một số loại phân tử xuyên qua, còn những loại khác thì không thể qua lại; có loại màng chỉ cho dung môi đi qua mà không cho các chất hoà tan đi qua. Các loại màng có tính chất như vậy gọi là màng bán thấm. Các loại màng trong cơ thể hầu hết là màng bán thấm bởi vì sự tồn tại của tế bào phụ thuộc vào sự thấm những chất cần thiết từ môi trường bên ngoài vào và loại trừ những chất chuyển hoá cặn bã từ nó ra ngoài.

Ngoài những màng bán thấm có trong tự nhiên ở các cơ thể sinh vật còn có các màng bán thấm nhân tạo. Thí dụ: màng celophan không cho các protein có phân tử lượng $\mu > 30.000$ thấm qua, khó thấm khi $20.000 < \mu < 30.000$ và thấm hoàn toàn khi $\mu < 20.000$. Màng tạo từ các hạt keo ferocyanua đồng $Cu_2Fe(CN)_6$ kết tủa bám vào thành của bình xốp có độ bền cao và chịu đựng áp suất cao. Chính do có tính thấm chọn lọc mà chúng ta có hiện tượng thẩm thấu. Đối với cơ thể sống thì thẩm thấu đóng vai trò rất quan trọng trong các phương thức vận chuyển chất ở cơ thể sống.

Thẩm thấu là quá trình vận chuyển dung môi qua một màng ngăn cách 2 dung dịch có thành phần khác nhau khi không có các lực ngoài như trọng lực, lực điện từ, lực đẩy pistông... Hai dung dịch có thể khác nhau về bản chất, nồng độ chất hoà tan... Động lực của quá trình thẩm thấu là áp suất thẩm thấu.

5.1. Áp suất thẩm thấu

Nhúng một cái ống chứa dung dịch nước đường vào trong một chậu nước cất. Phần trên là một ống nhỏ dài để phát hiện sự biến đổi độ cao mức dung dịch.

http://tieulun.hopto.org

Phía dưới ống có miệng rộng được bịt kín bởi một màng bán thấm chỉ cho nước thấm qua còn đường thì không. Lúc đầu mực dung dịch trong ống và mực nước trong chậu được để ngang nhau. Sau một thời gian ta thấy mực dung dịch trong ống dâng lên cho đến một độ cao nào đó thì dừng lại. Phân tích nước ở chậu không thấy có đường. Điều đó có nghĩa là nước đã thấm qua màng vào ống trong khi đường không thấm được ra ngoài.

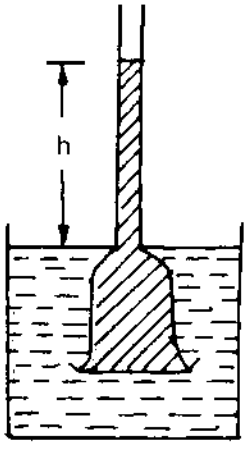
Ở trong chậu chỉ toàn các phân tử nước nên số phân tử nước trong chậu do chuyển động hỗn loạn đập vào mặt ngoài màng bán thấm nhiều hơn so với số các phân tử nước của dung dịch đập vào phía trong màng bán thấm (một phần của mặt trong màng bán thấm đã bị các phân tử đường chiếm). Do đó các phân tử nước từ chậu đi vào ống sẽ nhiều hơn so với số phân tử nước từ ống đi ra chậu. Kết quả là sau một thời gian, mức nước đường trong ống sẽ dâng lên làm tăng áp suất thuỷ tĩnh. Nhưng khi áp suất thuỷ tĩnh tăng thì số phân tử nước từ ống bị ép quay trở lại chậu tăng lên. Khi áp suất thuỷ tĩnh đạt tới một giá trị nào đó thì số phân tử nước chuyển động qua màng theo 2 hướng sẽ bằng nhau. Trạng thái cân bằng như vậy gọi là cân bằng thẩm thấu. Áp suất thủy tĩnh của cột nước đường chiều cao h có độ lớn bằng áp suất thẩm thấu của dung dịch đường trong ống.

Nếu ta làm lại thí nghiệm với điều kiện là trong chậu đựng nước đường với nồng độ nhỏ hơn nồng độ nước đường trong ống thì khi ở trạng thái cân bằng động, chiều cao của cột nước đường trong ống biểu thị hiệu áp suất thẩm thấu của 2 loại nước đường trong và ngoài ống.

Ngược lại nếu nồng độ nước đường trong ống nhỏ hơn nồng độ nước đường trong chậu thì mức nước đường trong ống sẽ thấp hơn mức nước đường trong chậu tức là đã có một số nước từ ống đi ra chậu.

Từ đó ta thấy rằng mỗi dung dịch đều có một áp suất thẩm thấu nhất định.

Áp suất thẩm thấu sinh ra là do sự có mặt của các chất hoà tan trong dung dịch. Nó có tác dụng làm dung môi chuyển động về phía dung dịch và có độ lớn bằng áp suất (thuỷ tĩnh) cần thiết làm ngừng sự thẩm thấu khi đặt dung dịch ngăn cách với dung môi bằng một màng bán thấm.



Hình 2.20

Van't Hoff nghiên cứu hiện tượng thẩm thấu ở các dung dịch loãng của các chất không điện ly, đã đem so sánh với thuyết động học phân tử của chất khí và rút ra là có thể dùng phương trình Clapeyron - Mendéleev cho áp suất thẩm thấu:

$$p = \frac{m}{\mu V_m} R.T \qquad (2.13)$$

Trong đó p là áp suất thẩm thấu của dung dịch.

m là khối lượng chất hòa tan.

μ là trọng lượng phân tử chất hoà tan.

http://tieulun.hopto.org

V_m là thể tích dung dịch.

R là hằng số Clapeyron - Medeleev và

$$R = 8{,}31.10^3 \frac{J}{Kmol.độ} = 0{,}082 \frac{l.atm}{mol.độ}$$

T là nhiệt độ tuyệt đối của dung dịch.

Từ (2.13) ta thấy áp suất thẩm thấu tỷ lệ nghịch với trọng lượng phân tử và tỷ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối T.

Nếu ta thay $m/\mu.V_m = C$ là nồng độ của dung dịch thì ta có phương trình Van't Hoff:

$$p = C.R.T$$

Tức là khi nhiệt độ không đổi thì áp suất thẩm thấu tỷ lệ thuận với nồng độ chất tan của dung dịch.

Phương trình Van't Hoff nghiệm khá đúng với một số dung dịch loãng nhưng đối với một số dung dịch khác như dung dịch muối vô cơ chẳng hạn thì áp suất thẩm thấu lớn hơn nhiều so với giá trị tính được. Đó là vì với các chất điện ly khi hoà tan vào trong dung môi sẽ phân ly thành các ion, nếu các ion này không thấm qua màng bán thấm thì số lượng phân tử trong dung dịch sẽ tăng lên dẫn đến áp suất thẩm thấu cũng lớn lên. Từ đó ta thấy phương trình Van't Hoff chỉ đúng với dung dịch loãng không điện ly. Đối với dung dịch loãng điện ly ta có thể suy rộng phương trình Van't Hoff để tính áp suất thẩm thấu.

Giả sử một dung dịch điện ly nếu có a% số phân tử chất hoà tan bị phân ly và mỗi phân tử bị phân ly thành n ion.

Gọi N_0 là số phân tử của chất hoà tan ứng với một đơn vị thể tích dung dịch nếu chất hoà tan là không điện ly.

N là số phân tử có trong một đơn vị thể tích dung dịch sau khi đã phân ly thành các ion.

Thì ta có:

$$N = N_0 a.n + (1 - a) N_0$$

$$N = (an + 1 - a) N_0 = [1 + a (n-1)] N_0$$

Vì áp suất thẩm thấu tỷ lệ với số phân tử trong một đơn vị thể tích nên đối với dung dịch điện ly áp suất thẩm thấu sẽ tăng lên i lần với $i = 1 + a (n-1)$ và i được gọi là hệ số đẳng thấm. Như vậy phương trình Van't Hoff viết cho dung dịch loãng chất điện ly sẽ là:

$$p = i.CRT$$

5.2. Cân bằng Donnan

Ở trên ta xét áp suất thẩm thấu của các chất phân ly và không phân ly mà bản thân chúng không đi qua được màng bán thấm. Trong thực tế ở các tổ chức sống có các muối protein là các đại phân tử bị ngăn cách với các dung dịch điện ly

http://tieulun.hopto.org

bởi các màng tế bào. Màng tế bào này không cho các đại phân tử và các ion lớn đi qua nhưng cho các ion nhỏ của chất điện ly đi qua. Do vậy mà có sự phân phối lại các chất điện ly trong và ngoài màng ảnh hưởng lên áp suất thẩm thấu.

Giả sử có một màng bán thấm ngăn cách dung dịch điện ly đại phân tử R^-Na^+ ở phần I với dung dịch điện ly Na^+Cl^- ở phần II (hình 2.21). Các ion Na^+ và Cl^- có thể qua lại 2 phía của màng còn R^- thì không thể thấm qua màng được.

	Phần I			Màng	Phần II	
Trạng thái đầu	R^-		Na^+		Na^+	Cl^-
	C_1		C_1		C_2	C_2
Trạng thái cuối	R^-	Na^+	Cl^-		Na^+	Cl^-
	C_1	$C_1 + x$	x		$C_2 - x$	$C_2 - x$

Hình 2.21

Vì các phần tử trong cả hai phần đều có tích điện nên hiện tượng phức tạp hơn. Ta nhận thấy:

Các ion Na^+ không thể đi qua màng một mình vì như thế sẽ dẫn đến quá trình tích tụ điện dương ở phần I và tạo ra điện trường chống lại các ion Na^+ khác qua màng. Một ion Na^+ nào đó chỉ có thể qua màng nếu nó được cung cấp năng lượng từ bên ngoài. Nhưng nếu Na^+ và Cl^- qua màng cùng lúc sau va chạm ở gần lỗ màng thì sự thẩm thấu xảy ra dễ dàng và không cần cung cấp năng lượng từ ngoài. Khi đó số ion qua màng sẽ tỷ lệ với số va chạm và tỷ lệ với nồng độ các ion Na^+ và Cl^-.

Nếu Na^+ và Cl^- ở phần II có nồng độ là $[Na^+]_2\ [Cl^-]_2$ (Dấu [ ] ký hiệu nồng độ các ion, đơn vị là mol/l) thì số cặp ion qua theo chiều từ phần II đến phần I là:

$$n_2 = k\ [Na^+]_2\ [Cl^-]_2$$

và số cặp ion qua theo chiều từ phần I đến phần II là:

$$n_1 = k\ [Na^+]_1 [Cl^-]_1$$

Theo Donnan thì ở trạng thái cân bằng động phải thoả mãn hai điều kiện:

- Số phân tử qua lại màng ở hai phần phải bằng nhau $n_1 = n_2$:

$$[Na^+]_2\ [Cl^-]_2 = [Na^+]_1\ [Cl^-]_1 \qquad (2.14)$$

- Có sự trung hoà về điện trong mỗi ngăn.

ở phần I $\quad [Na^+]_1 = [Cl^-]_1 + [R^-]_1$

ở phần II $\quad [Na^+]_2 = [Cl^-]_2$

ở trạng thái ban đầu $\quad [R^-]_1 = [Na^+]_1 = C_1$

$\quad [Na^+]_2 = [Cl^-]_2 = C_2$

http://tieulun.hopto.org

Nếu gọi x là số cặp ion Na^+, Cl^- đã di chuyển qua màng từ phần II sang phần I cho tới khi đạt trạng thái cân bằng động, lúc đó:

$$[R^-]_1 = C_1$$

$$[Na^+]_1 = C_1 + x$$

$$[Cl^-]_1 = x$$

$$[Na^+]_2 = [Cl^-]_2 = C_2 - x$$

Thay vào phương trình (2.14) ta có:

$$(C_2 - x)^2 = (C_1 + x)x$$

Giải phương trình này ta được:

$$x = \frac{C_2^2}{C_1 + 2C_2} \qquad (2.15)$$

Xét những trường hợp đặc biệt:

$C_1 << C_2$ tức là $[R^-]$ ở trạng thái đầu rất nhỏ thì ta có thể bỏ qua lượng C_1 ở mẫu số trong biểu thức (2.15).

$$x = \frac{C_2^2}{2C_2} = \frac{C_2}{2}$$

có nghĩa là khi đạt đến trạng thái cân bằng động đã có một nửa số phân tử chất điện ly NaCl từ ngoài vào trong màng.

$C_1 >> C_2$ tức là $[R^-]$ rất lớn thì theo (2.15), x = 0 tức là NaCl ở ngoài hầu như không thấm được vào trong màng.

$C_1 = C_2$ thì $\quad x = \frac{C_2^2}{C_1 + 2C_2} = \frac{C_1}{3}$

có nghĩa là đã có 1/3 số phân tử chất điện ly ở ngoài màng chuyển vào trong khi đạt cần bằng động.

Như vậy khi cho tế bào tiếp xúc với chất điện ly có cùng loại ion với muối protein trong tế bào thì trong mọi trường hợp đều có một lượng chất điện ly đi vào tế bào do đó có sự thay đổi áp suất thẩm thấu và giá trị áp suất thẩm thấu của tế bào luôn luôn lớn hơn áp suất thẩm thấu của môi trường. Và đó chính là động lực gây nên dòng chảy về phía các tế bào sống.

5.3. Ý nghĩa của áp suất thẩm thấu (p_{tt})

Hiện tượng thẩm thấu đóng vai trò rất quan trọng trong sự sống của các cơ thể động thực vật. Đa số các màng tế bào động vật, thực vật là màng bán thấm nên giá trị của áp suất thẩm thấu có liên quan trực tiếp đến quá trình trao đổi vật chất trong các cơ quan, tế bào. Giá trị áp suất thẩm thấu của các cơ quan khác nhau, ở các loài sinh vật khác nhau thường khác nhau. Dịch tiết ra từ cơ thể ếch có p_{tt} nhỏ

http://tieulun.hopto.org

hơn p_{tt} ở người. Các động vật sống trong nước biển có các dịch với p_{tt} lớn. Thực vật hút nước từ đất nhờ p_{tt} = 5 - 20 atm. Một số cây ở sa mạc có p_{tt} = 170 atm. Các tế bào ở lá và ngọn cây có p_{tt} lớn hơn ở thân và rễ.

Đối với con người chỉ cần một thay đổi nhỏ về p_{tt} của các dịch trong cơ thể đặc biệt là máu (máu, bạch huyết, dịch các tổ chức của cơ thể người có P_{tt} = 7,7 at ở 37°C) cũng đủ gây ra những ảnh hưởng đến các hoạt động sinh lý bình thường.

– p_{tt} bị hạ thấp (do có số lượng nước lớn đưa vào hay do mất muối) có thể dẫn tới co giật, nôn mửa.

– p_{tt} tăng (do đưa vào cơ thể lượng muối lớn) dẫn tới sự phân phối lại nước, có thể gây ra phù nề các tổ chức. Khi ấy sự mất nước của các niêm mạc gây ra cảm giác khát nước, làm mất thăng bằng của hoạt động bình thường của hệ thần kinh, của các cơ quan quan trọng khác.

Trên cơ thể người, thận đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh lại áp suất thẩm thấu.

Dung dịch mà áp suất thẩm thấu của nó bằng áp suất thẩm thấu của một dung dịch chuẩn gọi là dung dịch đẳng trương với dung dịch chuẩn. Dung dịch có áp suất thẩm thấu lớn hơn áp suất thẩm thấu của dung dịch chuẩn gọi dung dịch ưu trương, trường hợp nhỏ hơn gọi là nhược trương.

Nếu để trong dung dịch ưu trương, tế bào sẽ mất nước mà teo lại; nếu để trong dung dịch nhược trương tế bào sẽ bị vỡ vì có lượng nước quá nhiều đi vào. Vì vậy mà khi rửa hồng cầu người ta phải dùng nước muối sinh lý (dung dịch muối có nồng độ 0,9%) với áp suất thẩm thấu 7,7 atm là dung dịch đẳng trương của máu.

Trong cơ thể người có thể đưa vào một lượng lớn các dung dịch đẳng trương khi mổ xẻ để bù lại sự mất máu, chẳng hạn như truyền huyết thanh hay nước muối sinh lý...

Trong những phẫu thuật ở ổ bụng, cần lấy ra những đoạn ruột, người ta thường đặt chúng lên những miếng gạc tẩm nước muối sinh lý để chống lại sự khô do các dịch ở mặt trên chúng bị bay hơi.

Các dung dịch ưu trương cũng được sử dụng nhiều trong lâm sàng. Thí dụ để chống lại sự tăng nhãn áp, tạm thời người ta thường dùng một lượng dung dịch ưu trương để rút lại lượng nước thừa từ buồng trước của mắt. Để rút mủ, vi khuẩn và các sản phẩm thoái hoá từ vết thương, người ta băng bằng những miếng gạc có tẩm dung dịch ưu trương NaCl.

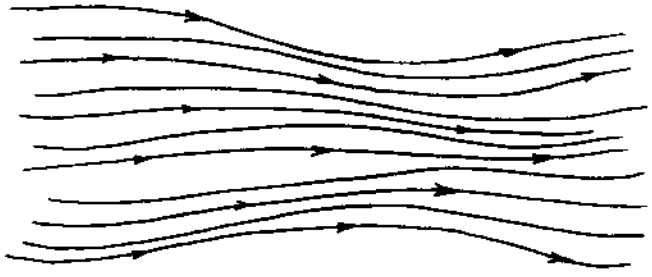
6. Chuyển động của chất lỏng lý tưởng và chất lỏng thực

6.1. Chuyển động của chất lỏng lý tưởng

Chất lỏng lý tưởng là chất lỏng tuyệt đối không nén được và bên trong chất lỏng không có ma sát. Trong thực tế không có chất lỏng nào là lý tưởng, vì đối với bất kỳ chất lỏng nào bên trong chúng cũng có ma sát và khí nén, thể tích chúng có thể giảm chút ít. Tuy nhiên với mức độ khá chính xác ta có thể xem chúng là lý tưởng với những áp suất và nhiệt độ bình thường.

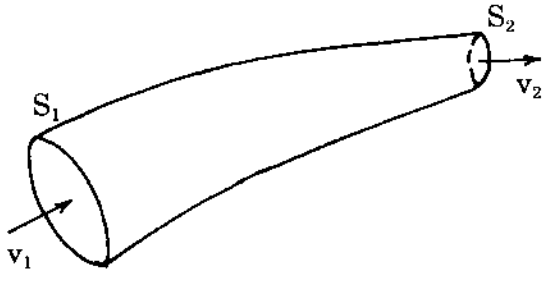
http://tieulun.hopto.org

Các phân tử chất lỏng khi chuyển động sẽ có một véc tơ vận tốc nào đó. Tập hợp tất cả những véc tơ vận tốc này tạo thành một trường véc tơ vận tốc. Những đường dòng là những đường mà tiếp tuyến của nó tại mỗi điểm sẽ trùng với véc tơ vận tốc của phần tử chất lỏng tại điểm ấy. Người ta quy ước vạch những đường dòng sao cho thưa ở chỗ chất lỏng chảy chậm, mau ở chỗ chất lỏng chảy nhanh. Một bó đường dòng xác định tạo thành một ống dòng. Hiển nhiên là không có một đường dòng nào xuyên qua thành ống dòng (hình 2.22).



Hình 2.22

Để thấy hình ảnh của đường dòng và ống dòng ta thả vào trong một ống dẫn nước bằng thuỷ tinh những hạt mạt cưa nhỏ. Quỹ đạo chuyển động của các hạt mạt cưa cho ta hình ảnh đường dòng và ống dòng.



Hình 2.23

6.1.1. Phương trình liên tục

Xét một ống dẫn có chất lỏng lý tưởng chảy liên tục (hình 2.23). Sau một đơn vị thời gian, thể tích chất lỏng chảy ra khỏi thiết diện S_2 là:

$$V = S_2.V_2$$

trong đó V_2 là tốc độ chảy của chất lỏng ở S_2.

Do chảy liên tục và không nén được, lượng chất lỏng chảy qua S_1 vào để bù chỗ chảy qua S_2 phải là: $V = S_1.V_1$ trong đó v_1 là tốc độ chảy của chất lỏng ở S_1.

Ta có:

$$S_1.v_1 = S_2.v_2$$

hay là

$$S.v = \text{const}$$

từ (2.16) suy ra:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

http://tieulun.hopto.org

Đẳng thức này cho phép ta kết luận: nơi thiết diện bé chất lỏng chảy nhanh, nơi thiết diện lớn chất lỏng chảy chậm. Một hạt nước nào đó đi từ chỗ rộng có tốc độ bé sang chỗ hẹp có tốc độ lớn là đã được gia tốc; nói khác đi là trong ống tồn tại lực hướng từ phần rộng sang phần hẹp. Thí dụ khi ta rửa ống tiêm, nước trong ống tiêm chảy chậm nhưng nước ở kim phun ra rất nhanh do thiết diện kim bé hơn thiết diện ống nhiều lần.

6.1.2. Phương trình Bernoulli

Trên hình 2.24 ta có khối chất lỏng chiếm vị trí (1, 2) chuyển động tới chiếm vị trí (1', 2'). Khối chất lỏng này chuyển động được như vậy là do áp suất p_1 gây nên lực $F_1 = p_1.S_1$ đẩy chất lỏng tiến tới, áp suất p_2 gây lực $F_2 = p_2.S_2$ cản chuyển động chất lỏng. Công gây ra do F_1 là công dương, công gây ra do F_2 là công âm nên công thực hiện do áp suất chất lỏng là:

$$dA = F_1.dx_1 - F_2dx_2 = p_1.S_1.dx_1 - p_2.S_2.dx_2$$

Giữa vị trí (1,2) và (1',2') có chung nhau phần (1',2) nên ta có thể coi công do áp suất này đã làm cho khối chất lỏng (1,1') chuyển động tới vị trí (2,2'); nghĩa là làm cho khối chất lỏng này có năng lượng cơ học ở vị trí (1,1') là:

$$mgh_1 + m\frac{v_1^2}{2}$$

thành có năng lượng cơ học ở vị trí (2,2') là:

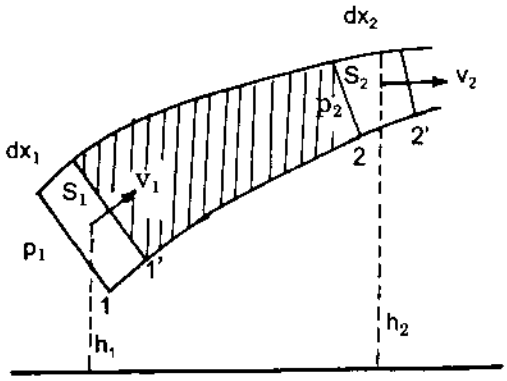
$$mgh_2 + m\frac{v_2^2}{2}$$

(m là khối lượng chất lỏng, h_1, h_2 và v_1, v_2 là các chiều cao so với mặt đất và tốc độ ở các vị trí tương ứng).

Vậy sự biến đổi năng lượng cơ học của khối chất lỏng giữa hai vị trí (2, 2') và (1,1') là:

$$dE = (mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}) - (mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2})$$

Theo định luật bảo toàn cơ năng thì công thực hiện do áp suất chất lỏng bằng độ biến đổi năng lượng cơ học, nên ta có:



Hình 2.24

$$dE = dA$$

$$p_1S_1dx_1 - p_2S_2dx_2 = (mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}) - (\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1)$$

http://tieulun.hopto.org

Vì $S_1.dx_1 = S_2.dx_2 = V$ là thể tích khối chất lỏng (1,1') và (2,2') có khối lượng m nên:

$$p_1V - p_2V = (mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}) - (mgh_1 - \frac{mv_1^2}{2})$$

Hay:

$$p_1V + mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = p_2V + mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2}$$

Tức là:

$$pV + mgh + \frac{mv^2}{2} = const \qquad (2.17)$$

Đây là phương trình Bernulli hay định luật bảo toàn năng lượng đối với chất lỏng lý tưởng. (Ta đã coi không có lực ma sát trong lòng chất lỏng).

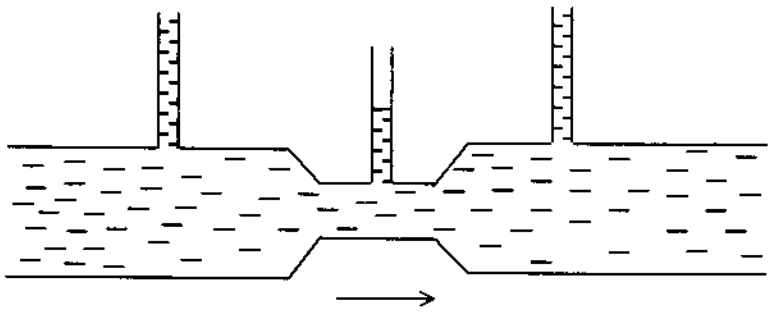
Vì $\frac{m}{V} = \rho$ là khối lượng riêng của chất lỏng nên lấy phương trình (2.17) chia cho V thì ta được:

$$p + \rho gh + \rho\frac{v^2}{2} = const$$

Giả sử ống nằm ngang, bộ phận ρgh sẽ là hằng số nên có:

$$p + \rho\frac{v^2}{2} = const \qquad (2.18)$$

Đó là biểu thức toán học của định luật Bernulli: Áp suất chất lỏng không nhớt (không ma sát) chảy theo ống nằm ngang sẽ tăng tại nơi nào tốc độ chảy giảm và ngược lại, giảm tại nơi nào tốc độ chảy tăng. Ta chứng minh dễ dàng định luật trên bằng thực nghiệm: Cho nước chảy theo ống hình 2.25 cột nước ở giữa thấp vì nước chảy nhanh.



Hình 2.25

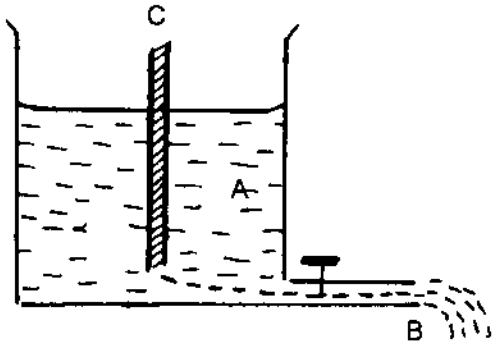
http://tieulun.hopto.org

6.2. Chuyển động của các chất lỏng thực

6.2.1. Hai dạng chảy của chất lỏng thực. Hệ số nhớt của dung dịch:

Chất lỏng thực khác chất lỏng lý tưởng ở chỗ khi chẩy trong lòng chất lỏng thực có ma sát đồng thời có khả năng nén được chút ít (chẳng hạn nước lã nén ở áp suất 1000 at-mốt-phe sẽ giảm thể tích khoảng 5%).

Ta biết chất lỏng thực có 2 dạng chuyển động tuỳ theo tốc độ chảy: chuyển động xoáy và chuyển động thành lớp. Thí nghiệm sau đây chứng minh 2 dạng chảy đó. Ở hình 2.26 bình A chứa nước với vòi B dẫn nước ra ngoài. Một ống nhỏ C đựng chất màu trong bình A. Nếu mức nước ở bình A thấp và mở khoá cho nước chảy qua vòi B. Tốc độ chảy bé, ta thấy chất màu ở ống C chảy thành tia nhỏ song song với thành của vòi B. Đó là chuyển động thành lớp. Nếu mức nước ở bình A cao hơn và cho chảy ta thấy chất màu và nước trong bình A xoắn quyện lại do chuyển động xoáy của nước làm cho chất màu bị hoà đều. Lúc này các phân tử nước chuyển động theo đường hỗn loạn phức tạp chứ không thành từng lớp thẳng nữa.



Hình 2.26. Chuyển động thành lớp của chất lỏng

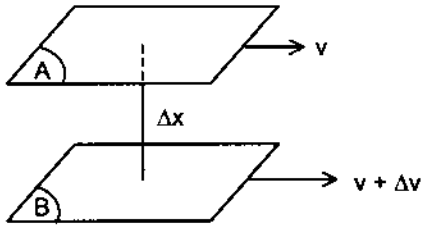
– Khi chất lỏng chuyển động thành từng lớp ta có thể hình dung chất lỏng chia thành nhiều lớp khác nhau, mỗi lớp có một tốc độ chảy khác nhau. Xét 2 lớp chất lỏng A và B (hình 2.27). Tốc độ chảy của lớp A là v và tốc độ chảy của lớp B là $(v + \Delta v)$. Lớp B có xu hướng kéo lớp A chuyển động nhanh hơn, ngược lại lớp A lại có xu hướng kìm chuyển động của lớp B chậm lại. Vì vậy xuất hiện giữa 2 lớp A, B một lực ma sát. Người ta gọi đó là lực nội ma sát của chất lỏng. Lực nội ma sát này làm thay đổi tốc độ chảy của các lớp chất lỏng. Giá trị của lực nội ma sát F tỷ lệ với diện tích tiếp xúc giữa 2 lớp chất lỏng S và gradiêng tốc độ chảy $\frac{dv}{dx}$ của chúng:

$$F = \eta.\frac{dv}{dx}S$$

η là hệ số nhớt.

Công thức trên có thể viết là:

$$\eta = F.\frac{1}{\frac{dv}{dx}}.\frac{1}{S}$$



Hình 2.27

http://tieulun.hopto.org

Nếu các đại lượng $\frac{dv}{dx}$ và S bằng 1 thì $\eta = F$. Như vậy nghĩa là hệ số nội ma sát là lực ma sát xuất hiện giữa 2 lớp chất lỏng thực chuyển động thành lớp có gradiên tốc độ là 1 và diện tích tiếp xúc là 1 đơn vị. Vì vậy người ta có thể dùng hệ số nhớt để biểu diễn lực nội ma sát (độ nhớt) của một chất lỏng. Ở hệ SI hệ số η được tính bằng $\frac{N.s}{m^2}$ gọi là poadơi (poiseuille)

$$1 \text{ poadơi} = 1\frac{N.s}{m^2}$$

Người ta còn dùng đơn vị của η khác là Poadơ (P) (Poise)

$$1\ P = 0,1 \text{ poadơi} = 0,1\frac{N.s}{m^2} = 1\frac{dyn.s}{cm^2}$$

Trong thực tế có thể dùng hệ số nhớt riêng. Hệ số nhớt riêng là tỷ lệ giữa hệ số nhớt của một chất lỏng so với hệ số nhớt của nước nguyên chất ở 20^0C. Hệ số nhớt phụ thuộc vào nhiệt độ, áp suất và nhiều yếu tố khác của chất lỏng. Thực nghiệm cho biết độ nhớt của một dung dịch chất hoà tan thể hiện qua công thức:

$$\eta = \eta_0 . A^m$$

η_0 là hệ số nhớt của dung môi, $m = \frac{C}{M}$ là nồng độ phân tử của chất hoà tan và A là một hằng số, còn độ nhớt của một dung dịch có chứa những hạt nhỏ phụ thuộc vào độ nhớt η_0 của chất lỏng và thể tích tổng cộng V của tất cả các hạt chứa trong một đơn vị thể tích dung dịch theo hệ thức:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2,5V) \qquad (2.19)$$

6.2.2. Chuyển động của chất lỏng thực qua ống tròn nằm ngang

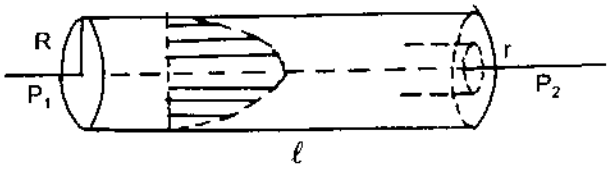
Do ảnh hưởng của lực nội ma sát, tốc độ chảy của các lớp chất lỏng khác nhau. Để hiểu rõ tốc độ chảy của một chất lỏng qua một đoạn ống có bán kính R, độ dài ℓ và hiệu áp suất Δp ta xét khối chất lỏng nhỏ trong lòng ống đồng trục có bán kính r:

Với $0 < r < R$ (hình 2.28). Diện tích thiết diện ngang của khối trụ đó là:

$$S_n = \pi r^2$$

Lực gây chảy của khối trụ là:

$$F_c = \pi r^2 . \Delta p$$



Hình 2.28

http://tieulun.hopto.org

Lực nội ma sát tác dụng lên lớp ngoài của chất lỏng tức là lên mặt xung quanh của khối trụ là:

$$F_n = \eta \frac{dv}{dr} S_d$$

mà $S_d = 2\pi r \ell$

Từ đó ta có: $F_2 = 2\pi.r.\ell.\eta \frac{dv}{dr}$

Giả sử vận tốc của lớp chất lỏng ở ngoài cùng bằng 0 nghĩa là:

$$F_n + F_c = 0$$

Thay vào đó ta có:

$$2\pi r.\ell\eta \frac{dv}{dr} + \pi r^2.\Delta p = 0$$

Vì $r \neq 0$ nên có thể chia cho πr và có:

$$2l\eta \frac{dv}{dr} + r\Delta p = 0$$

$$\frac{dv}{dr} = \frac{-\Delta p}{2\ell\eta} r$$

$$dv = \frac{-\Delta p}{2\ell\eta}.rdr$$

Vậy

$$v = \frac{-\Delta p}{2\ell\eta}.\int rdr$$

$$v = \frac{-\Delta p}{2\ell\eta}.\frac{r^2}{2} + C$$

$$v = \frac{-\Delta p.r^2}{4\ell\eta} + C$$

C là hằng số. Khi r tiến tới R thì v tiến tới 0. Lúc đó có thể viết:

$$0 = \frac{-\Delta p.R^2}{4\ell\eta} + C$$

hay

$$C = \frac{\Delta p.R^2}{4\ell\eta}$$

http://tieulun.hopto.org

Từ đó ta suy ra:

$$v = \frac{\Delta p}{4\ell\eta}(R^2 - r^2) \qquad (2.20)$$

Như vậy tốc độ chảy của lớp chất lỏng phụ thuộc vào khoảng cách từ lớp đến trục ống. Khi r =0 tức là chính lớp chất lỏng ở trục ống, tốc độ chảy v_0 là

$$v_0 = \frac{\Delta p.R^2}{4\ell\eta}$$

Khi r = R tức là ở thành ống, tốc độ chảy bằng 0.

Cũng có thể tính lưu lượng, tức là thể tích chất lỏng được vận chuyển trong một đơn vị thời gian qua một ống chảy. Ví dụ thiết diện ống có bán kính là R, chiều dài ống là ℓ và tốc độ chảy là v. Xét một khối chất lỏng nhỏ trong lòng ống đồng trục có bán kính r và một lớp mỏng chất lỏng dr (hình 2.29).

Diện tích S của hình vành khăn có đoạn dr là:

$$S = \pi (r + dr)^2 - \pi r^2$$

Vì $(dr)^2$ rất nhỏ coi như không đáng kể cho nên có thể viết:

$$S = 2\pi r dr$$

Thể tích chất lỏng chảy qua hình vành khăn đó là:

$$dQ = 2\ \pi r dr.v$$

Lấy tích phân biểu thức đó ta có lưu lượng chất lỏng chảy qua ống có bán kính r là:

$$Q = \int 2\pi r dr.v = \int 2\pi r dr.\frac{\Delta p}{4\ell\eta}(R^2 - r^2)$$

$$Q = \frac{\pi\Delta p}{2\eta\ell}\int (R^2 - r^2) r.dr$$

Giá trị tích phân đó bằng $\frac{R^4}{4}$ cho nên:

$$Q = \frac{\pi\Delta p.R^4}{8\ell\eta} \qquad (2.24)$$

Đó là công thức Poadơi nói lên sự phụ thuộc giữa thể tích chất lỏng chảy qua với độ nhớt η, độ chênh lệch áp suất chảy Δp, chiều dài ℓ và bán kính R của đoạn ống.

7. Hiện tượng lọc và siêu lọc

Ta đã gặp hiện tượng lọc nhiều trong thực tế và trong đời sống hàng ngày. Thí dụ: như lọc nước để loại bỏ cặn bẩn, lọc bột nước để loại bỏ phần bột có kích thước lớn hơn...

http://tieulun.hopto.org

Hiện tượng lọc là hiện tượng xảy ra khi dung dịch chuyển thành dòng qua các lỗ của màng dưới tác dụng của lực thuỷ tĩnh (đẩy hoặc hút) đặt lên dung dịch. Mật độ dòng thể tích J_v là thể tích dung dịch chuyển qua một đơn vị diện tích của màng trong một đơn vị thời gian có thể tính theo công thức:

$$J_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\pi r^4 . N . \Delta p}{8 \eta \ell} = L . \Delta p \qquad (2.24)$$

Trong đó:

ΔV là thể tích dung dịch chuyển qua màng trong thời gian t.

r: bán kính của lỗ màng.

N: số lỗ trong một đơn vị diện tích màng.

η: hệ số nhớt của dung dịch.

ℓ: chiều dài trung bình của lỗ màng hay chiều dầy của màng.

Δp: hiệu áp suất giữa hai đầu lỗ.

L: hệ số lọc.

Như vậy ta thấy tốc độ vận chuyển của dung dịch qua màng lọc phụ thuộc vào hiệu áp suất giữa 2 đầu lỗ, độ nhớt của dung dịch, vào các kích thước của lỗ và số lỗ trong một đơn vị diện tích.

Tất nhiên ở đây coi các lỗ màng giống nhau và những vật chất tan trong dung dịch có kích thước lớn hơn lỗ, không thể qua lỗ.

Hiện tượng siêu lọc là hiện tượng lọc qua màng trong các điều kiện sau:

* Màng lọc ngăn các đại phân tử có phân tử lượng lớn hơn giá trị giới hạn μgh (thí dụ ngăn các phân tử protein)

* Màng lọc cho các phân tử và ion nhỏ lọt qua, tuân theo cân bằng Donnald.

* Có thêm tác dụng của gradien áp suất thuỷ tĩnh hướng từ phần có các đại phân tử sang phần kia hoặc ngược lại. Tác dụng của áp suất thuỷ tĩnh làm thay đổi lưu lượng của dòng dung dịch qua màng, cũng có thể làm đổi chiều dòng.

Sự vận chuyển của các phân tử nước và các phân tử nhỏ qua thành mao mạch có thể coi là hiện tượng siêu lọc. Huyết áp có khuynh hướng dồn nước ở trong máu ra khoảng gian bào; ngược lại, áp suất thẩm thấu keo lại dồn nước từ khoảng gian bào qua vách mao mạch vào máu. Trong các mao động mạch, huyết áp lớn hơn áp suất thẩm thấu keo, do đó nước từ máu thoát ra khỏi thành mao mạch. Trong các mao tĩnh mạch, huyết áp nhỏ hơn áp suất thẩm thấu keo nên nước từ khoảng gian bào đi qua thành mao mạch vào máu.

Sự trao đổi chất đó thường xảy ra ở thành mao mạch như một hiện tượng siêu lọc mà động lực là sự chênh lệch của tổng các loại áp suất.

Ta biết áp suất thuỷ động có chiều hướng từ lòng mạch ra thành. Áp suất này ở lòng mạch là p_A = 4kPa và trong lòng tĩnh mạch là P_v = 2kPa. Áp suất thuỷ tĩnh

http://tieulun.hopto.org

của các dịch mô có chiều ngược lại, có giá trị trung bình là p = 0,8kPa (từ 0 đến 1,3 kPa). Như vậy độ chênh lệch ở đây làm cho dịch di chuyển ra khỏi lòng mạch:

$\Delta p_1 = p_A - p = 4 - 0,8 = 3,2$ kPa (ở động mạch)

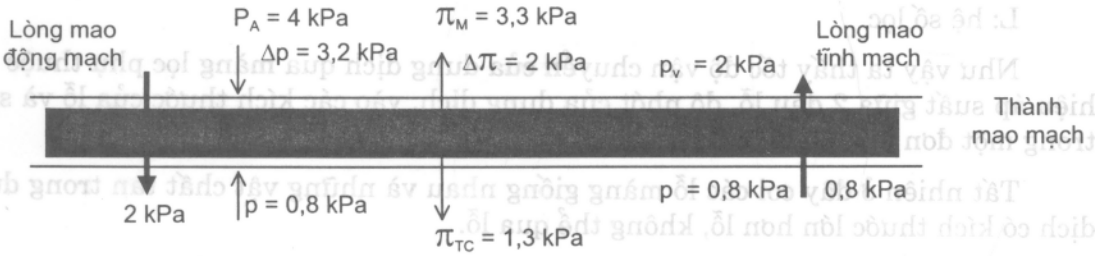
và $p_2 = pv - p = 2 - 0,8 = 1,2$ kPa (ở tĩnh mạch)

Trong khi đó áp suất thẩm thấu quyết định bởi nồng độ các chất hữu cơ trong đó. Ta biết giá trị áp suất thẩm thấu trong lòng mạch là $\pi_M = 3,3$ kPa và trong mô là $\pi_{TC} = 1,3$ kPa. Sự chênh lệch áp suất thẩm thấu này ($\Delta\pi = 3,3.1,3 = 2$ kPa) làm cho nước di chuyển từ tổ chức vào lòng mạch.

Cuối cùng sự di chuyển của nước và các thành phần tan trong đó (chất vô cơ, hữu cơ, oxy...) phụ thuộc vào tổng hợp các áp suất thuỷ động, thuỷ tĩnh và thẩm thấu có các chiều khác nhau là:

Ở mao động mạch 3,2 - 2 = 1,2 kPa

Ở mao tĩnh mạch 1,2 - 2 = -0,8 kPa



Mô (tổ chức)

Hiện tượng siêu lọc ở cầu thận: Cầu thận nằm ở vùng vỏ thận, nó có hai thành phần hợp thành là bọc Bowman và búi mao mạch cầu thận. Vật chất trong huyết tương chảy qua búi mao mạch cầu thận sẽ lọt qua thành mao mạch để vào trong lòng bọc Bowman. Bởi vậy thành mao mạch và thành bọc Bowman gắn với nhau tạo thành màng lọc cầu thận. Màng lọc cầu thận cũng giống như màng mao mạch khác trong cơ thể nhưng vì chức năng lọc lớn hơn nên có độ xốp lớn hơn khoảng 25 lần.

Vật chất chuyển qua màng lọc vào bọc Bowman là do sự chênh lệch áp suất, có 3 loại áp suất ở cầu thận.

* Áp suất máu trong mao mạch $p_h = 70$ mmHg đóng vai trò lực đẩy dịch chuyển vào bọc Bowman.

* Áp suất keo trong mao mạch cầu thận tạo ra do nồng độ protein hoà tan trong huyết tương $p_k = 32$ mmHg.

* Áp suất thuỷ tĩnh trong bọc Bowman tạo ra do dịch lọc chứa trong bọc Bowman $p_b = 14$ mmHg.

Như vậy áp suất lọc là áp suất đẩy nước và các chất hoà tan từ lòng mao mạch cầu thận qua màng lọc vào bọc Bowman p_e là:

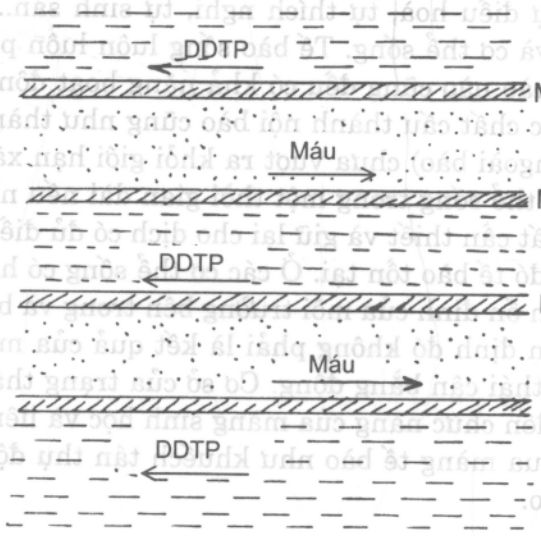
http://tieulun.hopto.org

$$p_e = p_h - (p_k + p_b) = 70 - (32 + 14) = 24 \text{ mmHg}$$

Trong dịch lọc không có hồng cầu và lượng protein rất thấp vì chúng không qua được màng. Các phân tử nhỏ, các ion khuếch tán qua màng theo gradiên nồng độ, theo cân bằng Donnald. Do vậy nồng độ các anion cao còn thành phần cation lại thấp hơn trong huyết tương.

Thẩm phân máu: Thẩm phân là phương pháp tách các phân tử nhỏ trong dung dịch bằng hiện tượng khuếch tán qua một màng. Trong y học, người ta thường thẩm phân máu nhằm mục đích loại ra khỏi máu các chất có hại do bệnh trong cơ thể sinh ra (thí dụ thiểu năng thận) hoặc do các chất từ ngoài xâm nhập vào (thí dụ nhiễm chất độc).

Người ta đặt một màng ngăn cách máu cần lọc với dung dịch thẩm phân (dung dịch có nồng độ thích hợp các chất nước, muối khoáng, glucose...). Thông qua hiện tượng khuếch tán qua màng, các chất cần loại bỏ rời khỏi máu tới dung dịch thẩm phân. Như vậy màng đóng vai trò như một cái sàng.



Hình 2.30

Màng dùng trong thẩm phân máu thường là:

- Màng sinh vật (thí dụ màng bụng).
- Màng nhân tạo.

Màng nhân tạo thường dùng là celophal có dạng lá mỏng hay ống (thận nhân tạo). Hình 2.30 trình bày màng lọc trong thận nhân tạo được xếp song song nhau. Ở hai phía mỗi lá có máu cần lọc và dung dịch thẩm phân (DDTP) chảy ngược chiều nhau:

Máu lấy ra từ động mạch sau khi thẩm phân được đưa trở lại vào tĩnh mạch, lưu lượng khoảng 300ml/phút. Dung dịch thẩm phân phải duy trì ở 35°C, lưu lượng khoảng 500ml/phút. Thành phần của dung dịch thẩm phân phụ thuộc trạng thái cơ thể bệnh nhân. Dưới đây là thành phần của một dung dịch thẩm phân.

Glucose	2g
NaCl	6,3g
$CaCl_2$	0,3g
KCl	0-0,3g tùy thuộc lượng K^+ trong máu bệnh nhân.

http://tieulun.hopto.org

$NaHCO_3$	2,65g
H_2O	1000ml

Màng lọc trong thận nhân tạo khi khô dày chừng 13μm, khi ướt khoảng 26μm, mật độ lỗ khoảng $2,5.10^{12}/cm^2$, diện tích tổng cộng của các lá màng lên tới $1,5m^2$.

Trong những điều kiện kỹ thuật như trên, một đợt lọc máu kéo dài khoảng từ 2 đến 4 giờ, cho phép loại bỏ những lượng thừa urê, Cl^-, Na^+, K^+, sulphat và phosphat... có trong máu.

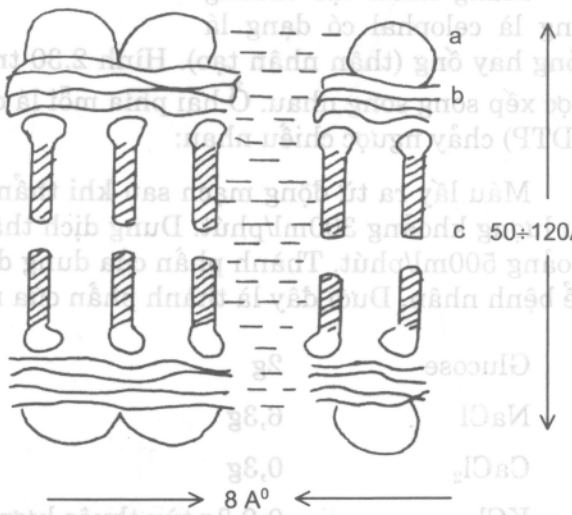
III. VẬN CHUYỂN VẬT CHẤT QUA MÀNG TẾ BÀO

Mọi cơ thể sống đều gồm những đơn vị cơ bản là tế bào bởi vì nó tự chuyển hoá, tự điều hoà, tự thích nghi, tự sinh sản... từ đó xây dựng nên các mô, các cơ quan và cơ thể sống. Tế bào sống luôn luôn phải trao đổi chất với môi trường. Bất kỳ tế bào nào cũng đều có khả năng hoạt động chỉ trong điều kiện mà sự thay đổi của các chất cấu thành nội bào cũng như thành phần dịch bao quanh màng tế bào (dịch ngoài bào) chưa vượt ra khỏi giới hạn xác định. Tế bào bị tách ra khỏi cơ thể còn có thể sống trong một thời gian dài nếu như ta nuôi chúng trong dịch có tất cả các chất cần thiết và giữ lại cho dịch có đủ điều kiện vật lý giống với dịch cơ thể mà trong đó tế bào tồn tại. Ở các cơ thể sống có hàng loạt các cơ chế khác nhau để duy trì tính ổn định của môi trường bên trong và bên ngoài tế bào. Ở đây cần lưu ý rằng tính ổn định đó không phải là kết quả của một trạng thái tĩnh mà là kết quả của trạng thái cân bằng động. Cơ sở của trạng thái cân bằng động đó có liên quan mật thiết đến chức năng của màng sinh học và liên quan đến các cơ chế vận chuyển vật chất qua màng tế bào như khuếch tán thụ động, vận chuyển tích cực, thực bào và ẩm bào.

1. Màng tế bào

Tế bào về phương diện vật lý là một hệ nhiệt động mở, luôn luôn trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh.

Ngày nay, bằng những phương pháp nghiên cứu hiện đại người ta đã khẳng định rằng tế bào có cấu trúc rất phức tạp và cấu trúc của mỗi loại tế bào đều phù hợp với chức năng nhiệm vụ của nó. Nhưng tất cả các tế bào đều gồm 3 phần chính: màng tế bào, nguyên sinh chất (bào tương) và nhân tế bào.



Hình 2.31

http://tieulun.hopto.org

Mọi tế bào đều được bao bọc bởi màng tế bào. Màng tế bào đóng vai trò:

– Bao bọc tế bào, phân định ranh giới giữa tế bào và môi trường xung quanh, làm cho tế bào thành một thể toàn vẹn khác môi trường. Bảo vệ các thành phần của tế bào trước tác động của môi trường.

– Tiếp nhận, truyền đạt, xử lý thông tin từ môi trường tới như nhận diện tế bào quen, lạ, kẻ thù; kích thích hoặc ức chế tiếp xúc giữa các tế bào, tế bào với cơ chất; phản ứng với các thông tin tới như hưng phấn điện, chuyển động...

Thực hiện trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường góp phần thực hiện các chức năng sống của tế bào trên cơ sở điều hoà các phản ứng men trong tế bào, sử dụng hữu hiệu các dạng năng lượng (cơ, thẩm thấu, điện hoá...) ở tế bào.

Màng tế bào cũng có cấu trúc phù hợp để thực hiện các vai trò trên.

Hiện nay có nhiều giả thuyết về cấu trúc màng tế bào, nhưng hầu như đều cho rằng màng tế bào có chiều dày khoảng 50 ÷120Å. Trên màng có những lỗ thủng đường kính khoảng 7 ÷ 8 Å và mỗi cm^2 có khoảng 10^{10} lỗ như thế, diện tích chung của lỗ chỉ chiếm một phần nhỏ cỡ 0,06% bề mặt tế bào. Màng tế bào ở các mô khác nhau có thuộc tính lý hoá và cấu trúc khác nhau nhưng đều có tính chất chung:

– Lưỡng chiết quang.

– Sức căng mặt ngoài nhỏ.

– Điện trở lớn.

– Cấu trúc không đồng nhất.

Thành phần thường là: ở giữa màng là 2 lớp phân tử phospholipid sắp đặt phân cực định hướng vuông góc với bề mặt tế bào, có xu hướng ngăn cản các ion và chất hoà tan trong nước đi qua. Bao bọc hai phía tiếp theo là lớp protein dạng sợi làm cho màng tế bào có tính đàn hồi và sức căng mặt ngoài nhỏ. Phía ngoài cùng và trong cùng là lớp protein dạng cầu có lẫn protein nhầy và glycolipid. Ở glycolipid có chứa các acid amin trung tính mà các nhóm COOH của chúng tạo nên lớp điện tích âm ở mặt ngoài màng tế bào (hình 2.31).

Để nghiên cứu sự vận chuyển vật chất qua màng tế bào có thể dùng các phương pháp sau:

– Phương pháp thẩm thấu dựa vào những khảo sát động học sự thay đổi thể tích tế bào khi ta đặt chúng trong các dung dịch ưu trương nồng độ khác nhau sau đó ly tâm tách tế bào, đo thể tích tế bào, đo mật độ quang học của dung dịch, đo chiết suất dung dịch...

– Phương pháp sử dụng các chất màu, cơ sở của phương pháp này là khảo sát tốc độ thâm nhập của các chất màu. Với phương pháp này, nếu nồng độ thấp thì khó xác định kết quả. Nếu nồng độ cao thì độc cho tế bào.

– Phương pháp phân tích vi lượng hoá học dựa trên sự nghiên cứu các chất có trong tế bào bằng các phương pháp phân tích kinh điển.

http://tieulun.hopto.org

– Phương pháp đồng vị phóng xạ cho phép nghiên cứu sự vận chuyển vật chất qua màng tế bào bằng cách thay thế đồng vị thường bằng đồng vị phóng xạ. Phương pháp này cho ta kết quả chính xác cao nhất về định lượng, đồng thời không gây những biến đổi bất thường cho các đối tượng cần duy trì ở trạng thái sống. Những khả năng khác của phương pháp này rất lớn; phân tách được các dòng vật chất vào ra tế bào, các dòng vật chất trong nội bộ cơ thể và dòng do tương tác với môi trường ngoài, tách những chất độc và lạ, xác định trạng thái, cấu trúc...

Dựa vào các thành phần vật chất đi qua màng sinh vật người ta chia các loại màng trên cơ thể sinh vật ra làm 4 loại sau:

– Màng gần như lý tưởng về bán thấm, chỉ cho các phân tử nước đi qua.

– Màng cho phân tử nước và một số phân tử có tạo tinh thể đi qua.

– Màng cho tất cả các chất hoà tan, trừ chất keo đi qua.

– Màng sinh vật ở trạng thái "rây" cho tất cả các chất hoà tan kể cả keo đi qua.

Đa số các loại màng trong cơ thể sinh vật thuộc loại 2 và 3. Màng tế bào thuộc loại 2, thành mao mạch thuộc loại 3. Màng loại 4 có rất ít trong cơ thể trừ trường hợp khi bị tổn thương, chẳng hạn khi người bệnh thiếu oxy, thành mao mạch xuất hiện khuynh hướng để cho các chất protein đi qua.

Về phương thức vận chuyển vật chất qua màng người ta nhận thấy có 2 phương thức chủ yếu:

– Hoà tan vào các lipid có ở màng tế bào. Vận chuyển bằng phương thức này có các chất hữu cơ không hoà tan trong nước và các chất có chứa nhóm không phân cực như metyl (CH_3), etyl (C_2H_5), phenyl (C_6H_5).

– Xâm nhập vào tế bào qua lỗ màng. Vận chuyển theo phương thức này có các ion và phân tử vật chất hoà tan trong nước và các chất có chứa nhóm phân cực hydroxyl (OH), carboxyl (COOH), amin (NH_2). Phương pháp đồng vị phóng xạ đã khẳng định rằng sự xâm nhập qua lỗ màng không phải luôn luôn là do sự thẩm thấu. Người ta giả thiết là trong các lỗ màng chứa đầy nước có các ion dương hoặc âm do kết quả của hiện tượng hấp thu các ion. Bởi vậy những hạt vật chất mang điện trái dấu dễ dàng thâm nhập vào tế bào còn các hạt cùng dấu thì bị đẩy ra. Nếu có 2 phần tử tích điện cùng dấu lọt vào lỗ màng thì chúng cản nhau. Các ion hydro và hydroxyl tuy có bán kính bé nhưng thực tế hoàn toàn không từ ngoài vào tế bào. Sở dĩ như vậy vì chúng có tính linh động cao, dễ xếp thành nhóm trên bề mặt của màng tế bào và chúng sẽ đẩy các điện tích cùng dấu. Chính vì vậy mà tế bào trở thành không thấm đối với các acid và bazơ mạnh, các acid và bazơ yếu lại thấm dễ dàng.

2. Động lực và cơ chế vận chuyển vật chất qua màng tế bào

Vận chuyển vật chất qua màng là một quá trình rất phức tạp. Dựa vào sự khác nhau tương đối về động lực và cơ chế người ta chia vận chuyển vật chất qua màng tế bào làm 3 loại chính sau:

http://tieulun.hopto.org

- Vận chuyển thụ động.
- Vận chuyển tích cực.
- Thực bào và ẩm bào.

2.1. Vận chuyển thụ động

Vận chuyển thụ động là quá trình vận chuyển vật chất qua màng có động lực là các loại gradien khác nhau tồn tại ở hai phía của màng. Năng lượng chi phí cho các loại vận chuyển này được lấy ngay ở phần năng lượng dự trữ trong các gradien, tế bào không phải cung cấp thêm năng lượng lấy từ phản ứng hoá sinh. Chiều vận chuyển vật chất do tổng các vectơ gradien ở vùng màng quyết định.

Các loại gradien thông thường tồn tại ở vùng màng của tế bào sống là:

- *Gradien nồng độ*: Xuất hiện khi có sự chênh lệch nồng độ của một chất nào đó giữa trong tế bào và dịch bao quanh tế bào. Vì ở tế bào có rất nhiều loại chất khác nhau do đó có nhiều loại gradien nồng độ.

- *Gradien thẩm thấu* xuất hiện khi có sự chênh lệch về áp suất thẩm thấu giữa bên trong và bên ngoài tế bào. Ở tế bào sống thì sự chênh lệch về áp suất thẩm thấu keo rất quan trọng.

- *Gradien màng xuất hiện khi có màng bán thấm*: Các phân tử có kích thước nhỏ qua màng dễ dàng, còn các đại phân tử xâm nhập qua màng vào tế bào hoặc thoát ra ngoài khó. Kết quả là nồng độ ở hai phía của màng tế bào sẽ khác nhau.

- *Gradien độ hoà tan*: Xuất hiện ở ranh giới 2 pha không trộn lẫn được trong trường hợp chất đã cho có độ hoà tan trong hai pha không giống nhau. Sự phân phối nồng độ của bất kỳ chất gì hoà tan được trong nước và mỡ đều phải tuân theo định luật Nerst: Ở nhiệt độ xác định, tỉ số nồng độ một chất hoà tan trong 2 pha lỏng tiếp xúc không trộn lẫn vào nhau là một đại lượng không đổi khi đạt tới trạng thái cân bằng nhiệt động".

$$k = \frac{C_2}{C_1}$$

C_1 và C_2 là nồng độ chất tan của một chất nào đó ở 2 pha.

k gọi là hệ số phân phối.

- *Gradien điện hoá:* gây ra bởi sự chênh lệch thế điện hoá. Sự chuyển động của các ion theo thế điện hoá có thể xảy ra cả trong trường hợp khi chúng dịch chuyển chống lại gradien nồng độ hay chống lại gradien điện thế vì gradien điện hoá là kết quả của các hiệu ứng hoá học và điện.

Do có nhiều loại gradien ở vùng màng nên sự vận chuyển vật chất qua màng không chỉ phụ thuộc vào sự chênh lệch nồng độ giữa trong và ngoài màng. Thí dụ: do có gradien màng mà nồng độ kali ở trong tế bào thường xuyên lớn gấp 30 - 50 lần nồng độ của nó trong huyết thanh hay dịch mô.

Chiều vận chuyển vật chất phụ thuộc vào các yếu tố sau:

http://tieulun.hopto.org

– Tương quan giữa các gradien ở vùng màng (về cả chiều và giá trị)

– Mức độ trao đổi chất.

– Tương quan giữa các quá trình tổng hợp và phân huỷ các đại phân tử quan trọng nhất có trong thành phần nguyên sinh chất.

Thí dụ như ở tế bào già, các nucleotid bị phân huỷ, các gốc phosphat và K^+ thải qua màng ra môi trường bên ngoài, ở các tế bào non gốc phosphat và K^+ lại chuyển theo chiều ngược lại, chúng được tích luỹ trong tế bào bằng cách gắn vào các nucleotid.

Khi tế bào sắp chết thì sự vận chuyển vật chất qua màng tăng lên một cách không thuận nghịch và tế bào mất khả năng vận chuyển chọn lọc.

Vận chuyển thụ động vận chuyển qua màng tế bào có thể thực hiện theo nhiều cơ chế khác nhau, song khuếch tán là cơ chế chủ yếu. Ta quan tâm đến 3 dạng khuếch tán:

– Khuếch tán đơn giản.

– Khuếch tấn liên hợp.

– Khuếch tán trao đổi.

2.1.1. Khuếch tán đơn giản: Khuếch tán đơn giản là dạng khuếch tán mà vật chất chuyển động thành dòng trong dung môi dưới tác dụng của gradien nồng độ. Các phân tử nước và các anion thường khuếch tán theo cơ chế này.

Gọi Δn là số phân tử hoà tan khuếch tán qua diện tích S trong khoảng thời gian Δt áp dụng định luật Fick ta có:

$$\Delta n = -D.S.\frac{\Delta C}{\Delta x}.\Delta t$$

Mật độ dòng vật chất khuếch tán được xác định bằng công thức:

$$\phi = \frac{\Delta n}{S.\Delta t} = -D\frac{\Delta C}{\Delta x}$$

Trường hợp khuếch tán qua màng có chiều dày ℓ thì:

$$\Delta n = -D.S\frac{\Delta C}{\ell}\Delta t = -S.P.\Delta C.\Delta t.$$

Trong đó $P = \frac{D}{\ell}$ là hệ số thấm của màng.

Vậy $\Delta n = S.P.\ (C_1 - C_2)\ .\ \Delta t$

Hay $\phi = -P.\Delta C$

Có thể xác định được giá trị của P bằng thực nghiệm. Hệ số thấm P của màng phụ thuộc vào:

– Tác động qua lại của các phân tử và ion cùng đi qua màng.

http://tieulun.hopto.org

– Sự tham gia của các phân tử và ion vận chuyển vào các quá trình trao đổi vật chất trong tế bào.

– Tốc độ vận chuyển của dung môi qua màng.

– Nếu chất khuếch tán là chất điện ly thì lượng chất khuếch tán qua màng còn phụ thuộc vào độ linh động U^+ của các ion dương và U^- của các ion âm thể hiện qua hệ số khuếch tán D được tính bằng công thức:

$$D = \frac{2.R.T}{F^2} \cdot \frac{U^+.U^-}{U^+ + U^-}$$

trong đó R là hằng số Clapeyron - Menledeev

T là nhiệt độ tuyệt đối của dung dịch điện ly.

F là hằng số Faraday

Tốc độ của một chất nào đó qua màng bằng con đường khuếch tán đơn giản được xác định bởi tính hoà tan của chúng trong lipid và bởi kích thước của các phân tử khuếch tán. Những chất hoà tan trong nước mà có phân tử lớn hơn 8μm (nghĩa là lớn hơn đường kính của lỗ) thì thường là không thể đi qua màng. Nhiều phân tử tích điện thường là hydrat hoá nghĩa là có bao một lớp vỏ có tích nhiều phân tử nước và cái vỏ nước ấy đã làm tăng cao "đường kính hiệu ứng" của các phân tử khuếch tán, trong trường hợp đó tốc độ khuếch tán của chúng bé hơn tốc độ khuếch tán của các ion tự do không bị hydrat hoá. Các lỗ hoạt động như thể là thành của chúng mang điện tích dương. Mỗi điện tích dương được bao bởi một vùng tích tĩnh điện như thế hướng vào lòng của lỗ. Mỗi một ion tích điện dương cũng được bao bởi một vành tích tĩnh điện và 2 điện tích cùng dấu đó đẩy nhau. Do đó mà các phân tử tích điện dương rất khó khăn và chậm chạp xuyên qua màng, cả khi kích thước của chúng nhỏ hơn 8μm.

2.1.2. Khuếch tán liên hợp: Khuếch tán liên hợp là quá trình vận chuyển vật chất qua màng theo gradien nồng độ, song các phần tử vật chất chỉ lọt được qua màng khi được gắn vào phần tử khác gọi là chất mang. Các chất glucose, glycerin, acid amin và một số chất hữu cơ khác vận chuyển theo cơ chế này. Quá trình này mang đặc tính "động học bão hoà": Khi với nồng độ phân tử chất thâm nhập ít ở trong dung dịch ngoài thì tốc độ vận chuyển của chúng vào trong tế bào là tỷ lệ thuận với nồng độ đó. Tuy nhiên khi có nồng độ cao hơn thì tỷ lệ thuận không được quan sát thấy vì chất mang đã "no" rồi. Các chất mang có tính đặc trưng, chúng chỉ có thể liên kết với một loại phân tử hoặc là phân tử khác nhưng phải có cấu trúc rất giống với loại trên. Chính vì vậy mà thực tế các phân tử đường có cấu tạo hoá học giống nhau sẽ cạnh tranh với nhau về miền liên kết với chất mang.

Phân tử chất xâm nhập vào tế bào, còn gọi là cơ chất, ký hiệu C, phân tử chất mang là M, có thể kết hợp với nhau tạo thành phức chất MC hoặc MC phân ly thành M và C:

$$M + C \rightleftharpoons MC$$

Ký hiệu nồng độ phức chất MC ở mặt trong và mặt ngoài là $[MC]_{tr}$ và $[MC]_{ng}$ thì mật độ dòng vật chất MC qua màng là:

http://tieulun.hopto.org

$$\phi = -\frac{D}{\ell}([MC]_{tr} - [MC]_{ng})$$

ϕ phụ thuộc vào các yếu tố:

– Tốc độ xuất hiện phức chất MC. Tốc độ này một phần phụ thuộc vào số phân tử cơ chất C tiếp xúc với màng trong một đơn vị thời gian, một phần phụ thuộc vào số phân tử chất mang M phân phối trong một đơn vị diện tích màng.

– Tốc độ di chuyển của phức chất MC.

– Tốc độ phân ly của phức chất MC.

Nói chung tốc độ di chuyển của phức chất nhỏ, do đó mật độ dòng của cơ chất đi vào tế bào không lớn.

Ta xét khuếch tán liên hợp ở trạng thái cân bằng động là lúc số phân tử phức chất được tổng hợp và phân ly bằng nhau. Gọi k_1 là hệ số phân ly thì số phân tử phức chất phân ly là N_1:

$$N_1 = K_1 [MC]$$

Gọi k_2 là hệ số tổng hợp thì số phân tử phức chất được tổng hợp là N_2:

$$N_2 = k_2 [C]. [M_r]$$

Trong đó $[M_r]$ là nồng độ các chất mang chưa kết hợp với cơ chất. Nếu gọi [M] là nồng độ của toàn bộ chất mang ở vùng xác định mà ta xét, $[M_g]$ là nồng độ chất mang đã kết hợp với cơ chất thì:

$$[M_r] = [M] - [M_g]$$

Hiển nhiên là: $[M_g] = [MC]$

Do đó: $[M_r] = [M] - [MC]$

$$N_2 = k_2 [C] ([M] - [MC])$$

Cân bằng động có: $N_1 = N_2$

hay $k_1 [MC] = k [C] ([M] - [MC])$

Đặt $\frac{k_1}{k_2} = k$, ta sẽ có:

$$[MC] = \frac{[M].[C]}{k + [C]}$$

Khi ấy ta có:

$$\phi = -\frac{D}{\ell}[M]\left\{\frac{[C]_{tr}}{k + [C]_{tr}} - \frac{[C]_{ng}}{k + [C]_{ng}}\right\}$$

2.1.3. Khuếch tán trao đổi: Cũng như khuếch tán liên hợp, khuếch tán trao đổi xảy ra khi có sự tham gia của chất mang, song chỉ có điều khác là phân tử chất mang

http://tieulun.hopto.org

thực hiện một quá trình vận chuyển vòng. Sau khi mang phân tử cơ chất ra phía ngoài màng tế bào rồi, phân tử chất mang lại gắn ngay với một phân tử cơ chất khác cùng loại ở ngoài màng tế bào rồi lại vận chuyển nó vào phía trong tế bào.

Dựa vào cơ chế khuếch tán này chúng ta có thể giải thích được sự vận chuyển của các ion Na^+ qua màng hồng cầu trong sự kiện do đánh dấu phóng xạ mà thấy các Na^+ của hồng cầu nhanh chóng đổi chỗ cho các Na^+ trong huyết thanh trong khi nồng độ Na^+ ở huyết thanh và trong hồng cầu không thay đổi.

2.2. Vận chuyển tích cực

Vận chuyển tích cực chỉ có thể xảy ra khi có sự tham gia của các phân tử chất mang. Các chất mang phải đặc hiệu đối với cơ chất hoặc cũng có thể không đặc hiệu (nghĩa là không nhất thiết phải cần một chất nhất định) mà có thể có nhiều chất hoá học tương tự đảm nhiệm việc "mang cơ chất").

Hai đặc trưng chính của vận chuyển tích cực là:

– Hiện tượng vận chuyển vật chất luôn xảy ra theo chiều ngược với chiều của gradien nồng độ hoặc ngược chiều gradien điện hoá khi cơ chất là các ion.

– Hiện tượng vận chuyển luôn cần được cung cấp năng lượng. Nguồn cung cấp năng lượng là từ sự phân ly glycogen hoặc do sự hô hấp hoặc từ thuỷ phân adenosin triphosphat (ATP).

Quá trình vận chuyển được gọi là tích tụ nếu dòng vật chất từ môi trường ngoài đi vào tế bào, gọi là xuất tiết nếu vật chất từ tế bào đi ra môi trường ngoài.

Có thể chia vận chuyển tích cực ra thành 3 cơ chế:

– Chuyển dịch nhóm: ở đây cơ chất được vận chuyển bị thay đổi qua sự tạo thành những liên kết đồng hoá trị mới, năng lượng để vận chuyển bằng năng lượng cần thiết để tạo ra cơ chất.

– Vận chuyển tích cực tiên phát là tạo ra những liên kết đồng hoá trị mới trong chất mang, năng lượng để vận chuyển diễn ra bằng năng lượng cần thiết để làm thay đổi hình dáng chất mang.

– Vận chuyển tích cực thứ phát: ở đây cơ chất đầu được vận chuyển một cách tích cực, ví dụ: Na^+ tạo ra thế năng gradien điện hoá, mà thế năng này hướng sự vận chuyển của cơ chất thứ hai, thí dụ như đường, acid amin, theo gradien này.

Dưới đây trình bày về vận chuyển $Na^+ – K^+$ (thuộc loại cơ chế vận chuyển tích cực tiên phát) là thí dụ điển hình của vận chuyển tích cực. Đây là sự vận chuyển các ion Na^+ và K^+ theo chiều ngược lại gradien điện hoá, chuyển vận này chỉ xảy ra khi có mặt ATP và các ion Mg^{++}, đồng thời khi ấy ATP thuỷ phân giải phóng năng lượng. Qua tính toán Hodgkin thấy rằng năng lượng giải phóng ra do quá trình phân huỷ 1 mol ATP có thể đủ để vận chuyển 1 mol ion dương chống lại gradien điện hoá. Sự hao tổn năng lượng lớn như vậy chỉ đúng với trường hợp vận chuyển của các ion H^+ qua màng tế bào dạ dày. Còn đối với vận chuyển Na^+ thì cứ 1 mol ATP vận chuyển được 3 mol Na^+ và trong hồng cầu gần 2 mol K^+ đi vào thì có 3 mol Na^+ đi ra.

http://tieulun.hopto.org

Cơ chế vận chuyển các ion Na^+, K^+ có thể giải thích bằng sơ đồ sau:

1. $M_1 + Na^+ + MgATP \rightleftharpoons NaM_1 \sim P\ Mg^{++} + ADP$
2. $NaM_1 \sim P \overset{x}{\rightleftharpoons} MaM_2 \sim P$
3. $NaM_2 \sim P \rightleftharpoons M_2 \sim P + Na^+$
4. $M_2 \sim P + K^+ \rightleftharpoons KM_2 \sim P$
5. $KM_2 \sim P \overset{y}{\rightleftharpoons} KM_1 \sim P$
6. $KM_1 \sim P \rightleftharpoons M_1 + P + K^+$

Ở giai đoạn (1) Na^+ gắn vào chất mang M_1, chất mang này xuất hiện cùng với MgATP ở mặt trong của màng tế bào. Quá trình phosphoryl hoá xảy ra, cung cấp năng lượng cho phức hợp "Na - chất mang" là $NaM_1 \sim P$ lọt qua màng tế bào. Do tác dụng của lượng chất x ở mặt ngoài màng tế bào, cấu trúc của phức hợp $NaM_1 \sim P$ bị biến đổi thành phức hợp $NaM_2 \sim P$ trong giai đoạn (2) tức là M_1 bị biến thành M_2. Do chất mang M_2 gắn rất yếu với Na^+ nên phức hợp này bị phân ly trong giai đoạn (3) và Na^+ đi ra môi trường ngoài. Ở giai đoạn (4) chất mang M_2 gắn với K^+ ở mặt ngoài màng tế bào tạo thành phức hợp $KM_2 \sim P$, phức hợp này đi vào phía trong tế bào. Trong giai đoạn (5), ở mặt trong tế bào, do tác dụng của chất y, phức hợp $KM_2 \sim P$ biến thành $KM_1 \sim P$, tức là M_2 biến đổi thành M_1. Do ái lực hoá học của M_1 với K^+ nhỏ (lớn đối với Na^+) nên phức hợp phân ly trong giai đoạn (6) giải phóng K^+ và P vào trong tế bào. Quá trình sau đó được tiếp diễn từ đầu.

Như vậy quá trình vận chuyển tích cực Na^+ và K^+ luôn xảy ra đồng thời với sự thuỷ phân ATP. Các kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng để xảy ra sự thuỷ phân ATP cần phải có một loại men đặc hiệu là adenosin triphosphatase. Do chất men này chỉ có hoạt tính tối đa khi có mặt các ion Na^+, K^+ nên ta thường gọi chất men đó là Na^+ K^+ - adenosin triphosphatase hay chất vận chuyển adenosin triphosphatase. Người ta cũng tìm thấy là: nếu ở 2 phía của màng tế bào có sự phân bố không đồng đều các ion K^+, Na^+ thì nhất thiết ở trong màng tế bào phải có men adenosin triphosphatase.

2.3. Thực bào và ẩm bào

Một quá trình vận chuyển vật chất khác bổ sung cho vận chuyển thụ động và tích cực là hiện tượng thực bào và ẩm bào. Ở hiện tượng này, các chất hoà tan trong nước, các protein và các hạt gồm một số phân tử khá lớn có thể xâm nhập vào tế bào nhờ chức năng tích cực của màng tế bào mà không cần khuếch tán qua lỗ màng.

Màng tế bào có đặc tính là có khả năng bắt giữ các vật liệu khác nhau nằm bên ngoài tế bào, chúng hình thành nên các chỗ lồi, bao lấy vật liệu nào đấy trong môi trường và cuối cùng khép kín lại và như vậy vật liệu đó đã đi sâu vào trong tế bào. Các không bào được tạo thành bằng cách như vậy đi sâu vào trong tế bào chất, ở đây chất chứa trong không bào sẽ bị xử lý. Trong kiểu vận chuyển vật chất từ môi trường vào trong tế bào như thế thì tính toàn vẹn của màng tế bào không hề bị phá

http://tieulun.hopto.org

huỷ. Quá trình đó được gọi là thực bào - khi các không bào lớn được tạo thành có chứa các phần tử có hình dạng nhất định và được gọi là ẩm bào (hay uống bào) nếu như không bào rất bé chỉ chứa các chất hoà tan.

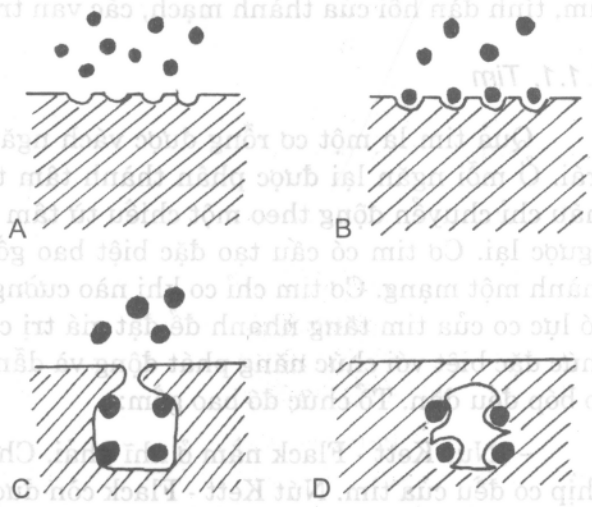
Khả năng thực bào không những chỉ có ở các vi sinh vật mà còn thấy ở một số loại tế bào của sinh vật đa bào. Ở động vật có vú, các bạch cầu hạt hoặc các tế bào có nguồn gốc trung bì (hệ võng mạc nội mô) có khả năng thực bào. Hiện tượng thực bào bị chi phối chủ yếu bởi các yếu tố hoá lý như tương tác hoá học, điện tích bề mặt của màng và của các hạt.

Hiện tượng ẩm bào thường xảy ra khi trong môi trường có các chất hoà tan đặc trưng như protein, các acid amin, kiềm hoà tan... Khi đó, ở amip sẽ hình thành các chân giả ngắn và trong mỗi chân giả sẽ xuất hiện các rãnh có hình sóng chạy từ đỉnh đến phần gốc chân giả ở phần cuối cùng của rãnh, không bào được hình thành và về sau không bào này tách khỏi chân giả và đi sâu vào tế bào chất. Đối với tế bào động vật bậc cao thì khi ẩm bào cũng xảy ra chuyển động hình sóng của màng, nhưng không hình thành các rãnh, các không bào được tạo thành sẽ dính với các phân tử protein tập trung ở trên màng (lớp protein này có nồng độ gấp đến 50 lần nồng độ dung dịch protein ở môi trường). Sau đó màng lõm vào trong tế bào và hình thành các bóng riêng biệt. Hình 2.31 là cơ chế giả thiết của ẩm bào. Các phân tử protein (A, vòng đen) ở dung dịch bên ngoài sẽ liên kết với những phần đặc trưng trên bề mặt của màng tế bào (B) sau đó màng lõm vào (C) và tạo thành các bóng bào chất (D) có chứa các phân tử bị bắt giữ.

Quá trình thực bào và ẩm bào giống quá trình vận chuyển tích cực ở chỗ là chỉ xảy ra khi được cung cấp năng lượng (nguồn năng lượng cũng là ATP) và là cơ chế vận chuyển có chọn lọc qua màng tế bào. Cơ chế này đã cho phép giải thích các phân tử lớn hoà tan trong nước qua màng, thí dụ các phân tử protein hoặc acid nucleic.

Ta cần chú ý thêm rằng ở quá trình thực bào và ẩm bào, tế bào hấp thụ cả chất độc. Các chất đưa vào trong tế bào được tiêu hoá bằng các loại men có trong thành phần của màng hoặc bằng các men có khả năng phân huỷ rất cao chứa trong các hạt lyzosom.

Ngoài ra còn có quá trình ngược lại trong đó các không bào có màng bao bọc sẽ bị dính vào màng và các chất chứa trong không bào sẽ bị bài tiết ra ngoài, đặc biệt là ở các tế bào tiết thường được gọi là quá trình bài xuất.



Hình 2.32

http://tieulun.hopto.org

Nhờ có màng tế bào với các dạng vận chuyển vật chất thụ động, chủ động, thực bào và ẩm bào mà tế bào trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh. Sự trao đổi vật chất dưới dạng nào cũng phải tiêu tốn năng lượng: đó là năng lượng dự trữ dưới dạng các gradien hoặc năng lượng của sự thuỷ phân ATP một cách chủ động theo yêu cầu của hoạt động sống. Hoạt động của màng tế bào như vậy có thể coi là một dấu hiệu quan trọng trong những dấu hiệu biểu thị hoạt động sống.

4. Sự vận chuyển máu

Các dịch sinh lý của cơ thể có nhiệm vụ mang đến cho các bộ phận, cơ quan khác nhau của cơ thể những vật chất cần thiết cho hoạt động của chúng và nhận từ đấy những vật chất cần thải ra và những chất là kết quả hoạt động của chúng. Trong các dịch này máu đóng vai trò quan trọng nhất. Nó còn có vai trò điều hoà thân nhiệt. Ta hãy tưởng tượng là chỉ cần máu trong cơ thể ngừng chảy một thời gian ngắn thôi: cái chết sẽ đến! Vì vậy các bệnh về tim mạch vẫn là nguyên nhân tử vong chính của loài người.

Trong hệ tuần hoàn máu, tim và mạch máu là những đối tượng quan trọng nhất, đóng vai trò động lực.

4.1. Sơ lược về tính chất vật lý của hệ tuần hoàn

Hệ tuần hoàn máu có 2 vòng khép kín: vòng tiểu tuần hoàn chuyển máu từ phần tim phải đến phổi (hình 2.33). Ở đó máu hấp thụ O_2 và đào thải CO_2 rồi chảy về tim. Vòng đại tuần hoàn đưa máu từ tim trái qua hệ thống động mạch xuống tất cả các phủ tạng, tổ chức, cơ quan của cơ thể. Ở đấy máu cung cấp O_2, lấy CO_2 và trao đổi các vật chất cần thiết rồi cuối cùng qua hệ tĩnh mạch về tim phải. Như vậy máu ra khỏi tâm thất trái, qua hệ thống động mạch, mao mạch, tĩnh mạch rồi đổ vào tâm nhĩ phải. Trong buồng tim, máu theo chiều nhất định nhờ sự co bóp của tim, tính đàn hồi của thành mạch, các van trong buồng tim và trong lòng mạch.

4.1.1. Tim

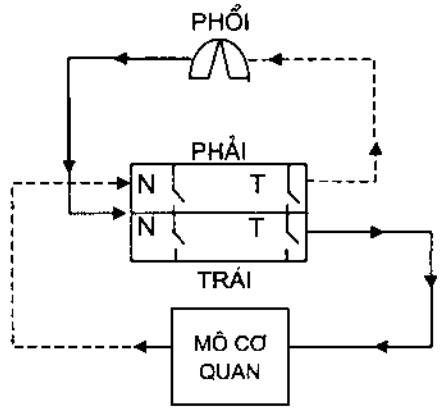
Quả tim là một cơ rỗng được vách ngăn chia thành hai nửa: tim phải và tim trái. Ở mỗi ngăn lại được phân thành tâm thất và tâm nhĩ nhờ van. Van làm cho máu chỉ chuyển động theo một chiều từ tâm nhĩ xuống tâm thất mà không có chiều ngược lại. Cơ tim có cấu tạo đặc biệt bao gồm những sợi cơ vân liên kết với nhau thành một mạng. Cơ tim chỉ co khi nào cường độ kích thích đạt quá "ngưỡng" và khi đó lực co của tim tăng nhanh để đạt giá trị cực đại ngay. Trong cơ tim có cấu tạo tổ chức đặc biệt với chức năng phát động và dẫn truyền xung động để kích thích cơ tim co bóp đều đặn. Tổ chức đó bao gồm:

– Nut Kett - Flack nằm ở nhĩ phải. Chính đây là nơi xuất phát các kích thích nhịp co đều của tim. Nút Kett - Flack còn được gọi là nút xoang nhĩ.

– Nút Tawara còn gọi là nút nhĩ thất. Xung động truyền từ nút Kett - Flack dọc theo cơ nhĩ đến nút Tawara.

http://tieulun.hopto.org

– Bó Hiss gồm hai nhánh phân ra hai tâm thất. Đây là đường độc nhất để xung động truyền sang tâm thất. Nó có hai nhánh lớn và phân chia thành nhiều nhánh nhỏ gọi là nhánh Pourkinger. Xung động theo nhánh Pourkinger tới khắp tâm thất và xuống tới mỏm tim. Tuy vậy phần nào tim vẫn chịu sự điều hoà của cơ thể qua hệ thần kinh trung ương và qua các nội tiết tố, các ion kim loại hiếm trong cơ thể...



Hình 2.33

Quả tim co bóp một cách đều đặn. Điều đáng chú ý ở đây là hoạt động co giãn cơ tim tuần tự theo chiều dọc từ nhĩ xuống thất nhưng lại đồng thời với nhau theo chiều ngang, nghĩa là hai nhĩ và hai thất co hoặc giãn đồng thời, nhưng sau khi tâm nhĩ co rồi mới đến tâm thất co. Quá trình đó được lặp đi lặp lại theo một chu kỳ điều hoà. Như vậy chu kỳ hoạt động của tim khởi đầu là một hoạt động co giãn ở tâm nhĩ, qua tâm thất cho đến khi hoạt động đó xuất hiện trở lại ở tâm nhĩ. Chu kỳ đó bao gồm các hoạt động tâm nhĩ thu (co), tâm thất thu, tâm nhĩ trương (giãn) và tâm thất trương. Thời gian tồn tại các hoạt động này tuỳ thuộc vào nhịp đập của tim. Ở người bình thường mỗi chu kỳ chiếm khoảng 0,8s, trong đó tâm nhĩ thu hết 0,1s và tâm nhĩ trương hết 0,7s; còn tâm thất thu hết 0,3s và tâm thất trương hết 0,5s. Thực ra tâm thất thu có hai giai đoạn; giai đoạn tăng áp chiếm 0,25s (lúc này trương lực cơ tăng lên nhưng sợi cơ chưa rút ngắn) và giai đoạn đẩy máu (lúc này máu được đẩy ra tối đa vì sợi cơ rút lại ngắn nhất). Giai đoạn đẩy máu chỉ chiếm 0,05s.

Có thể quan niệm đơn giản là: Một chu kỳ hoạt động của tim bao gồm một tâm thu kéo dài 0,4s và một thời kỳ tâm trương kéo dài 0,4s. Tim hoạt động đều đặn như vậy tạo nên nhịp điệu khoảng 60 - 80 lần co giãn/phút. Đôi khi do tình trạng đặc biệt tần số đó sẽ thay đổi nhưng các giai đoạn trong một chu kỳ vẫn có tỷ lệ nhất định.

Hoạt động của tim trước hết để cung cấp cho máu một áp suất nhất định. Do tâm thất co bóp, máu từ thất trái vào động mạch chủ và từ thất phải vào động mạch phổi. Khi tâm thất dãn, máu từ hai tâm nhĩ chảy xuống hai tâm thất. Người ta thấy khi tâm thất trái co áp suất trong đó lên đến 120 - 150 Tor (1 Tor = 1 mmHg), khi tâm thất trái giãn áp suất trong đó chỉ còn 50 - 80 Tor.

Tim co bóp được là nhờ hoạt động của các sợi cơ tim. Các quan sát cho thấy trong thời kỳ tâm trương sợi cơ tim càng giãn dài thì khi co lại cho một giá trị lực càng lớn. Đó là quy luật Starling. Nguyên nhân là cho sợi cơ tim được kéo dài ra trước khi co là sự giãn nở của cơ tim dưới tác dụng của lượng máu chứa trong tim. Ở thời kỳ tâm trương máu tĩnh mạch đổ về tim phải và tim trái làm chúng căng phồng lên. Các buồng tim có thể coi như có dạng cầu. Khi máu chứa đầy buồng tim các sợi cơ được giãn dài ra dưới tác dụng của lực F do khối lượng máu chứa trong buồng tim gây ra. Giá trị của lực được xác định:

http://tieulun.hopto.org

$$F = p.S$$

p là áp suất trong buồng tim. S là diện tích mặt trong buồng tim. Vì nó được coi như dạng cầu có bán kính R nên:

$$S = 4\pi R^2 \qquad \text{và} \qquad V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

Như vậy giá trị lực F đạt cực đại khi máu về buồng tim nhiều nhất. Lúc đó giá trị p tăng và buồng tim được giãn rộng nhất làm cho giá trị S tăng lên.

Ở người bình thường, cuối tâm trương thể tích tâm thất là 85ml, nhưng cuối tâm thu giá trị đó là 25ml; do đó lực F cũng biến thiên theo thời gian tuỳ giá trị S. Người ta đã đo được là lúc đầu tâm thu, giá trị lực toàn phần của cơ tim là 89 N, ở cuối tâm thu giá trị đó là 67 N.

Do vậy mỗi lần tim co bóp, một lượng máu được lấy ra với một áp suất gần bằng áp suất trong buồng thất trái (120 - 150 Tor). Lượng máu được tim đẩy ra phụ thuộc vào sức co bóp của tim. Dùng phương pháp pha loãng với các chất màu hay đồng vị phóng xạ đánh dấu người ta xác định được là lượng máu được đẩy ra mỗi lần tim co bóp khoảng 40 - 70 ml tức là khoảng 4 - 6 l/phút.

4.1.2. Mạch máu

a. Cấu tạo thành mạch: Hệ thống mạch máu trong cơ thể rất dầy đặc và phân bố tương đối đồng đều. Các mạch máu được phân nhánh nhiều lần và có kích thước rất khác nhau. Động mạch chủ và tĩnh mạch chủ có đường kính lớn nhất, còn đường kính của mao mạch là bé nhất. Thành mạch được cấu tạo bởi nhiều lớp. Thành phần chủ yếu của thành động mạch lớn là tổ chức liên kết có các sợi đàn hồi và các thớ cơ trơn. Trong thành động mạch lớn rất ít thớ cơ và có nhiều sợi đàn hồi, còn ở các động mạch nhỏ thì lớp cơ trơn nhiều hơn. Lớp cơ trơn có khả năng giữ một thế co nhất định và kéo dài trong một thời gian đáng kể để tạo nên trương lực cơ. Tình trạng trương lực cơ quyết định tiết diện của ống mạch. Sự co giãn của cơ trơn để thay đổi tiết diện lòng mạch được điều khiển bởi hệ thần kinh thực vật và các nội tiết tố. Một số nội tiết tố như adrenalin, vasopressin... có tác dụng làm co mạch, ngược lại một số chất như: acetylcholin, histamin lại làm giãn mạch. Các chất này không những chỉ tác dụng lên cơ trơn ở động mạch mà còn tác dụng lên hệ thống mao mạch nữa. Thành mao mạch được cấu tạo bởi một lớp nội bào và sự co giãn của nó ảnh hưởng đến tính thấm của mao mạch đối với vật chất.

Ngoài ra trong lòng mạch còn có một hệ thống van. Hệ thống van của động mạch làm cho máu chỉ chảy theo hướng từ tim đi các nơi, nghĩa là từ mạch máu lớn về mạch máu nhỏ mà không chảy ngược lại được. Ở các tĩnh mạch lớn cũng có một hệ thống van. Các van tĩnh mạch làm cho dòng máu chỉ chảy được từ các tĩnh mạch nhỏ về tĩnh mạch lớn rồi về tim. Van trong hệ thống tĩnh mạch cũng rất quan trọng bởi vì do tư thế của cơ thể, có lúc dòng máu tĩnh mạch phải chảy ngược với chiều của trọng lực.

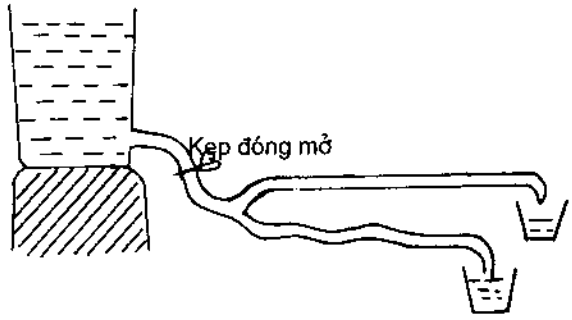
b. Tác dụng đàn hồi của thành động mạch: Thành động mạch đóng vai trò quan trọng để duy trì dòng chảy liên tục và tăng thêm áp suất dòng chảy. Thí

http://tieulun.hopto.org

nghiệm sau đây (hình 2.34) cho ta rõ tác dụng đàn hồi của thành ống. Người ta nối một cái bình đựng nước với 2 ống có kích thước giống nhau, một ống có thành cứng (thuỷ tinh) và một ống có thành đàn hồi (cao su). Cho kẹp tháo mở liên tục và quan sát thấy:

- Trong ống cứng: chuyển động của chất lỏng thành dòng ngắt quãng theo nhịp kẹp đóng mở, lưu lượng chảy ít hơn.

- Trong ống có thành đàn hồi: dòng chảy liên tục và lưu lượng lớn hơn. Trong thành ống xuất hiện sóng đàn hồi có thể quan sát được vì tốc độ truyền sóng khá chậm (10 - 18m/s).



Hình 2.34

Mỗi lần kẹp mở, chất lỏng được cung cấp một áp suất để chuyển động, đồng thời thành ống đã nhận một phần năng lượng để giãn rộng ra. Như vậy sự biến dạng đàn hồi của thành ống đã đóng một vai trò quan trọng trong chuyển động chất lỏng ở ống cao su. Chuyển động máu trong các mạch máu cũng vậy. Biến dạng đàn hồi là sự thay đổi hình dạng mà vật sẽ trở về trạng thái cũ khi lực ngoài không còn tác dụng nữa. Như thế nghĩa là khi ngắt lực tác dụng thì vật trở về dạng cũ.

Để đặc trưng cho sự biến dạng đàn hồi người ta dùng độ biến dạng tương đối $\frac{\Delta\ell}{\ell}$ trong đó ℓ là chiều dài vật và $\Delta\ell$ là sự biến dạng theo chiều dài của vật. Trong một phạm vi nhất định, độ biến dạng tương đối $\frac{\Delta\ell}{\ell}$ của chiều dài tỷ lệ thuận với lực tác dụng F và tỷ lệ nghịch với tiết diện của bề dày S của thành ống. Đại lượng $\frac{F}{S}$ gọi là suất lực tác dụng P. Như vậy có thể viết:

$$\frac{\Delta\ell}{\ell} = k\frac{F}{S} \qquad \text{hoặc} \qquad \frac{\Delta\ell}{\ell} = k.P \qquad (2.23)$$

k là hệ số đàn hồi.

Người ta còn dùng đại lượng nghịch đảo của hệ số đàn hồi để diễn đạt khả năng đàn hồi của vật gọi là mô đun đàn hồi hay là mô đun Young E của vật.

$$E = \frac{1}{k} \qquad (2.24)$$

Từ đó ta có: $\frac{\Delta\ell}{\ell} = \frac{1}{E}.P$

Khi suất lực P do tim gây ra tác dụng vào đoạn mạch có độ dài ℓ_0 làm cho thành mạch giãn ra và có một chiều dài mới là ℓ.

http://tieulun.hopto.org

$$\ell = \ell_0 + \Delta\ell$$

Từ công thức (2.23) ta thấy:

$$\Delta\ell = k\ell_0.P$$

Độ dài của đoạn mạch sẽ là:

$$\ell = \ell_0(1 + k.P)$$

Từ công thức (2.23) và (2.24) ta có:

$$\frac{\Delta\ell}{\ell} = \frac{F}{E.S}$$

Do vậy lực đặt lên thành mạch tại một điểm nhất định bằng:

$$F = \frac{E.S}{\ell}.\Delta\ell$$

Qua đó ta thấy trong thời gian biến dạng, lực không phải là một hằng số mà biến thiên tỷ lệ với độ dài $\Delta\ell$ ở từng thời điểm.

Công thực hiện do sự biến dạng sẽ được tính theo giá trị trung bình $\overline{F}$.

$$A = \overline{F}.\Delta\ell$$

Vì lực F tăng tỷ lệ bậc nhất với $\Delta\ell$ nên giá trị $\overline{F}$ có thể coi là trung bình cộng của giá trị cực tiểu F = 0 và cực đại F. Vì vậy ta có:

$$F = \frac{1}{2}\frac{(ES)}{\ell}\Delta\ell$$

Do đó:

$$A = \frac{1}{2}.\frac{ES}{\ell}\Delta\ell^2$$

Công này tạo ra thế năng E_t của biến dạng đàn hồi với

$$E_t = \frac{1}{2}\frac{ES}{\ell}.\Delta\ell^2 \qquad (2.25)$$

Vậy thế năng của thành mạch tỷ lệ với bình phương của độ biến dạng ($\Delta\ell^2$).

Qua công thức (2.25) ta thấy mạch giãn càng rộng ($\Delta\ell$ càng lớn) thì thế năng dự trữ càng lớn. Thế năng này rõ ràng có giá trị biến thiên tuỳ thuộc vào $\Delta\ell$ ở từng thời điểm. Ở thời kỳ tim không co bóp áp suất dòng chảy giảm xuống dần. Thế năng ở thành mạch sẽ cung cấp áp suất cho dòng chảy liên tục và điều hoà trong suốt cả thời kỳ tâm trương.

Kèm theo sự lan truyền áp suất dọc theo thành mạch là sóng mạch. Sóng mạch có thể cảm giác được dưới tay. Tốc độ sóng mạch ở động mạch chủ là 4m/s - 5m/s tức là sau một co bóp của tim (tâm thu) kéo dài tới 0,3s sóng mạch đã lan truyền được 1,2 - 1.5m. Tốc độ lan truyền của sóng mạch không liên quan đến tốc độ chảy của máu trong lòng mạch. Ở người lớn tuổi, do các thay đổi về thành phần

http://tieulun.hopto.org

và cấu tạo của thành mạch, tính đàn hồi bị giảm đi và do vậy tốc độ lan truyền của sóng mạch cũng tăng lên.

c. Trương lực của mạch máu - Huyết áp động mạch: Máu luôn luôn lưu thông trong hệ tuần hoàn. Xét ở một đoạn mạch ta thấy áp suất từ trong lòng mạch tác động ra thành chủ yếu là áp suất thuỷ tĩnh. Nếu không có áp suất tác dụng ngược lại thì thành mạch dãn nở tối đa, có thể làm vỡ mạch. Có lực chống lại đó là nhờ cấu trúc của thành mạch và các yếu tố sinh học phức tạp khác, ở đây ta gọi chung là áp lực của mô. Tuy thế ở động mạch bao giờ cũng tồn tại sự chênh lệch giữa 2 giá trị đó để cho máu lưu thông:

$$p = p_i - p_e > 0$$

p_i là áp suất từ trong lòng mạch ra, p_e là áp suất ngoài vào. Ở trạng thái cân bằng thành mạch phải có một lực chống lại p đó, p đó được gọi là áp suất của thành mạch và là nguồn gốc của trương lực của mạch máu.

Mạch máu có hình trụ với bán kính r và nếu xét trên một đơn vị chiều dài thì lực từ trong ra tác dụng vào toàn bộ thành của đoạn mạch đó là:

$$F_i = 2\pi r.p_i$$

Ta suy luận ra lực tác dụng từ ngoài vào là $F_e = 2\pi r p_e$ và giá trị lực của thành mạch sẽ là:

$$2\pi rp = 2\ \pi r\ (p_i - p_e)$$

Lực đó do các sợi đàn hồi và tổ chức liên kết trong thành mạch thực hiện. Ở đây cần phải dùng đến khái niệm trương lực của thành mạch T.T được biểu diễn bằng dyn/cm hoặc Newton/m.

Để đánh giá được giá trị T ở trạng thái cân bằng ta hình dung như sau: Nếu áp suất p tăng lên làm giãn lòng mạch ra đoạn dr, công đã thực hiện được một giá trị $2\pi pdr$, diện tích thành đoạn mạch đó đạt giá trị $2\pi\ (r + dr)$ và năng lượng để thực hiện công đó đã tăng lên một giá trị dE.

Trương lực chính là giá trị năng lượng tác động lên một đơn vị diện tích thành mạch hay là lực căng tác động trên một đơn vị chiều dài:

$$T = \frac{F}{L} = \frac{E}{S} \longrightarrow E = T.S$$

Do vậy ta có: $dE = T.\ 2\pi dr$

Sự cân bằng đạt được khi giá trị năng lượng của lực căng đó cân bằng với giá trị năng lượng của lực co:

$$T = dE/2\pi dr = 2\pi rpdr/2\pi dr$$

Hay $$T = pr \qquad (2.26)$$

http://tieulun.hopto.org

T biểu thị huyết áp động mạch và hoàn toàn không phải là áp suất dòng chảy trong lòng mạch. Theo công thức (2.26) huyết áp của một động mạch nào đó là tích số của áp suất thành mạch ở đó nhân với bán kính r của nó. Cần nhắc lại rằng áp suất thành mạch là hiệu số của áp suất từ trong lòng mạch ra trừ đi áp suất từ ngoài tổ chức vào. Hiệu số đó nói lên khả năng đàn hồi của thành mạch. Chính vì vậy khi thành mạch bị biến chất, tính đàn hồi thay đổi thì huyết áp cũng thay đổi mặc dầu áp suất dòng chảy trong lòng mạch không thay đổi. Tất nhiên tất cả các yếu tố ảnh hưởng dẫn đến áp suất dòng chảy trong lòng mạch như sự co bóp của tim, lưu lượng và thể tích máu... đều ảnh hưởng đến huyết áp. Để hiểu rõ hơn các khái niệm về áp suất bên trong và trương lực của thành mạch ta phải nhớ lại định luật Laplace đã nêu ở trên.

Có nhiều hệ quả của công thức (2.26) nhưng quan trọng nhất là các hệ quả sau đây:

– Với một giá trị T xác định, bán kính r càng bé thì giá trị áp suất thành ống p càng lớn. Như thế nghĩa là chất lỏng chảy với áp suất lớn, những ống có bán kính bé chịu đựng tốt hơn các ống lớn.

– Công thức (2.26) cũng chỉ là một trường hợp riêng của định luật Laplace bởi vì công thức của Laplace là:

$$p = T(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2})$$

Ở mạch máu, vì là hình trụ, một giá trị r được coi là vô cùng. Do vậy công thức trên chỉ còn là:

$$p = T(\frac{1}{r}) \qquad \text{hay là} \quad T = p.r$$

4.2. Sự thay đổi của áp suất và tốc độ chảy của máu trong các đoạn mạch

Các thực nghiệm cho thấy máu chảy với tốc độ không giống nhau ở các nơi. Tốc độ chảy của máu ở động mạch chủ là 10 - 20 m/s động mạch cổ là 5,2 m/s. Lúc xuống mao mạch tốc độ chỉ còn là 5 mm/s. Theo định luật Bernoulli, chúng ta hiểu rằng ở mao mạch, do tốc độ chảy rất chậm nên khả năng trao đổi thể dịch giữa máu và tổ chức xung quanh đã tăng lên vì ở đây áp suất thuỷ lực tăng lên nhiều và tốc độ chảy giảm xuống thấp nhất.

Tuy vậy khi về đến tĩnh mạch đùi, tốc độ chảy của máu là 4,5 cm/s, tĩnh mạch cổ là 14,7cm/s. Như vậy tốc độ chảy của máu giảm dần từ động mạch lớn đến mao mạch rồi lại tăng dần từ mao mạch đến tĩnh mạch. Ta biết khối lượng máu chảy qua các đoạn mạch đều giống nhau, nghĩa là ở các đoạn đó vẫn đảm bảo quy luật tích số giữa vận tốc máu chảy và tiết diện lòng mạch là không đổi. Do đó vận tốc chảy của máu nơi có tiết diện nhỏ cao hơn nơi có tiết diện lớn. Cần lưu ý ở đây là tiết diện của các mạch không phải là tiết diện của một mạch riêng biệt mà là tổng tiết diện của tất cả các mạch ở từng phần. Tuy tiết diện của một tiểu động mạch nhỏ hơn động mạch chủ nhưng do phân thành nhiều nhánh nên tổng tiết diện của tiểu động mạch lớn hơn của động mạch chủ và ngược lại tổng tiết diện của tiểu động

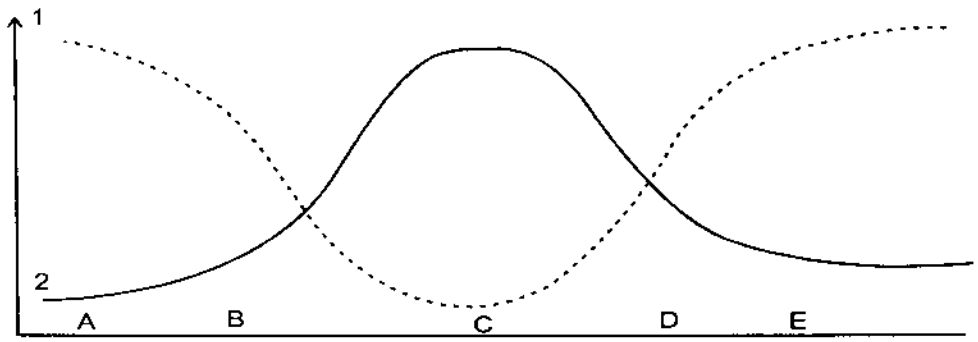
http://tieulun.hopto.org

mạch lại nhỏ hơn của mao mạch. Các đo đạc cụ thể cho thấy tổng tiết diện tăng dần từ động mạch chủ đến mao mạch rồi giảm dần từ mao mạch đến tĩnh mạch chủ. Tổng tiết diện của mao mạch lớn gấp 400 - 800 lần tiết diện của động mạch chủ và bằng 200 - 400 lần tổng tiết diện của các tĩnh mạch nhỏ. Do đó tốc độ chảy máu không giống nhau ở các đoạn mạch.

Người ta cũng chứng minh được rằng thể tích chất lỏng hay tốc độ dòng chảy, áp suất chảy phụ thuộc vào chiều dài ống mà dịch chảy qua. Khối lượng máu chảy qua đoạn mạch trong một đơn vị thời gian sẽ lớn khi đường kính lớn, chiều dài ngắn và ngược lại. Cũng có thể biểu diễn độ chênh lệch áp suất Δp ở hai đầu một đoạn mạch để hiểu rõ những yếu tố ảnh hưởng đến áp suất đó theo công thức (2.21)

$$\Delta p = \frac{8\eta \ell Q}{\pi R^4}$$

η là hệ số nhớt của máu, Q là lưu lượng máu, ℓ là chiều dài và R là bán kính lòng mạch. Ở đây chỉ mới lưu ý đến yếu tố hình học (ℓ và r) của đoạn mạch. Như vậy độ chênh lệch áp suất Δp lớn khi máu chảy qua một đoạn mạch dài và hẹp, ngược lại độ chênh lệch áp suất đó nhỏ khi máu chảy qua đoạn mạch rộng và ngắn. Cần phải hiểu Δp là sự chênh lệch áp suất chảy giữa hai đầu đoạn mạch liên quan với lực ma sát giữa dòng chảy và thành mạch. Độ chênh lệch này càng lớn sẽ làm cho áp suất ở đầu cuối đoạn mạch càng xuống thấp.



Hình 2.35

Tương quan của tốc độ chảy của máu (1) và tổng tiết diện của lòng mạch (2)

A: Động mạch lớn B: Động mạch nhỏ

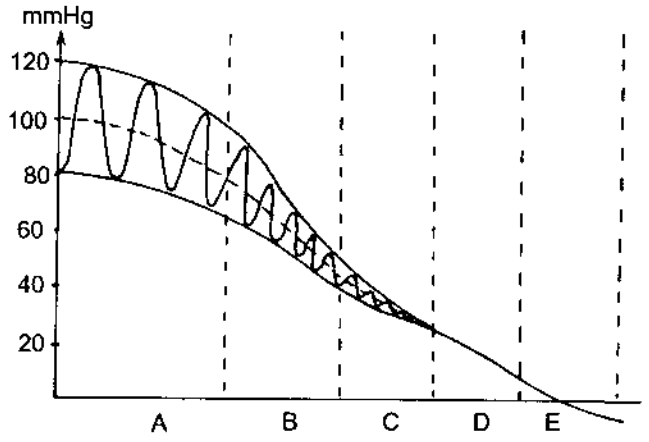
C: Mao mạch D: Tĩnh mạch

E: Tĩnh mạch chủ nơi đổ vào tim

Trong hệ tuần hoàn, độ chênh lệch áp suất giữa 2 đầu đoạn mạch đó sẽ khác nhau tuỳ thuộc vào đoạn mạch đó là động mạch, mao mạch hay tĩnh mạch. Mạch càng xa tim giá trị ℓ càng lớn và mạch càng phân nhánh nhiều. Lòng mạch có bán kính R càng bé làm cho áp suất chảy ngày càng giảm xuống. Ở người bình thường chiều dài tổng cộng các mạch lên tới trên 10000 km.

http://tieulun.hopto.org

Hình 2.35 và 2.36 cho thấy sự thay đổi của áp suất và tốc độ chảy của máu trong các đoạn mạch. Một trong những nguyên nhân chủ yếu của sự thay đổi đó là sự phân nhánh của các mạch máu.



Hình 2.36

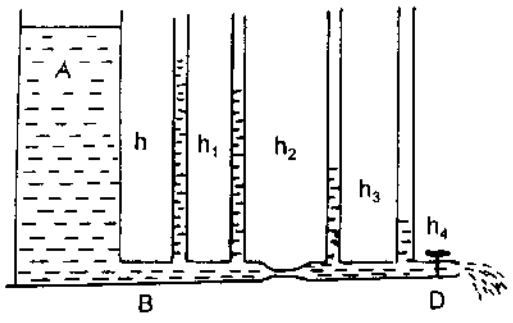
Sự thay đổi áp suất máu trong các đoạn mạch

A, B, C, D, E như ở hình 2.13

1. Áp suất tâm thu
2. Áp suất tâm trương

Hệ thống mạch máu trong cơ thể đi từ tim gồm động mạch chủ, các động mạch lớn, động mạch nhỏ rồi đến mao mạch, tĩnh mạch nhỏ, tĩnh mạch lớn và tĩnh mạch chủ. Mạng động mạch càng xa tim càng phân nhánh nhiều. Vì vậy áp suất dòng chảy ngày càng giảm dần, chúng ta khảo sát vấn đề này kỹ hơn qua thí nghiệm đơn giản sau đây (hình 2.37).

Bình A đựng đầy nước đến độ cao h, ống BD nối vào đáy bình và có các ống nhánh 1,2,3,4... có tiết diện giống nhau. Ở độ cao h, nước trong bình A có một thế năng nhất định. Thế năng này tạo cho nước ở đáy bình một áp suất. Nếu vòi D khoá kín, nước trong bình A không chảy được và thế năng không chuyển sang dạng động năng của dòng chảy, mực nước trong các ống 1,2,3... sẽ bằng mực h ở bình A.



Hình 2.37. Ảnh hưởng của sức cản thành mạch (lực ma sát) lên áp suất máu

Nếu vòi D mở cho nước chảy ra thì mực nước trong các ống 1,2,3... sẽ giảm dần. Như vậy là đã có một sự giảm thế năng của nước thể hiện ở các

http://tieulun.hopto.org

độ cao h_1, h_2, h_3... thấp dần so với độ cao h. Thế năng hao hụt đó dùng để tạo nên tốc độ chảy và để thắng lực cản của thành ống, trong đó phần lớn năng lượng dùng để thắng lực cản, còn phần rất nhỏ để tạo tốc độ cho dòng chảy. Sức cản càng lớn thì sự hao hụt thế năng càng lớn thể hiện ở mức nước càng xuống thấp dần. Đặc biệt mức nước ở cột 3 thấp hơn mức nước ở cột 2 nhiều do eo thắt E đã làm tăng sức cản của thành ống lên. Qua đó ta thấy sự phân nhánh càng nhiều, lực ma sát của thành mạch càng tăng làm cho áp suất chảy của máu trong hệ tuần hoàn càng giảm. Áp suất máu ở động mạch chủ khoảng 130 - 150 Tor rồi giảm dần theo chiều dài của hệ mạch. Ở các động mạch nhỏ áp suất máu là 70 - 80 Tor, khi đến mao mạch chỉ còn 20 - 30 Tor. Áp suất ở tĩnh mạch khoảng 8 - 15 Tor, còn trước khi đổ vào tim, ở tĩnh mạch chủ, áp suất máu có giá trị âm so với áp suất khí quyển. Tóm lại hệ mạch đã có một sức cản đáng kể đối với chuyển động của máu làm cho áp suất máu giảm dần. Người ta đã tính toán thấy nếu coi sức cản của tất cả các hệ mạch là 100% thì các đoạn mạch đã đóng góp những tỷ lệ như sau: Từ động mạch chủ đến động mạch nhỏ là 20% (15 - 25%), hệ tĩnh mạch là 10% (5 - 15%), hệ động mạch nhỏ và mao mạch chiếm nhiều nhất và là 70% (60 - 80%), trong đó mao mạch chiếm 20%.

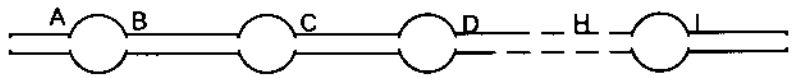
• *Sức cản ngoại vi của mạch máu*: Vừa rồi ta đã thấy sự thay đổi của áp suất dòng chảy và vận tốc của mạch ở các đoạn mạch. Nhìn chung áp suất dòng chảy bị giảm dần. Nguyên nhân của sự hao hụt áp suất đó là lực ma sát xuất hiện giữa thành mạch và máu chảy trong lòng mạch. Nếu gọi Δp là độ giảm áp suất giữa 2 đầu một đoạn mạch và R là sức cản của đoạn mạch. Người ta đã chứng minh được rằng:

$$\Delta p = R.V$$

V là thể tích máu chảy qua đoạn mạch trong một đơn vị thời gian.

Như vậy $$R = \frac{\Delta p}{V}$$

Có thể coi trong cơ thể các đoạn mạch nối tiếp liên tục nhau. Giả dụ ta xét độ giảm áp suất Δp trên các đoạn liên tục đó (hình 2.38)



Hình 2.38

$$p_{AB} = p_A - p_B = V.R_{AB}$$

$$p_{BC} = p_B - p_C = V.R_{BC}$$

...

$$p_{HI} = p_H - p_I = V.R_{HI}$$

$$p_{AI} = p_A - p_I = V\,(R_{AB} + R_{BC} + ... + R_{HI})$$

http://tieulun.hopto.org

và

$$p_{AI} = V.R_{AI}$$

Có thể áp dùng công thức Poadơi để ước tính R.

Công thức Poadơi

$$V = \frac{\pi r^4}{8\eta\ell}.\Delta p$$

$$R = \frac{\Delta p}{V} \qquad \text{Tức là:} \qquad R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

Như vậy sức cản chung của mạch ngoại vi phụ thuộc vào các yếu tố hình học (r và ℓ) của hệ mạch và phụ thuộc vào hệ số nhớt của máu.

Áp lực ở đầu hệ tuần hoàn tức là trong tâm thất trái khoảng 130 Tor, áp suất máu ở cuối hệ tức là trong tâm nhĩ phải khoảng 5 Tor. Thể tích máu lưu thông khắp hệ mạch trong vòng 1 phút là 5l (tức là 83ml/giây). Như vậy sức cản của hệ mạch ngoại vi là:

$$R = \frac{130 - 5}{83} \approx 1{,}5 \text{ đơn vị}$$

Khi gắng sức, áp lực ở động mạch chủ có thể tăng lên đến 150 Tor và lưu lượng tăng lên gấp 3. Lúc đó sức cản ngoại vi $R = \frac{130 - 5}{83x3} \approx 0{,}5$ đơn vị.

Như thế nghĩa là khi cần thiết, do hoạt động của tim nhanh lên và ảnh hưởng của nhiều yếu tố mạch máu, lưu lượng máu tăng lên đã làm cho sức cản ngoại vi của hệ mạch chỉ còn 1/3 giá trị lúc bình thường.

Ở những bệnh nhân cao huyết áp, áp lực ở động mạch chủ có thể tăng lên đến 200 Tor nhưng lưu lượng máu lại không tăng lên được liên quan với việc giá trị của sức cản ngoại vi tăng lên:

$$R = \frac{200 - 5}{83} \approx 2{,}3$$

Sức cản tăng lên hơn gấp đôi đó làm cho hoạt động của tim càng khó khăn thêm.

4.3. Đặc điểm về thể dịch của máu và hệ tuần hoàn máu

Thành phần chủ yếu của chất lỏng trong cơ thể (thể dịch) là nước. Nước chiếm đến 3/4 trọng lượng cơ thể người và chia thành 2 khu vực lớn: trong tế bào và ngoài tế bào. Lượng nước trong tế bào chiếm đến 45% tổng số nước trong cơ thể, số còn lại đều nằm ở khu vực ngoài tế bào. Ở ngoài tế bào nước chiếm khoảng gian bào (giữa

http://tieulun.hopto.org

các tế bào, mô) và trong lòng mạch. Ngày nay với các phương pháp đồng vị phóng xạ đánh dấu bằng S^{35}, Na^{24}, Br^{82}, Cl^{38}... có thể xác định rất chính xác các lượng nước đó. Nước trong lòng mạch chiếm 5% trọng lượng cơ thể. Ngoài các tế bào máu, máu còn chứa nhiều thành phần khác, trước hết là các muối vô cơ và hợp chất hữu cơ. Các muối vô cơ trong huyết tương tạo cho máu một áp suất thẩm thấu đáng kể. Áp suất thẩm thấu của máu được xác định bằng biểu thức:

$$P = RTC \qquad \text{hoặc} \qquad p = RT\frac{C}{M}$$

p là áp suất thẩm thấu. R là hằng số. M là trọng lượng phân tử chất hoà tan. C là nồng độ chất tan tính theo g/l (hoặc mol/l). Giá trị C ở người bình thường là 0,3 mol/l. T là thân nhiệt tính bằng nhiệt độ K.

Áp suất thẩm thấu của máu đóng vai trò quan trọng đối với hoạt động của tế bào, mô và cơ quan. Cơ thể điều chỉnh sự phân bố nước ở các khu vực trong cơ thể chủ yếu thông qua áp suất thẩm thấu. Bình thường máu có giá trị áp suất thẩm thấu ít thay đổi.

Một thành phần quan trọng của huyết tương là protein. Protein chiếm 7 - 8% trọng lượng huyết tương. Chúng bao gồm chủ yếu là albumin, globulin và một phần là fibrinogen. Áp suất thẩm thấu do lượng protein chỉ vào khoảng 25 - 30 Tor và chiếm một phần không đáng kể so với áp suất thẩm thấu toàn phần của huyết tương. Tuy vậy protein trong máu tạo nên một trạng thái keo và gây ra áp suất keo. Tác dụng của áp suất keo là gây nên sự chuyển vận của nước qua thành mạch ngược chiều với chuyển vận do áp suất thuỷ lực trong lòng mạch. Trong lòng động mạch áp suất thuỷ lực (do tim co bóp và tính đàn hồi của thành mạch) lớn hơn áp suất keo (do lượng protein huyết tương quyết định). Vì vậy ở động mạch, nước có xu hướng khuếch tán từ trong lòng mạch ra tổ chức xung quanh. Trong tĩnh mạch thì ngược lại, áp suất thuỷ lực rất thấp và thường có giá trị nhỏ hơn áp suất keo. Do vậy chiều di chuyển nước tĩnh mạch là từ các dịch gian bào vào lòng mạch. Chính vì vậy trong những tình trạng suy tim, áp suất thuỷ lực giảm hay trong nhiều tình trạng bệnh khác nhau, lượng protein huyết tương giảm sút làm cho nước lưu lại ở tổ chức nhiều hơn bình thường mà lượng khuếch tán vào lòng mạch ít đi, gây nên hội chứng phù nề. Do vậy protein cũng có một vai trò đáng kể trong chuyển hoá và phân bố nước trong cơ thể.

Do có cấu tạo như vậy, cho nên trong máu xuất hiện lực ma sát đáng kể khi lưu thông.

Từ công thức (2.21) có thể rút ra:

$$\Delta p = \frac{8\eta \ell . Q}{\pi R^4}$$

Công thức này đã được vận dụng để giải thích ảnh hưởng của các yếu tố hình học của mạch máu lên áp suất và tốc độ chảy của máu.

Liên hệ vào hệ tuần hoàn ta thấy độ nhớt của máu quyết định bởi thể tích các tế bào máu (nhất là hồng cầu) và thành phần các chất trong huyết tương.

http://tieulun.hopto.org

Hệ số nhớt riêng của máu là 5. Do có độ nhớt lớn cho nên ma sát trong chuyển động máu khá lớn, áp suất và tốc độ chảy của máu thay đổi đáng kể. Sự biến đổi của áp suất chảy Δp và tốc độ chảy v hay của thể tích máu V chảy qua một đoạn mạch tuân theo công thức Poiseuillle. Như vậy có nghĩa là các hồng cầu chuyển động trong máu không những chịu tác dụng của áp suất chảy do tim co bóp và tính đàn hồi của thành mạch mà còn chịu tác dụng của lực cản do ma sát nữa.

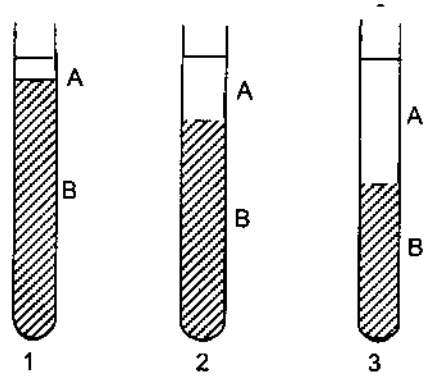
Nếu lấy máu ra ngoài cơ thể và cho vào một ống thuỷ tinh dựng thẳng đứng thì hồng cầu có thể lắng đọng dần. Khi lắng như vậy hồng cầu chịu tác dụng của 3 lực: trọng lực P, lực đẩy Archimède P' và lực cản nội ma sát F do độ nhớt. Chiều của lực Archimède và lực nội ma sát ngược với chiều của trọng lực. Lực nội ma sát tỷ lệ thuận với vận tốc lắng máu v của hồng cầu. Khi hồng cầu lơ lửng không lắng thì P + P' cân bằng với trọng lực P. Nói cách khác lúc đó tổng đại số các lực tác dụng trên hồng cầu bằng 0.

$$P = P' + F \qquad \text{hoặc} \quad P - P' - F = 0$$

Thay giá trị của các lực đó ta có:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - 6\pi\eta v r = 0$$

Trong các ống thuỷ tinh chiều dài không lớn lắm (10 - 20 cm) và đường kính 1-2mm, có thể coi hồng cầu lắng với tốc độ đều. Tốc độ đó sẽ có giá trị tỷ lệ nghịch với thời gian lắng của hồng cầu hay tỷ lệ thuận với chiều cao cột huyết tương nổi lên ở phần trên của ống (hình 2.39). Ở người bình thường sau 1 giờ cột huyết tương cao khoảng 3mm ở nam và 7mm ở nữ. Rõ ràng tốc độ lắng của hồng cầu phụ thuộc vào các yếu tố bán kính r của hồng cầu, mật độ P của nó, mật độ P' của huyết tương và hệ số nhớt η của máu. Vì những lý do bệnh lý các yếu tố đó thay đổi làm cho tốc độ lắng của hồng cầu thay đổi, có khi đến 100mm/giờ. Người ta đã áp dụng việc xác định tốc độ lắng của hồng cầu để đánh giá những thay đổi về thành phần và số lượng của tế bào máu cũng như của huyết tương...



Hình 2.39

A: Cột huyết tương

B: Cột hồng cầu lắng xuống

1: sau 1 giờ

2: sau 2 giờ

3: sau 3 giờ

http://tieulun.hopto.org

4.4. Những yếu tố khách quan ảnh hưởng đến tuần hoàn máu

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tuần hoàn máu. Trước hết là các hoạt động chủ quan của cơ thể làm tăng quá trình chuyển hoá, các rối loạn bệnh lý ở ngay hệ tuần hoàn và các hoạt động sinh học khác của cơ thể. Ở đây ta chỉ đề cập đến các yếu tố khách quan, quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động của tim, thành mạch hay khối lượng thể dịch trong cơ thể.

4.4.1. Hoạt động của cơ bắp

Trọng lượng của cơ vân chiếm đến 40% trọng lượng cơ thể. Khi cơ hoạt động mạnh (lao động chân tay...) nhu cầu năng lượng của nó tăng lên, do đó hệ tuần hoàn phải tăng cường hoạt động để đáp ứng nhu cầu vật chất và năng lượng. Người ta thấy lúc lao động nhu cầu oxy tăng gấp 8 - 10 lần so với lúc nghỉ. Cơ thể đáp ứng bằng cách tăng tần số co bóp của tim. Ngoài ra tuần hoàn của mao mạch cũng thay đổi theo nhu cầu của cơ thể. Trong cơ vân bình thường có một mạng mao mạch dày đặc, các nghiên cứu chi tiết cho biết $1mm^3$ cơ chứa đến 3000 mao mạch. Kích thước của mao mạch rất bé (chiều dài từ 0,2 - 0,4mm và đường kính khoảng 0,007mm). Tốc độ máu ở mao mạch cũng rất chậm 5mm/s. Ở cơ vân hoạt động bình thường chỉ có một lượng nhỏ mao mạch hoạt động tuần hoàn tức là có máu vận chuyển qua. Số lượng mao mạch hoạt động lúc này chỉ khoảng 200 - 300 mao mạch trong $1mm^3$ tổ chức tức dưới 10%. Tuỳ theo nhu cầu năng lượng và oxy của cơ thể, lúc cơ hoạt động mạch hơn (lao động) số lượng các mao mạch tham gia vận chuyển máu sẽ tăng lên. Cơ chế này thực hiện được là nhờ hoạt động cơ trơn nằm ngay trước mao mạch đó. Thành mao mạch cũng giãn ra hay co vào dưới ảnh hưởng của áp suất dòng máu và tác dụng của nội tiết tố.

Tuy nhiên sự co rút cơ quá mức có thể gây trở ngại cho sự vận chuyển máu ở tại cơ đó. Tăng quá trình chuyển hoá khi tăng hoạt động của cơ cũng tạo nên nhiều sản phẩm mới như acid adrenalic, histamin, acetylcholin... Các sản phẩm mới này ảnh hưởng đến tính co giãn của thành mao mạch và do đó ảnh hưởng đến sự lưu thông máu.

4.4.2. Ảnh hưởng của trọng trường

Ở tư thế đứng, máu từ động mạch dễ dàng chảy xuống các phủ tạng ở bụng và các chi dưới nhờ tác dụng phụ của trọng lực. Tuy vậy ở người khoẻ mạnh điều đó không làm thay đổi áp suất máu nhiều ở chi dưới. Nếu từ tư thế nằm chuyển sang tư thế đứng, nhịp tim bao giờ cũng tăng lên đôi chút để đảm bảo khối lượng máu được tim đẩy ra trong một đơn vị thời gian là không thay đổi. Ở tư thế đứng lượng máu do tim đẩy ra trong một lần co bóp ít hơn tư thế nằm. Cơ chế quá trình này được giải thích theo định luật Starling là sức đẩy của quả tim tuỳ thuộc vào độ giãn dài của sợi cơ tim. Độ giãn đó lại tuỳ thuộc vào lượng máu chảy từ tĩnh mạch vào tim ở thời kỳ tâm trương. Lượng máu từ các tĩnh mạch phía dưới tim đổ về tim đã bị giảm bớt phần nào vì tác dụng của trọng lực. Do đó áp suất máu do tim co bóp sẽ giảm đi. Độ giảm áp suất đó cân bằng với tác dụng của trọng trường mà dòng máu động mạch chảy từ tim xuống chi dưới thu nhận được. Cần nhắc lại rằng trong tĩnh mạch của phần dưới cơ thể, máu chuyển động ngược chiều được với trọng lực là do ở

http://tieulun.hopto.org

đấy vẫn còn tác dụng của công tim co bóp và thành mạch đàn hồi. Áp suất máu giảm dần và thấp nhất ở tĩnh mạch chủ, nơi máu đổ về tim. Ngoài ra các van trong lòng mạch, áp suất âm của lồng ngực và các cơ chế điều khiển co thành mạch... cũng đã làm cho máu chỉ chuyển động theo một chiều nhất định trong tĩnh mạch. Đây là cơ chế rất phức tạp đã hình thành trong điều kiện sống bình thường trên cơ sở những phản xạ có điều kiện. Chính vì vậy khi con người ở trong những điều kiện về trường trọng lực bị thay đổi trong vũ trụ, rối loạn hoạt động của hệ tuần hoàn rất sớm xuất hiện.

4.4.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và môi trường

Nhiệt độ xung quanh tăng lên gây ảnh hưởng trực tiếp đến thân nhiệt. Một trong những cơ chế tự điều chỉnh thân nhiệt của cơ thể là tăng lưu lượng máu tới bề mặt da do các mao mạch ở da được giãn rộng ra. Bản thân sự tăng nhiệt độ môi trường cũng làm giãn các mao mạch ở da. Thực nghiệm trên thỏ ta thấy khi nhiệt độ xung quanh lên tới 45^0C lưu lượng máu tối đa tăng lên đến 6 - 7 lần so với lúc ở nhiệt độ 20^0C. Để giữ vững áp suất trong máu, cơ thể tự điều chỉnh bằng cách co mạnh ở trong các phủ tạng. Một số phủ tạng chứa một khối lượng máu rất lớn như gan, lách, phổi. Về phương diện tuần hoàn các phủ tạng đó đóng một vai trò như những hồ chứa để điều chỉnh lưu lượng máu trong toàn thân thích hợp với nhu cầu cơ thể. Do những tình trạng bệnh lý nào đó, cơ chế điều chỉnh đó rối loạn nên sự tăng nhiệt độ môi trường đột ngột có thể gây nên hạ huyết áp tạm thời. Cũng theo một cơ chế tương tự, khi cơ thể tăng cường hoạt động, nhu cầu máu tối đa tăng lên (cơ quan tiêu hoá sau khi ăn, não khi lao động trí óc) sẽ có ảnh hưởng đến lưu lượng máu ở vùng khác trong cơ thể hoặc hoạt động của chính bản thân tim, mạch.

Hoạt động của hệ tuần hoàn liên quan chặt chẽ với các hoạt động chức năng khác trong cơ thể nhất là chức năng hô hấp. Đánh giá đặc điểm chức năng tuần hoàn là công việc quan trọng của các nhà sinh học và y học. Dựa vào các đặc điểm hoạt động của nó, ngày nay có rất nhiều biện pháp theo dõi hoạt động của hệ tuần hoàn. Người ta có thể đánh giá hoạt động của tim thông qua các dấu hiệu về hiệu suất co bóp của tim như đo huyết áp và vận tốc máu. Xác định lượng máu do tim đẩy ra qua một lần co bóp hay trong một đơn vị thời gian... Đánh giá hoạt động của cơ tim, van tim và của thần kinh tự động bằng cách ghi điện tim có một giá trị rất lớn. Cũng có thể theo dõi hoạt động của thành mạch máu bằng cách đánh giá khả năng đàn hồi của nó, phản ứng của thành mạch trước các tác nhân kích thích làm co hoặc làm giãn mạch. Một đối tượng quan trọng của hệ tuần hoàn là khối lượng toàn bộ thể dịch trong cơ thể cũng như thể tích và thành phần của máu, của huyết tương... Thể tích và cấu tạo của máu ảnh hưởng rõ rệt đến hoạt động của tim, mạch và toàn bộ hệ tuần hoàn. Hiện có rất nhiều phương pháp để xác định giá trị các thể tích đó.

5. Sự vận chuyển khí trong cơ thể người

Sự trao đổi và vận chuyển khí xảy ra trong cơ thể là nhờ có hoạt động hô hấp và hoạt động tuần hoàn.

http://tieulun.hopto.org

5.1. Hoạt động hô hấp

Hoạt động hô hấp thực hiện ở cơ quan hô hấp, tuần hoàn máu, mô và tế bào trong cơ thể. Cơ quan hô hấp bao gồm mũi, hầu, khí phế quản và phổi. Đường hô hấp thông suốt từ mũi xuống tận phế nang. Xương sườn, cột sống và xương ức tạo thành lồng ngực chứa đựng tim, phổi. Các cơ ở ngực, bụng, lưng và cơ hoành bảo đảm cử động hô hấp. Phổi là tổ chức xốp tiếp sát vào lồng ngực qua các màng phổi. Nhờ đó phổi có thể co lại hoặc giãn ra theo lồng ngực. Thành phần cấu trúc cơ bản của phổi là phế nang. Phế nang là những túi nhỏ, rỗng, có khả năng chứa đầy không khí và được cấu tạo bởi một lớp tế bào mỏng. Vì vậy khối khí trong phế nang dễ dàng tiếp xúc với lớp mao mạch phong phú xung quanh. Hoạt động thở bao gồm động tác hít vào và thở ra một cách điều hoà. Ở người bình thường, khoảng 500ml không khí được trao đổi sau mỗi lần hít thở thông thường. Ở những người đã được luyện tập hoặc cố ý thở sâu, lượng không khí lưu thông sẽ lớn hơn. Trong phổi luôn luôn tồn tại một lượng khí dự trữ để làm cho phổi không xẹp xuống dưới tác dụng của áp suất khí quyển lên thành ngực. Lượng khí này chiếm khoảng 1000ml ở cả 2 lá phổi.

Trung tâm hô hấp của hệ thần kinh trung ương điều khiển hoạt động hô hấp. Cơ chế điều chỉnh rất phức tạp. Tuỳ theo nhu cầu cơ thể và các nguyên nhân khác nhau, nhịp độ thở, độ nông sâu và số lượng phế nang hoạt động... được điều chỉnh qua những xung động thần kinh xuất phát từ trung tâm hô hấp.

5.1.1. Cơ chế hít vào

Trong lồng ngực, phổi ở trạng thái giãn căng do tổ chức có tính đàn hồi. Màng phổi ngăn cách phổi và lồng ngực bao gồm 2 lá: lá thành và lá tạng. Cấu tạo đó tạo nên khoang màng phổi nằm giữa 2 lá. Trong điều kiện cân bằng, áp suất ở phế nang p_n cân bằng với tổng áp suất khoang màng phổi p_k và áp suất co gây ra do tính đàn hồi của phổi p_p.

$$P_n = p_k + p_p$$

Như vậy ta có $$p_k = p_n - p_p$$

Tức là áp suất khoang nhỏ hơn áp suất phế nang một giá trị bằng áp suất của phổi.

Áp suất khí quyển tác dụng lên lồng ngực p_{at} cân bằng với tổng áp suất khoang và áp suất gây ra bởi tính đàn hồi của lồng ngực p_ℓ.

$$p_{at} = p_k + p_\ell \qquad \text{Như vậy ta có: } p_k = p_{at} - p_\ell$$

Tức là áp suất khoang nhỏ hơn áp suất khí quyển một giá trị bằng sức căng của lồng ngực. Do đó áp suất khoang thường được gọi là giá trị âm nếu coi áp suất khí quyển bằng 0. Áp suất âm của khoang làm cho lồng ngực có xu hướng co lại nghĩa là có xu hướng ngược với sức căng của phổi.

Động tác hít vào thực hiện được là nhờ tăng thể tích lồng ngực bằng cách nâng các xương sườn lên và hạ cơ hoành xuống. Cơ hoành rất quan trọng cho hô

http://tieulun.hopto.org

hấp vì bảo đảm cho 2/3 việc thông khí ở phổi. Xương sườn nâng lên được nhờ các cơ liên sườn ngoài. Thể tích lồng ngực tăng lên, trước hết làm giảm áp suất khoang màng phổi, nhờ đó phổi có thể giãn ra và do vậy (theo định luật Boyle - Mariotte) áp suất trong các phế nang giảm xuống. Sự xuất hiện hiệu áp suất giữa khí quyển và phế nang làm cho không khí di chuyển thành dòng từ môi trường vào phổi.

Lưu lượng khí V được tính bằng công thức $V = \frac{\Delta p}{R}$. V tính theo ℓ /giây trong đó Δp là hiệu áp suất giữa khí quyển và phế nang.

R là sức cản động học gây ra bởi sự ma sát giữa dòng khí chuyển động với thành đường hô hấp và lực nội ma sát bên trong lòng chất khí.

Sức cản động học phụ thuộc rất nhiều yếu tố. Trong trường hợp chung nhất hiệu áp suất Δp cần để thắng sức cản động học của khí được xác định theo công thức:

$$\Delta p = k_1 V + k_2 V^2$$

V là lưu lượng khí, k_1, k_2 là hệ số đặc trưng cho sức cản động học của khí tương ứng với các loại dòng khí thành lớp và thành dòng hỗn loạn. Có thể tìm từ các phương trình và có:

$$k_1 = \frac{8\eta l}{\pi r^4} \qquad \text{và} \qquad k_2 = \frac{fl}{4\pi^2 r^5}$$

trong đó l là chiều dài ống, r là bán kính, η là hệ số nhớt của chất khí, f là hệ số ma sát, phụ thuộc vào mật độ khí.

Các phương trình đó cho ta thấy rằng sức cản động học của khí tăng lên theo chiều tăng của lưu lượng khí khi chuyển động từ dòng lớp sang dòng xoáy. Sự tạo thành xoáy khi vận tốc nhỏ thường xảy ra ở những phần ống bị mấp mô do có chất nhày, dịch tiết các khối u, dị vật. Khi bị hen và bị giãn phổi (khí phế thũng) sức cản này có thể tăng lên đến 7 - 8 lần so với người bình thường.

5.1.2 Cơ chế thở ra

Không khí từ phổi được đẩy ra ngoài là do thể tích lồng ngực bị giảm xuống. Điều đó làm tăng áp lực khoang màng phổi. Lúc này do áp lực từ khoang màng, các phế nang co lại làm cho áp suất không khí trong phế nang tăng lên cao hơn áp suất khí quyển. Do vậy dòng khí di chuyển từ phổi ra ngoài.

Cơ chế làm cho thể tích lồng ngực giảm xuống khi thở ra xảy ra như sau:

Khi trương lực cơ hít vào giảm đi, do tác dụng của các lực đàn hồi của lồng ngực, của các cơ quan trong lồng ngực, của trọng lượng lồng ngực, thể tích lồng ngực bắt đầu giảm xuống. Đó là một quá trình tự nhiên không đòi hỏi gắng sức. Ngoài ra còn có một số cơ (cơ liên sườn trong, cơ bụng...) khi co làm cho thể tích lồng ngực giảm xuống. Cơ hoành nâng lên cũng làm cho thể tích lồng ngực hẹp lại rõ rệt.

http://tieulun.hopto.org

Ngoài ra, trong động tác thở ra còn có vai trò của các lực chống lại do các phủ tạng trong bụng bị cơ hoành cách dồn ép xuống dưới tối đa khi hít vào, sự đàn hồi của tổ chức phổi, lực chống lại do các mô bị di chuyển khi hít vào...

Khi các lực đàn hồi của phổi cân bằng với áp suất khoang màng phổi thì động tác thở ra kết thúc, vì vậy trong phổi còn đọng lại một lượng không khí chưa được đẩy hết ra ngoài.

Nhìn chung tác động của các cơ hô hấp lên phổi thực hiện một cách gián tiếp thông qua sự thay đổi áp suất khoang. Điều đó ảnh hưởng đến áp suất trong phế nang. Nguyên nhân trực tiếp làm cho không khí di chuyển qua đường hô hấp là sự dao động có chu kỳ của áp suất phế nang.

Nếu lồng ngực bị thủng hoặc bị tràn khí màng phổi tức là nhân tố quan trọng của cơ chế hô hấp (áp suất khoang màng) đã bị loại bỏ. Lúc đó do tính đàn hồi của nó, phổi dễ bị xẹp lại. Quá trình thông khí ở phổi cũng không xảy ra bình thường nữa vì khi bị thay đổi thể tích lồng ngực, không khí không di chuyển qua đường hô hấp bình thường mà là chuyển qua lỗ thủng hoặc lỗ thông nhân tạo. Những vết thương loại này ảnh hưởng nhiều đến hô hấp.

5.1.3. Công hô hấp

Là công thực hiện qua các cơ hô hấp để thắng tất cả các lực cản khi thông khí. Vai trò của các cơ riêng biệt; hoạt động của chúng ở các giai đoạn khác nhau của chu kỳ hô hấp và ở các điều kiện khác nhau được nghiên cứu bằng phương pháp ghi điện cơ. Việc đo công của các cơ hô hấp một cách trực tiếp là không thực hiện được, vì vậy người ta thường dùng phương pháp gián tiếp để đo công hô hấp. Công có giá trị bằng tích số của lực và quãng đường đi được theo hướng của lực. Ở hệ hô hấp công được tính bằng tích số của áp suất và giá trị của thể tích thay đổi tương ứng. Vì áp suất trong hệ hô hấp là một đại lượng biến đổi nên việc xác định công A thực hiện bằng phương pháp tích phân:

$$A = \int p.dV$$

p là áp suất tổng hợp đặt vào hệ hô hấp ở mỗi thời điểm của chu trình hô hấp, dV là số tăng thể tích của hệ.

Trong thực tế muốn đo công hô hấp cần có phế dung kế. Theo kết quả thu được người ta dựng đường cong biểu diễn sự phụ thuộc áp suất vào thể tích và từ đó mà tính toán.

Kết quả thu được cho biết ở trạng thái tĩnh (thông khí dưới 10 l/phút), công hô hấp khoảng 0,1 - 0,59J/ℓ hay 0,98 - 4,9 J/phút. Khi tăng thể tích thở trong 1 phút công hô hấp sẽ tăng nhưng không tỷ lệ vì điều đó liên quan đến sự tăng sức cản động học. Người ra thấy rằng việc kết hợp thông thường giữa chiều sâu và tần số thở thích hợp tức là làm sao cho công thực hiện cho 1ℓ không khí nhỏ nhất. Điều đó có thể thực hiện được nhờ hệ thống điều khiển quá trình hô hấp và nhờ luyện tập.

http://tieulun.hopto.org

5.2. Sự vận chuyển khí trong cơ thể

5.2.1. Sự vận chuyển của các khí trong hô hấp trước hết tuân theo những quy luật về vật lý, nhất là quy luật về khuếch tán khí

Định luật Henry cho biết: Lượng khí thâm nhập (khuếch tán) được vào chất lỏng tỷ lệ với áp suất riêng phần của chất khí đó trên bề mặt chất lỏng. Chúng ta đã biết là hệ số khuếch tán của khí phụ thuộc vào bản chất khí thành phần trong hỗn hợp khí (như không khí chẳng hạn). Định luật Dalton được phát biểu như sau: "Trong trường hợp lý tưởng, tổng các áp suất riêng phần của các chất khí thành phần bằng áp suất của cả hỗn hợp khí".

$$p = \sum_{i=1}^{n} p_i \qquad (2.27)$$

p là áp suất của hỗn hợp nhiều khí thành phần, p_i là áp suất của thành phần thứ i.

Máu chứa rất nhiều thành phần vì vậy sự thâm nhập của khí vào máu không chỉ đơn thuần phụ thuộc vào đặc điểm của chất khí. Cécénov khi nghiên cứu sự thẩm thấu của khí CO_2 vào dung dịch thấy lượng khí hoà tan vào dung dịch tỷ lệ nghịch với nồng độ muối và các chất hoà tan trong đó (protein, lipid...)

Tác giả đã tìm được biểu thức liên hệ giữa nồng độ C của chất điện ly trong dung dịch và lượng khí hoà tan S là:

$$\lg \frac{S_0}{S} = k.C$$

S_0 là lượng khí hoà tan vào nước nguyên chất.

S là lượng khí hoà tan vào dung dịch có chất điện ly ở nồng độ C.

k là hằng số.

5.2.2. Khí hít vào, không khí đến tận phế nang

Người ta đã đo đạc thấy áp suất trung bình trong phế nang lúc hít vào tương đương với áp suất khí quyển tức là 1 atmophe. Tuy nhiên ở nhiệt độ 37°C của cơ thể với điều kiện bão hoà hơi nước, hơi nước trong phế nang luôn luôn có một áp suất riêng phần khoảng 47 Tor. Vì vậy áp suất tổng cộng của N_2 , O_2 và CO_2 trong phế nang chỉ còn:

$$760 - 47 = 713 \text{ Tor}$$

Các khí thành phần có trong phế nang vẫn chiếm một tỷ lệ như trong không khí bên ngoài là 80,7%, 13,8% và 5,5% cho nên áp suất riêng phần p của chúng trong phế nang là:

$$P_{N_2} = 713 \times 80,7\% = 575 \text{ Tor}$$

http://tieulun.hopto.org

P_{O2} = 713 x 13,8% = 98 Tor

P_{CO2} = 713 x 5,5% = 39 Tor

Nếu xét riêng khuyếch tán đơn thuần, thể tích khí V được tính theo công thức:

$$V = \frac{K.p_n}{p}$$

k là hệ số mà giá trị đã cho ở bảng 2.5

p_n là phân áp khí thành phần.

p là áp suất khí quyển.

Người ta biết hệ số khuếch tán của các khí CO_2, O_2, N_2 vào huyết tương sẽ khác nhau và có giá trị như bảng 2.5

Bảng 2.5. Hệ số khuếch tán của các khí thành phần của không khí ở 37°C

Dung dịch	Hệ số khuếch tán		
	CO_2	O_2	N_2
Nước nguyên chất	0,545	0,023	0,013
Huyết thanh	0.510	0,021	0,012
Máu	0,470	0,023	0,013
Hồng cầu	0,440	0,026	0,015

Do hiện tượng khuếch tán đơn thuần và các hiện tượng sinh học khác, các chất khí thành phần O_2, CO_2, N_2 thâm nhập vào các nơi trong cơ thể với các giá trị khác nhau. Kết quả đo đạc áp suất riêng phần của các khí trong cơ thể được trình bày ở bảng 2.6.

Bảng 2.6. Áp suất riêng phần của CO_2, O_2 và N_2 (đơn vị là Tor)

Chất khí	Phế nang	Máu ở động mạch chủ	Máu ở phổi	Ở tổ chức
O_2	99,8	99	38	20 – 40
CO_2	39	39,6	45 – 48	53 - 76
N_2	575	550	550	

Dựa vào định luật Henry chúng ta hiểu được chiều vận chuyển của O_2 và CO_2 trong cơ thể. Do chênh lệch áp suất, O_2 được khuếch tán từ phế nang (phân áp là 99,8 Tor) đến máu ở mao mạch của tĩnh mạch quanh đó (phân áp là 38 Tor). Máu sẽ trở thành máu đỏ chứa nhiều O_2 và chuyển đến các mô, tế bào khắp cơ thể. Ở mô,

http://tieulun.hopto.org

O_2 từ máu động mạch (phân áp là 99 Tor) sẽ chuyển vào dịch gian bào (phân áp là 20 Tor), ở đây phân áp của CO_2 rất cao (53 - 76 Tor) nên CO_2 khuếch tán từ dịch gian bào vào máu động mạch (39,6 Tor). Quá trình sử dụng O_2, sản sinh CO_2 và vận chuyển các khí đó ở mô và tế bào rất phức tạp. Nhìn chung tại đây O_2 được sử dụng để oxy hoá các chất hữu cơ, cung cấp năng lượng cho cơ thể và tạo ra CO_2. Đó là một dãy các phản ứng liên tiếp xảy ra dưới tác dụng của các men sinh học.

Cho đến nay có nhiều giả thiết về sự hô hấp tế bào và mô. Do lượng O_2 giảm và lượng CO_2 tăng, máu động mạch sẽ chuyển màu từ đỏ sang màu đen theo tĩnh mạch về tim. Ở máu tĩnh mạch, áp suất CO_2 chỉ còn 38 Tor và áp suất của CO_2 là 45 - 48 Tor, cho nên khi được đưa đến phổi, CO_2 thoát ra khỏi phế nang (phân áp CO_2 ở phế nang là 39 Tor) để ra ngoài cơ thể nhờ hoạt động thở. Chu kỳ mới đối với O_2 lại được lặp lại.

Chúng ta có thể tính được khối lượng khí trao đổi trong một đơn vị thể tích của máu nếu biết được hệ số khuếch tán và áp suất riêng của khí đó (theo công thức 2.28).

Thí dụ:

Ở phế nang phân áp của CO_2, O_2 và N_2 là 39, 99 và 575 Tor. Vậy thể tích khí có thể thâm nhập vào 1ml máu theo quy luật khuếch tán đơn thuần là:

$$V_{CO_2} = \frac{0,47x39}{760} = 0,0241ml$$

$$V_{O_2} = \frac{0,023x99}{760} = 0,0030ml$$

Và

$$V_{N_2} = \frac{0,013x575}{760} = 0,0098ml$$

Cần lưu ý rằng thể tích phế nang còn thay đổi tuỳ theo nhịp thở. Giãn ra khi hít và xẹp lại khi thở ra. Laplace đã chứng minh được áp suất khuếch tán p của các khí từ phế nang ra xung quanh còn tuỳ thuộc vào lực căng mặt ngoài T của phế nang.

$$P = T(\frac{1}{r} + \frac{1}{R})$$

r, R là bán kính cực tiểu và cực đại của phế nang khi thở ra và hít vào. Hơn nữa lượng khí khuếch tán còn tỷ lệ thuận với diện tích mặt tiếp xúc ΔS. Vì vậy có thể điều chỉnh phần nào tốc độ trao đổi khí thông qua việc tăng hay giảm diện tích hoạt động (số lượng hoạt động) của các phế nang.

Các khí trong cơ thể thường phải khuếch tán qua các màng sinh học ngăn cách giữa hai môi trường. Quá trình đó được điều chỉnh theo những cơ chế phức tạp thông qua các đặc tính của màng cũng như các yếu tố khác.

http://tieulun.hopto.org

5.3. Máu và sự trao đổi khí

Quá trình trao đổi khí trong cơ thể không chỉ tuân theo những quy luật về áp suất mà còn chịu ảnh hưởng của nhiều phản ứng hoá lý khác nữa. Người ta nhận thấy như sau:

Một phân áp 100 Tor của O_2 tiếp xúc với huyết tương chỉ tạo được một lượng khí thâm nhập vào máu khoảng 0,35 – 0,4% tức là 0,003 – 0,004 ml O_2 trong 1ml máu (như tính toán ở mục 5.2). Tỷ lệ đó thấp hơn rất nhiều so với giá trị thực tế trong máu động mạch là 19 - 20% tức là 0,19 - 0,20 ml O_2 trong 1ml máu. Muốn tạo được hàm lượng trong máu như thế, bằng thí nghiệm in vitro phải tạo được một phân áp 6 - 7 at đối với O_2 và 300 Tor đối với CO_2. Như vậy trong cơ thể sinh vật bên cạnh quy luật khuếch tán còn có một cơ chế khác bổ sung thêm. Nghiên cứu kỹ người ta thấy thành phần trong máu đã đóng vai trò vô cùng quan trọng trong công việc đó.

5.3.1. Vai trò của máu đối với vận chuyển O_2

Hồng cầu là yếu tố chính trong vận chuyển O_2. Ta biết trong hồng cầu có hemoglobin (Hb). Một phân tử hemoglobin có trọng lượng là 67.000 và chứa 4 gốc hem. Trong cấu trúc của hem có một nguyên tử Fe ở giữa. Mỗi nguyên tử Fe này có khả năng kết hợp với một phân tử O_2 nghĩa là một phân tử Hb có khả năng kết hợp với 4 phân tử O_2 để tạo thành phức hợp oxyhemoglobin (HbO_2). Có thể viết gọn phản ứng đó như sau:

$$Hb + O_2 \longleftrightarrow HbO_2 \qquad (2.29)$$

Như vậy mỗi gam hemoglobin có thể gắn với một thể tích O_2 là:

$$\frac{4x22.400ml}{67.000} = 1,34ml$$

22.400 ml là thể của một phân tử gam khí CO_2 còn 67.000 là phân tử gam của hemoglobin. Trong 100ml máu người bình thường có chứa từ 12 – 14g hemoglobin cho nên thể tích khí O_2 có thể lưu thông trong máu lên tới 16 – 18 ml/100ml máu.

Tuy nhiên phản ứng kết hợp giữa Hb và O_2 là thuận nghịch phụ thuộc vào áp suất của O_2. Lúc áp suất O_2 cao, phản ứng xảy ra theo chiều thuận; lúc áp suất O_2 thấp, phản ứng sẽ đi theo chiều nghịch, tức là phân tử oxyhemoglobin bị phân ly thành O_2 và Hb.

Trong máu động mạch, phân áp O_2 là 99 Tor tỷ lệ oxyhemoglobin lên tới gần 100%. Vì những nguyên nhân bệnh tật hoặc môi trường, lúc phân áp O_2 giảm thì dạng phức hợp HbO_2 trong máu giảm xuống rất nhanh. Máu động mạch đưa phức hợp HbO_2 xuống tận mô và tế bào. Ở đây tuỳ điều kiện phân áp O_2 và pH của dịch gian bào, phức hợp HbO_2 phân ly thành O_2 và Hb. Oxy được tế bào sử dụng còn Hb sẽ thực hiện nhiệm vụ vận chuyển CO_2 ra khỏi mô và tế bào.

http://tieulun.hopto.org

5.3.2. Vai trò vận chuyển CO_2 của máu

Như trên đã nêu rõ, nếu chỉ do hiện tượng khuếch tán đơn thuần thì thể tích khí CO_2 chỉ khoảng 2,4ml/100ml máu. Thực tế, máu tĩnh mạch chứa đến 52% CO_2 (52ml/100ml máu). Các nghiên cứu cụ thể cho thấy có khoảng 2-10% lượng CO_2 đã kết hợp với hemoglobin để trở thành carbohemoglobin ($HbCO_2$) còn hầu hết đều ở dạng H_2CO_3 theo phản ứng:

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3 \qquad (2.30)$$

Đây là một phản ứng thuận nghịch, chiều của phản ứng tuỳ thuộc nhiều yếu tố như phân áp CO_2 tại chỗ, tác dụng của men và độ pH v.v...

Tại mô, phản ứng (2.30) xảy ra theo chiều từ trái sang phải tạo nên H_2CO_3 kết hợp với các muối carbonat, phosphat trong máu thành những hợp chất dễ phân ly, ở phổi Hb có tác dụng như một acid yếu sẽ phân ly H_2CO_3 thành CO_2 và H_2O để đẩy ra ngoài. Các quá trình này tuỳ thuộc vào phân áp các khí ở tại chỗ.

5.4. Những yếu tố ảnh hưởng tới sự trao đổi khí trong cơ thể người

Hoạt động hô hấp hay quá trình trao đổi khí trong cơ thể liên quan mật thiết với các hoạt động chức năng khác. Do đó, có rất nhiều yếu tố bên trong và bên ngoài cơ thể ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đến sự trao đổi khí.

5.4.1. Yếu tố bên trong

Mọi yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động thở, sự lưu thông khí, hoạt động của các phế nang đều ảnh hưởng đến hô hấp. Ta cũng thấy vai trò to lớn của tuần hoàn máu đối với hoạt động hô hấp, các thay đổi khối lượng và chất lượng máu (kể cả hồng cầu và huyết tương) ảnh hưởng trực tiếp đến sự vận chuyển O_2 và CO_2. Hoạt động chuyển hoá ở tế bào, mô làm cho tốc độ sử dụng O_2 và sản sinh CO_2 khác nhau. Tất cả các yếu tố đó ảnh hưởng trực tiếp đến hô hấp. Con người là một thể hoàn chỉnh cho nên mọi hoạt động chức năng khác đều liên quan chặt chẽ với hô hấp. Cơ thể điều khiển mọi hoạt động chức năng đó qua hệ thần kinh, hệ thống tuyến nội tiết, các men v.v...

5.4.2. Yếu tố bên ngoài

a) Ảnh hưởng của trọng trường: Khi thở xảy ra sự thay đổi vị trí lồng ngực và các cơ quan trong ổ bụng. Lúc đó lực cản có liên quan đến trường hấp dẫn của trái đất sẽ thay đổi tuỳ theo giai đoạn của chu trình hô hấp và vị trí của cơ thể trong không gian và trong vũ trụ.

Ở điều kiện trên trái đất, khi hít vào, trọng lượng lồng ngực sẽ gây ra lực cản các cơ hít vào và khi thở ra, chính nhân tố này sẽ làm giảm thể tích lồng ngực. Trọng lực của cơ quan trong ổ bụng (đặc biệt ở tư thế đứng) sẽ tác động lên cơ hoành và có xu hướng kéo nó xuống dưới. Điều đó tạo điều kiện thuận lợi cho động tác hít vào và cản trở động tác thở ra. Ảnh hưởng của nhân tố trường hấp dẫn lên

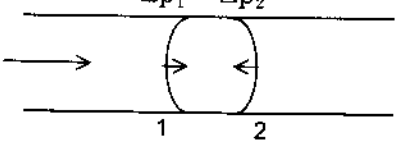
http://tieulun.hopto.org

quá trình hô hấp có thể xác định được khi so sánh các chỉ số cơ học và thông khí khi hô hấp ở các trạng thái nằm và đứng.

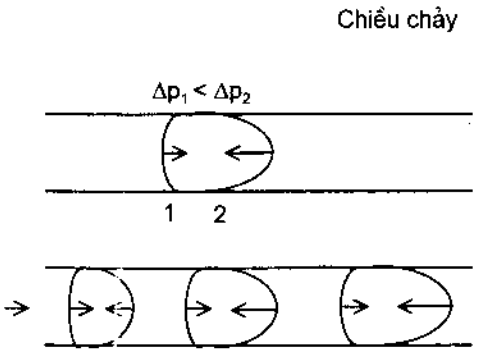
b) Ảnh hưởng của tỷ lệ khí thành phần: Như ta đã rõ oxy rất cần cho cơ thể. Cơ thể bình thường đã thích nghi với môi trường không khí chứa oxy có phân áp khoảng 100 Tor. Chúng ta đã biết rằng CO_2 có tác dụng kích thích hô hấp. Do vậy, cơ thể đòi hỏi không khí có hàm lượng O_2 và CO_2 bình thường. Cơ thể còn chịu đựng được không khí có thể tích oxy lên tới 50% nhưng sẽ có rối loạn nghiêm trọng nếu chỉ thở thuần khí oxy. Tất cả những súc vật thí nghiệm đều chết nếu đặt trong những lồng kín chứa oxy với phân áp trên 2 atmotphe.

c) Ảnh hưởng của áp suất khí quyển: Lên trên cao áp suất khí quyển hạ thấp và phân áp các khí thành phần cũng giảm, điều đó đưa đến tình trạng thiếu oxy trong cơ thể. Để đáp ứng lại, hoạt động hô hấp cơ thể tăng lên hoặc bị rối loạn tùy theo mức độ và thời gian thiếu oxy.

Ta biết phổi là tổ chức xốp chịu đựng được áp suất tác dụng lên thành ngực khoảng 1 atmotphe. Khi lặn xuống nước, áp suất tác dụng lên thành ngực tăng dần theo độ sâu. Người ta đã tính toán thấy rằng chiều sâu tối đa con người có thể hoạt động bình thường dưới nước là 35m nếu được cung cấp khí thở đầy đủ. Con người cũng có thể chịu đựng được 1 - 2 giờ khi lặn sâu tới 90m. Tuy vậy nếu từ độ sâu đó đột ngột ngoi lên cao mà không có biện pháp bảo vệ sẽ nguy hiểm đến tính mạng. Đó là hiện tượng tạo các bọt khí trong lòng mạch máu, nhất là các mạch máu nhỏ ở tim, não ...



Hình 2.40



Hình 2.41

Khi bọt khí lọt vào mạch, áp suất phụ xuất hiện ở mặt thoáng cong giữa bóng hơi và máu có thể làm cho tắc mạch. Xét một ống dẫn có bọt khí bên trong ta thấy: nếu chất lỏng đứng yên, hai áp suất phụ Δp_1 và Δp_2 ở 2 mặt tiếp xúc giữa chất lỏng và chất khí sẽ bằng nhau nhưng ngược chiều (hình 2.40). Nếu chất lỏng chuyển động từ trái sang phải do vận tốc các lớp chất lỏng trong lòng mạch không giống nhau (lớn nhất ở trục ống và giảm dần ra xung quanh) 2 mặt cong của bọt khí sẽ không giống nhau (r_1 sẽ lớn hơn r_2) (hình 2.41). Ta biết:

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{R}$$

http://tieulun.hopto.org

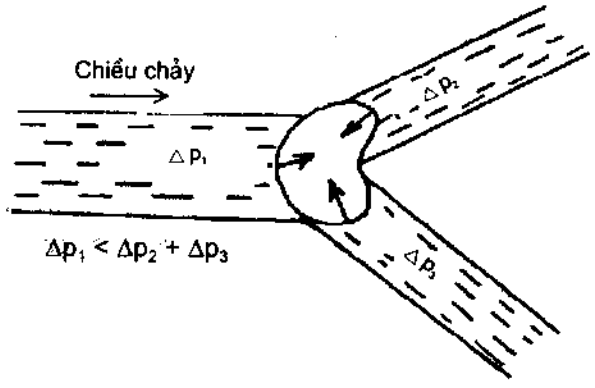
Vì vậy $\Delta p_1 < \Delta p_2$.

Do đó dòng chảy bị dừng lại gây nên hiện tượng tắc mạch máu do bóng hơi. Tác dụng đó sẽ tăng lên khi có nhiều bọt khí hoặc ở chỗ phân nhánh của mạch (hình 2.42). Cơ chế phát sinh các bọt khí trong tai biến này như sau: ở dưới nước sâu con người chịu một áp suất lớn hơn 1 at. Các khí khuếch tán vào máu tăng lên tỷ lệ với áp suất cao đó. Ví dụ: ở áp suất bình thường, trong 1ml máu có 0,0098ml khí Nitơ. Khi xuống sâu 40m cơ thể chịu áp suất là 5at và do đó hàm lượng Nitơ khuếch tán vào máu sẽ gấp 5 lần nhiều hơn lúc bình thường. Nếu sau đó đột ngột giảm độ sâu, lượng Nitơ tan trong máu sẽ giảm dần tuỳ theo áp suất do độ sâu gây ra. Phần khí còn lại sẽ nhanh chóng trở về dạng khí. Các khí đó chưa kịp thấm ra ngoài để khuếch tán đi sẽ tạo ra các bọt khí trong lòng mạch.

Vì vậy biện pháp quan trọng là phải giảm áp suất từ từ bằng cách ngoi lên dần dần hoặc dùng các thiết bị để làm giảm dần áp suất khí xung quanh cơ thể mặc dầu đã lên đến bờ.

Sự trao đổi khí trong cơ thể tuân theo các quy luật động học chất khí và chịu tác dụng trực tiếp của nhiều quy luật sinh học phức tạp. Chức năng hô hấp liên quan chặt chẽ với các chức năng khác và chịu ảnh hưởng trực tiếp của các điều kiện ở môi trường bên ngoài. Vì vậy tốc độ trao đổi khí trong cơ thể tuỳ thuộc vào:

- Áp suất riêng phần của các khí trong khí quyển, trong máu và trong mô.
- Tốc độ chuyển động của các phân tử khí.
- Diện tích trao đổi khí (tổng diện tích của các phế nang, của mao mạch ...).
- Lưu lượng máu và tốc độ chảy của máu.
- Khả năng hoà tan các khí vào máu và sự vận chuyển các khí.
- Các hoạt động chức năng và điều kiện lý hoá ở mô, tế bào ...
- Hoạt động điều khiển của hệ thần kinh cao cấp.



Hình 2.42

http://tieulun.hopto.org

CHƯƠNG 3

CÁC HIỆN TƯỢNG ĐIỆN TRÊN CƠ THỂ SỐNG

Nguyễn Quốc Trân,
Phan Lê Minh,
Phan Sỹ An.

Việc phát hiện ra điện tích và tạo ra dòng điện đã đem đến cho con người một nguồn năng lượng mới cùng những thiết bị, máy móc ngày càng chính xác tinh vi, hiệu suất cao. Điện đã và đang góp một phần tích cực vào sự phát triển và sự tiến bộ của xã hội loài người.

Tác dụng của điện tích và các loại dòng điện lên cơ thể sống nói chung và con người nói riêng cũng đã được tìm hiểu từ lâu và có nhiều ứng dụng trong y học. Sự phát sinh ra dòng điện là một trong số những biểu hiện phức tạp, đa dạng của hoạt động sống. Dòng điện "sống" phản ánh tính chất hoá - lý của quá trình trao đổi chất và là một chỉ số quan trọng đáng tin cậy về các chức năng sinh lý của cơ thể sống. Ngày nay các kỹ thuật hiện đại ghi điện sinh vật trên cơ thể người đã giúp ích rất nhiều cho các thầy thuốc trong việc xác định nguyên nhân của nhiều loại bệnh và đề xuất những biện pháp điều trị thích hợp.

Trong chương này ta sẽ khảo sát một số vấn đề cơ bản của hiện tượng điện sinh vật, tác dụng của dòng điện lên cơ thể sống và ứng dụng của chúng.

I. CÁC LOẠI ĐIỆN THẾ SINH VẬT CƠ BẢN

Ý tưởng về mối liên hệ chặt chẽ giữa dòng điện và các hoạt động sống được lan truyền từ khoảng những năm 1731 khi Gray (Anh) và Nollet (Pháp) khẳng định sự tồn tại các điện tích ở thực vật, động vật. Tiếp theo đó vào năm 1751 Adanson đã nhận thấy tác dụng điện của các giống cá điện cũng tương tự như bình Leyden đối với động vật và con người. Walch (1773) đã chứng minh tính đồng nhất của những tác dụng kể trên đồng thời cho thấy sự phóng điện của loại cá điện, cũng như bình Leyden được truyền theo dây dẫn và bị ngắt bởi vật cách điện.

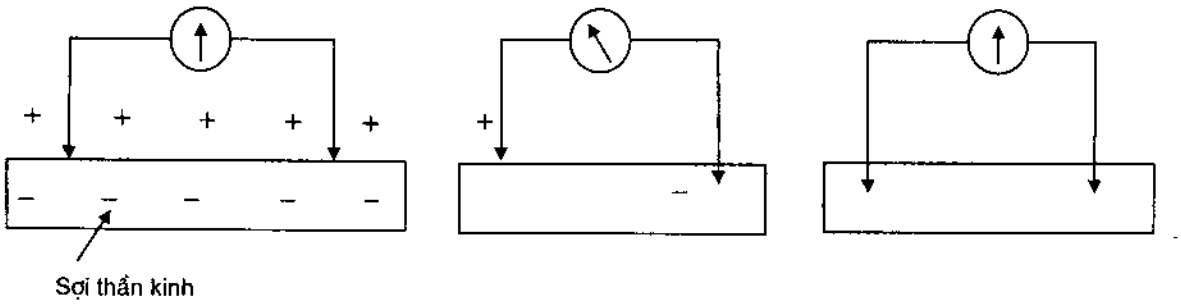
Tuy vậy khởi đầu cho những nghiên cứu về dòng điện chính là thí nghiệm nổi tiếng của bác sỹ người Ý Galvani (1791). Ông là người đã phát minh ra đặc trưng quan trọng của tế bào sống, đó là giữa chúng và môi trường bên ngoài luôn tồn tại một sự chênh lệch điện thế. Đo trên các loại tế bào khác nhau sự chênh lệch này vào khoảng 0,1V, riêng các loại cá điện có thể sinh ra các xung điện khoảng 600V, 100mA. Tuy sau đó rất nhiều nhà bác học khác cũng quan tâm nghiên cứu, nhưng đến hơn 100 năm sau, con người vẫn chưa hiểu rõ cơ chế của hiện tượng điện sinh vật, các kết quả thu được từ thực nghiệm vẫn còn đóng khung trong việc mô tả hiện tượng. Chỉ trong vài chục năm gần đây, nhờ các máy ghi đo điện chính xác, các máy

http://tieulun.hopto.org

phát xung điện cũng như các thiết bị điện tử hiện đại, nhờ sự áp dụng có hiệu quả các phương pháp đồng vị phóng xạ, kính hiển vi điện tử, hoá tế bào v.v... ta mới phát hiện được nhiều quy luật về hoạt động điện của tế bào.

1. Điện thế nghỉ

Kết quả của thí nghiệm phát hiện điện thế nghỉ mô tả trên hình 3.1.1 cho thấy:

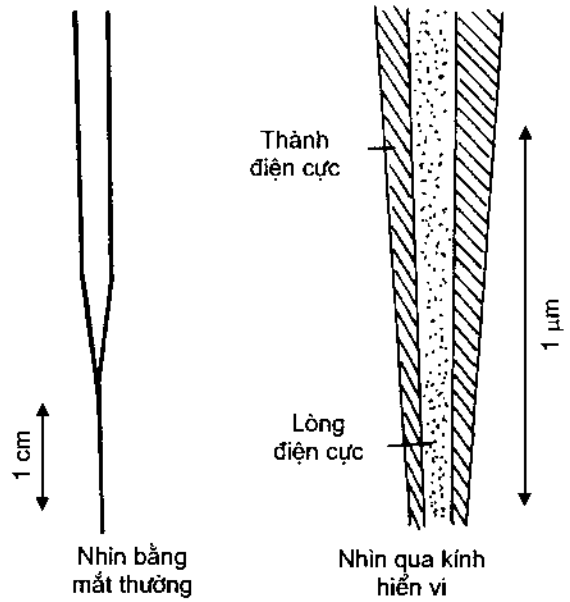


Hình 3.1.1

– Khi 2 điện cực đặt trên bề mặt của sợi thần kinh thì không có sự chênh lệch về điện thế.

– Khi chọc 1 điện cực qua màng vào sâu trong tế bào, và 1 điện cực đặt trên bề mặt sợi thần kinh giữa hai đầu điện cực xuất hiện một hiệu điện thế.

– Khi 2 điện cực chọc xuyên qua màng, không có sự chênh lệch về điện thế. Như vậy giữa phần bên trong tế bào và môi trường bên ngoài luôn tồn tại một hiệu điện thế. Sự chênh lệch về điện thế này gọi là điện thế nghỉ hay điện thế tĩnh.



Hình 3.1.2

Điện thế nghỉ có hai đặc điểm sau:

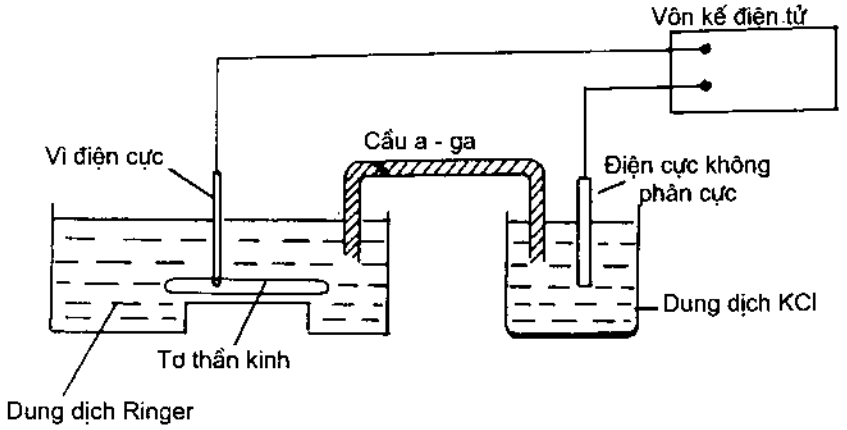
– Mặt trong màng tế bào sống luôn có điện thế âm so với mặt ngoài, tức là điện thế nghỉ có chiều không đổi.

– Điện thế nghỉ có độ lớn biến đổi rất chậm theo thời gian. Nếu sử dụng kỹ thuật ghi đo tốt chúng ta có thể duy trì để độ lớn của điện thế nghỉ không đổi trong nhiều giờ thí nghiệm; giá trị điện thế nghỉ chỉ nhỏ đi khi hoạt động chức năng của tế bào bắt đầu giảm.

http://tieulun.hopto.org

Để đo điện thế nghỉ chúng ta bắt buộc phải chọc một trong hai điện cực qua màng tế bào, làm cho màng tổn thương ít nhiều. Vì vậy điện thế ghi được thực chất là điện thế xuất hiện khi tế bào bị tổn thương. Để giảm tổn thương tới mức tối thiểu, các điện cực dùng để chọc qua màng phải có kích thước hết sức nhỏ (vi điện cực) sao cho hiệu điện thế ghi được có thể xem như điện thế nghỉ. Hình 3.1.2 mô tả một loại vi điện cực kiểu Linh Giêra, chế tạo bằng thuỷ tinh, đường kính từ 0,1 đến 0,5μm. Các điện kế ghi điện thế nghỉ phải có điện trở trong rất lớn để cho dòng điện đi qua chúng đủ nhỏ, không gây nên hiện tượng phân cực đáng kể.

Hình 3.1.3 mô tả thiết bị đo điện thế nghỉ. Điện thế nghỉ được đo bằng vôn kế điện tử có điện trở lối vào rất lớn ($10^{10}\ \Omega$). Người ta sử dụng một vi điện cực chọc qua màng tế bào nghiên cứu và một điện cực không phân cực đặt trong dung dịch KCl. Điện cực này tiếp xúc với môi trường bên ngoài tế bào nghiên cứu (dung dịch muối dùng để nuôi tế bào thường là dung dịch Ringer) qua một cầu thạch aga.



Hình 3.1.3

2. Điện thế hoạt động

Khi tế bào bị kích thích, dấu điện tích ở hai phía màng tế bào đảo ngược hẳn so với lúc nghỉ ngơi, điện thế mặt ngoài trở lên âm hơn mặt trong. Lúc đó xuất hiện điện thế hoạt động.

Có thể ghi điện thế hoạt động bằng hai phương pháp.

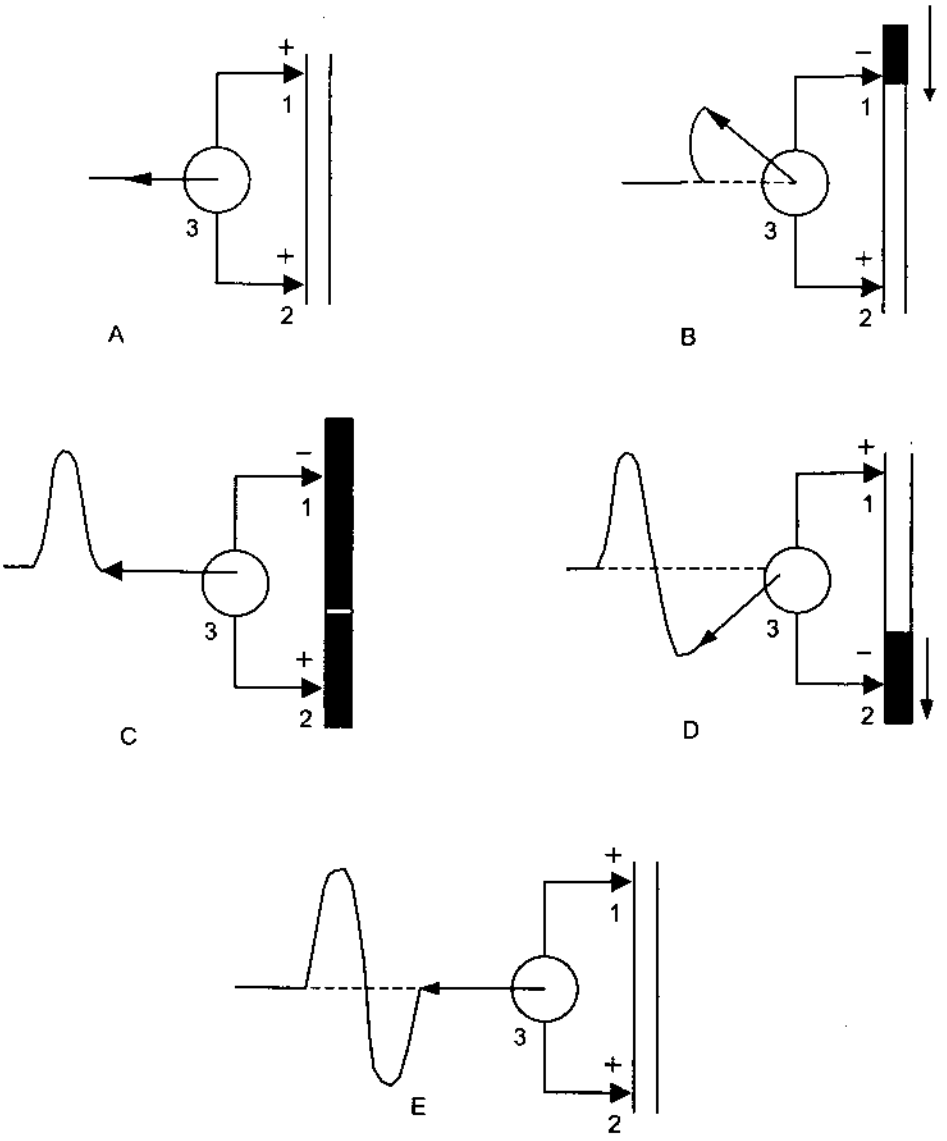
2.1. Phương pháp hai pha

Hai điện cực ghi đều đặt trên bề mặt của một sợi thần kinh tại hai vị trí (1) và (2). Một điện kế nhạy G nối với 2 điện cực trên (hình 3.1.4)

Theo quan điểm cổ điển, khi có một tác nhân kích thích vào sợi dây thần kinh (xung điện, chất hoá học ...) sẽ có một sóng hưng phấn mang điện thế âm truyền dọc theo sợi thần kinh. Như vậy sự thay đổi dấu điện tích ở điểm đặt điện cực tương ứng với sự lan truyền của sóng hưng phấn so với các điện cực đó sẽ xác định dạng của điện thế hoạt động.

http://tieulun.hopto.org

Khi sóng hưng phấn đạt tới điểm đặt điện cực thứ nhất, mặt ngoài màng tại điểm này trở lên âm và do đó xuất hiện dòng điện theo hướng từ điện cực thứ hai đến điện cực thứ nhất. Thiết bị ghi đó sẽ ghi lại dao động của dòng điện về một phía (hình 3.1.4b). Liền ngay sau hưng phấn sẽ bao trùm cả hai vùng điện cực và vùng điện cực thứ hai cũng trở thành âm và do đó hiệu điện thế giữa hai điện cực bằng 0. Bút ghi về giá trị 0 ban đầu (hình 3.1.4c). Tiếp tục lan truyền, sóng hưng phấn sẽ rời vị trí (1) chỉ còn ở vị trí (2) khi đó vị trí (2) lại trở nên âm so với vị trí (1), do đó dòng điện ở mạch ngoài hướng từ điện cực thứ nhất tới điện cực thứ hai tức là ngược chiều so với dòng điện lúc trước (hình 3.1.4d). Khi sóng hưng phấn hoàn toàn rời khỏi vùng đặt điện cực ghi đo, trạng thái nghỉ ngơi ban đầu phục hồi và hiệu điện thế giữa hai cực lại bằng 0 (hình 3.1.4e).

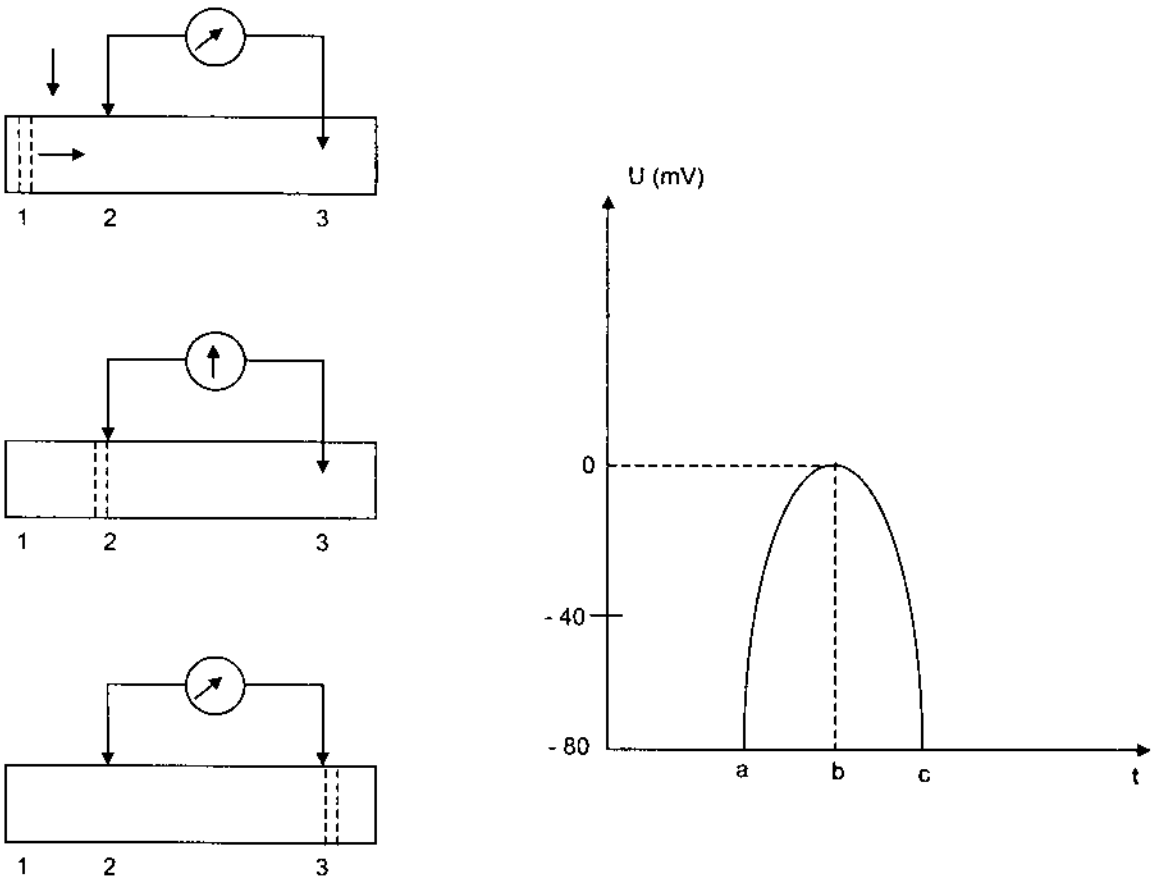


Hình 3.1.4

http://tieulun.hopto.org

2.2. Phương pháp một pha

Trong phương pháp này, chỉ có một điện cực lớn đặt ở vị trí (2) còn điện cực thứ hai là một vi điện cực cắm xuyên qua màng ở vị trí (3) (Hình 3.1.5).

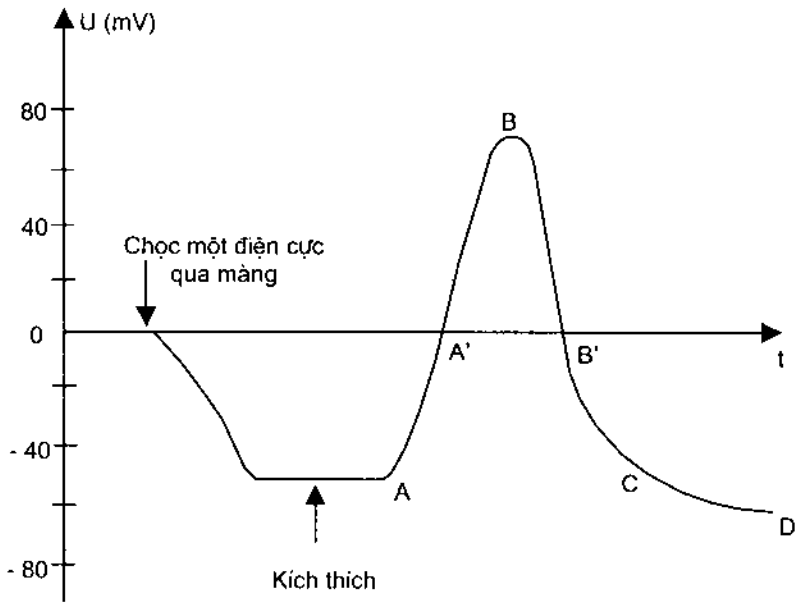


Hình 3.1.5

Khi chưa kích thích, giữa vi điện cực và điện cực lớn có một hiệu điện thế, đó là điện thế nghỉ của thần kinh (khoảng - 80m V). Khi kích thích thần kinh tại vị trí (1), sóng hưng phấn sẽ lan truyền về phía vị trí (2): hiệu điện thế giữa hai điện cực tăng từ - 80mV dần dần đạt tới giá trị 0 khi sóng đi tới vị trí (2). Khi sóng hưng phấn truyền từ (2) tới (3) hiệu điện thế giữa 2 điện cực lại giảm đi từ giá trị 0 về giá trị điện thế nghỉ như lúc ban đầu (-80mV). Như vậy điện thế hoạt động chính là sự biến đổi nhanh chóng của điện thế nghỉ dưới tác dụng của một tác nhân kích thích nào đó.

Gần đây, nhờ các dao động ký điện tử nhạy chúng ta đã ghi được tỷ mỉ và chính xác hơn điện thế hoạt động bằng phương pháp một pha: đỉnh của điện thế hoạt động có dạng gai nhọn, đỉnh này không dừng lại ở giá trị 0, mà tiếp tục vượt sang phía có giá trị dương (hình 3.1.6). Đo trên sợi trục khổng lồ của thần kinh cá mực người ta thấy điện thế nghỉ có giá trị khoảng -60mV, phần đỉnh của điện thế hoạt động nhô khỏi giá trị 0 khoảng 50mV.

http://tieulun.hopto.org



Hình 3.1.6

Trên hình 3.1.6 dựa vào sự biến đổi điện thế ở hai phía của màng chúng ta có thể chia điện thế hoạt động làm nhiều giai đoạn sau:

– Giai đoạn khử cực (đoạn A A') ứng với lúc hiệu điện thế ở hai phía của màng biến đổi từ giá trị điện thế nghỉ đến giá trị 0.

– Giai đoạn quá khử cực (gai nhọn A'BB') ứng với hiệu điện thế ở hai phía màng vượt quá giá trị 0.

– Giai đoạn phân cực lại (đoạn B'C) ứng với lúc hiệu điện thế ở 2 phía của màng từ giá trị 0 trở về giá trị điện thế nghỉ.

– Giai đoạn quá phân cực (đoạn CD) ứng với lúc hiệu điện thế ở 2 phía màng có giá trị âm hơn giá trị điện thế nghỉ.

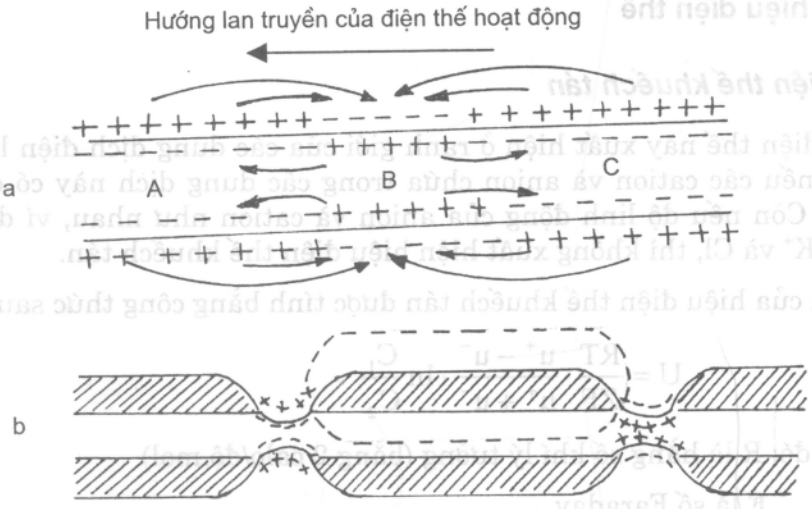
Chính điện thế hoạt động đã đảm bảo cho quá trình dẫn truyền hưng phấn dọc theo sợi thần kinh. Các kết quả thực nghiệm sau cho thấy rằng điện thế hoạt động có khả năng lan truyền:

– Điện thế hoạt động ghi được càng chậm so với thời điểm kích thích sợi thần kinh khi ta đặt điện cực càng xa vị trí kích thích.

– Thời gian của một điện thế hoạt động càng lớn khi hai điện cực đặt càng xa nhau.

Trong những điều kiện sinh lý không thay đổi tốc độ lan truyền của điện thế hoạt động đối với sợi thần kinh là không đổi. Đối với các sợi thần kinh có đường kính như nhau, tốc độ lan truyền trên các sợi có bao myelin lớn hơn trên các sợi không có bao myêlin. Quá trình lan truyền này không làm thay đổi dạng cũng như biên độ của điện thế hoạt động. Cơ chế của quá trình lan truyền điện thế hoạt động có thể giải thích như sau:

http://tieulun.hopto.org



Hình 3.1.7

Ta đã biết ở trạng thái kích thích, dấu điện tích ở hai phía của màng bị đảo ngược so với lúc nghỉ ngơi. Giả sử màng tế bào bị kích thích ở vị trí B lúc đó dấu điện tích mặt trong màng tại B sẽ (+) và ngoài màng sẽ (-), do đó sẽ xuất hiện dòng tại chỗ có chiều như trên hình 3.1.7a đối với sợi thần kinh không có bao myelin. Chính dòng điện tại chỗ này làm giảm giá trị hiệu điện thế giữa 2 phía của màng ở vùng lân cận với vùng kích thích. Tại vùng A khi hiệu điện thế giảm tới một giá trị ngưỡng, điện thế hoạt động sẽ xuất hiện tức là vùng A và vùng lân cận tiếp theo. Cứ như thế sóng hưng phấn được lan truyền dọc theo sợi thần kinh. Vùng C đã bị hưng phấn trước vùng B, mặc dù có tác động của dòng điện tại chỗ, nhưng không thể chuyển sang trạng thái hưng phấn nữa, như A, vì vùng C đang ở trong giai đoạn trơ.

Khác với trên, quá trình lan truyền trong sợi thần kinh có bao myelin xảy ra theo lối nhảy cóc từ eo này sang eo Ranvier khác vì điện thế hoạt động chỉ xuất hiện tại các eo này (hình 3.1.7b), chính vì vậy mà tốc độ lan truyền nhanh hơn so với trong sợi không có bao myelin.

II. CƠ CHẾ CỦA HIỆN TƯỢNG ĐIỆN SINH VẬT

Vì cơ thể sinh vật có thể coi như một hệ thống chứa dung dịch điện ly, nên khi tìm hiểu cơ chế hoạt động điện của tế bào người ta nghĩ ngay đến vai trò của các ion trong dung dịch. Cuối thế kỷ trước Dubois Reymond, Herman đã so sánh các dấu hiệu điện sinh vật với lượng ion chứa trong tế bào. Sau đó Nernst, Lazarev, Höber, Huxley, Katz nghiên cứu hiện tượng này sâu hơn.

Cần nhấn mạnh rằng chừng nào tế bào còn sống, còn có sự chênh lệch về nồng độ các ion ở trong tế bào và ở môi trường bên ngoài. Thí dụ, nồng độ ion K^+ ở trong các sợi cơ lớn ở khoảng gian bào chừng 40 lần, còn nồng độ các ion Na^+ thì ngược lại, ở môi trường bên ngoài nhiều hơn ở trong sợi cơ khoảng 10 lần. Do đó để tìm hiểu cơ chế hiện tượng điện sinh vật, trước hết chúng ta cần khảo sát sự xuất hiện điện thế khi hai phía của màng có các dung dịch điện ly nồng độ khác nhau.

http://tieulun.hopto.org

1. Các loại hiệu điện thế

1.1. Hiệu điện thế khuếch tán

Hiệu điện thế này xuất hiện ở ranh giới của các dung dịch điện ly có nồng độ khác nhau nếu các cation và anion chứa trong các dung dịch này có độ linh động khác nhau. Còn nếu độ linh động của anion và cation như nhau, ví dụ như trong trường hợp K^+ và Cl, thì không xuất hiện hiệu điện thế khuếch tán.

Độ lớn của hiệu điện thế khuếch tán được tính bằng công thức sau:

$$U = \frac{RT}{ZF} \cdot \frac{u^+ - u^-}{u^+ + u^-} \cdot \ln \frac{C_1}{C_2}$$

Trong đó: R là hằng số khí lý tưởng (bằng 2 calo/độ.mol)

F là số Faraday

T là nhiệt độ tuyệt đối của dung dịch

Z là hoá trị của ion điện ly

u^+ là độ linh động của cation

u^- là độ linh động của anion

C_1, C_2 là nồng độ của các dung dịch.

Các ion Kali, Natri, Hydro, Clo, Canxi, OH và NH_4 giữ vai trò chính trong việc tạo nên điện thế khuếch tán ở các tế bào và mô. Những ion khác giữ vai trò không đáng kể.

Khi mặt ngoài của tế bào bị huỷ hoại, hai dung dịch trong và ngoài tế bào tiếp giáp nhau. Các dung dịch này khác nhau về thành phần và nồng độ các ion. Vì thế, khi đó giữa các dung dịch này xuất hiện hiệu điện thế khuếch tán.

1.2. Hiệu điện thế nồng độ

Nhúng hai điện cực làm bằng cùng một thứ kim loại vào hai dung dịch có nồng độ ion kim loại đó khác nhau. Sau khi đạt trạng thái cân bằng, ở mỗi điện cực sẽ xuất hiện một điện thế mà độ lớn phụ thuộc vào tỷ số nồng độ ion kim loại trong điện cực và trong dung dịch. Vì nồng độ kim loại hai dung dịch khác nhau nên giá trị điện thế ở mỗi cực một khác, giữa chúng xuất hiện một hiệu điện thế U_C, gọi là hiệu điện thế nồng độ.

$$U_c \text{ (vôn)} = \frac{RT}{ZF} \cdot \ln \frac{C_{dc}}{C_1} - \frac{RT}{ZF} \cdot \ln \frac{C_{dc}}{C_2} = \frac{RT}{ZF} \cdot \ln \frac{C_2}{C_1}$$

Trong đó: R: hằng số khí lý tưởng

T: Nhiệt độ tuyệt đối

Z: hoá trị của kim loại

http://tieulun.hopto.org

F: số Faraday

C_1, C_2: nồng độ ion kim loại trong 2 dung dịch (1) và (2)

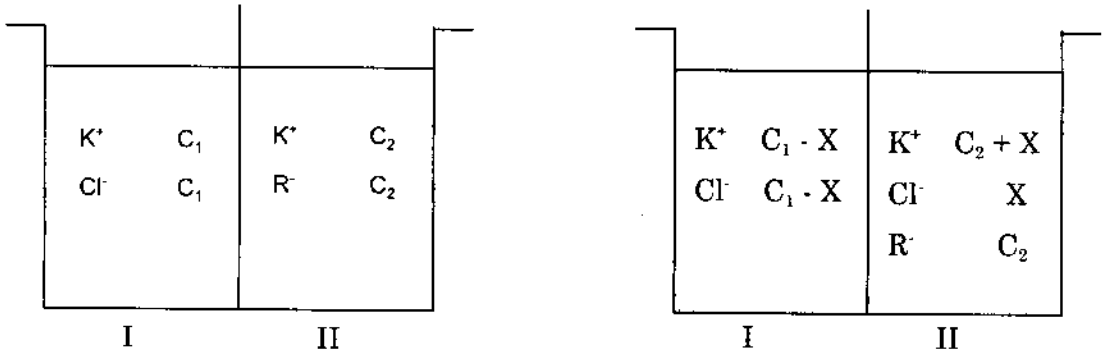
C_{dc}: nồng độ ion kim loại trong điện cực

Như vậy, hiệu điện thế nồng độ được xác định bằng tỉ số nồng độ các ion kim loại trong hai dung dịch. Ở điều kiện bình thường 20°C (T = 293°K) lấy giá trị R = 8,31 erg/mol.độ, F = 96500 C.

$$U_c = \frac{0,058}{Z} 1g \frac{C_2}{C_1} (vôn)$$

1.3. Hiệu điện thế màng và cân bằng Donnan

Một trong những nguyên nhân tạo ra sự phân bố không đồng đều các ion là sự có mặt của màng bán thấm. Tuỳ thuộc vào kích thước của lỗ màng, điện tích màng và tính thấm chọn lọc của màng, chúng có thể thấm với các ion này mà không thấm với các ion khác. Chính vì vậy mà xuất hiện hiệu điện thế màng, giá trị của điện thế màng phụ thuộc đặc tính và mức độ thấm chọn lọc của màng, kích thước và điện tích của ion và độ linh động của chúng. Ví dụ: Màng protein ở môi trường kiềm tích điện âm sẽ thấm chọn lọc đối với cation và không thấm đối với anion. Ở các tổ chức sống nồng độ các dung dịch điện ly, các hợp chất của chúng với các chất hữu cơ, tính thấm của màng luôn thay đổi do đó việc đánh giá, giá trị điện thế màng phức tạp hơn nhiều. Một trong những quy luật phân bố các ion ở hai phía của màng có tính thấm chọn lọc là quy luật cân bằng Donnan.



Trạng thái ban đầu *Trạng thái cân bằng*

Hình 3.2.1

Xét hệ gồm hai phần, ngăn cách nhau bởi một màng bán thấm, ở phần I có dung dịch KCl, phần II có dung dịch muối protein của Kali và màng chỉ thấm đối với K^+ và Cl^- (hình 3.2.1). Sau một thời gian, khi trạng thái cân bằng động được thiết lập thì ở 2 phía của màng có sự chênh lệch về nồng độ các ion có khả năng khuếch tán qua màng.

http://tieuluh.hopto.org

$$[K^+]_1 < [K^+]_2$$

$$[Cl^-]_1 > [Cl^-]_2$$

Do sự chênh lệch nồng độ này ở 2 phía của màng xuất hiện hiệu điện thế nồng độ U_C.

$$U_c = \frac{RT}{ZF} 1n \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} = 0{,}058 \ell g \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2}$$

Vì $\frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} = \frac{[Cl^-]_2}{[Cl^-]_1}$ (từ điều kiện về cân bằng động của hệ) do đó:

$$U_c = 0{,}058 \ell g \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} = 0{,}058 \ell g \frac{[Cl^-]_2}{[Cl^-]_1}$$

2. Lý thuyết ion màng về hiện tượng điện sinh vật

Theo lý thuyết ion màng, trong quá trình hình thành điện thế sinh vật, các ion ở trong dịch bào và ở môi trường ngoài tế bào (đặc biệt các ion K^+, Na^+ ...) cũng như màng tế bào có vai trò quyết định. Cho tới nay lý thuyết này vẫn có nhiều ưu điểm trong việc giải thích các hiện tượng điện sinh vật.

2.1. Lý thuyết ion màng về điện thế nghỉ

Bernstein là người đầu tiên đưa ra lý thuyết ion màng về điện thế sinh vật, theo Bernstein thì ở trạng thái tĩnh màng chỉ thấm đối với K^+ và không thấm đối với ion Na^+ cũng như các anion liên kết với ion K^+. Vì nồng độ các ion K^+ trong tế bào lớn hơn ở ngoài màng rất nhiều nên ion K^+ không ngừng khuếch tán qua màng. Trong khi đó lực hút tĩnh điện các anion và cation đã giữ chúng ở lại màng và làm cho màng bị phân cực một cách bền vững. Như vậy chính sự phân bố không đồng đều các ion do tính thấm chọn lọc của màng là nguyên nhân tạo ra điện thế nghỉ.

Bảng 3.2.1. Nồng độ các ion tạo điện thế nghỉ (Na^+, K^+, Cl^-) ở các đối tượng nghiên cứu khác nhau

Đối tượng nghiên cứu	Nồng độ trong dịch bào (mM)			Nồng độ ở môi trường ngoài (mM)			Tỷ số: Nồng độ trong dịch bào / Nồng độ ở môi trường ngoài		
	Na^+	K^+	Cl^-	Na^+	K^+	Cl^-	Na^+	K^+	Cl^-
Thần kinh ếch	37	110	26	110	2,6	77	0,340	42	0,048
Cơ ếch	15	125	1,2	110	2,6	77	0,140	48	0,016
Tim chuột cống	13	140	1,2	150	4,0	120	0,087	35	0,010
Cơ vân của chó	12	140	1,2	150	4,0	120	0,080	35	0,010

http://tieulun.hopto.org

Quan điểm của Bernstein đã được Boyle và Convey phát triển: ở trạng thái tĩnh, bộ ba các ion trên được phân bố tại ở 2 phía của màng tế bào giống như sự phân bố các ion ở trường hợp cân bằng Donnan.

Điện thế nghỉ U được xác định bởi tỷ số các nồng độ của ion K^+ (hoặc của ion Cl^-) có khả năng khuếch tán qua màng ở trong và ở bên ngoài tế bào.

$$U = 0{,}058 \lg \frac{[K^+]_{trong}}{[K^+]_{ngoài}} = 0{,}058 \lg \frac{[Cl^-]_{ngoài}}{[Cl^-]_{trong}}$$

Bằng thực nghiệm Boyle và Convey đã chứng minh rằng khi nồng độ ion K^+ ở môi trường ngoài có giá trị từ 13 đến 300mg/l, các ion Cl^- và K^+ được phân bố ở hai phía của màng đúng theo quy luật cân bằng Donnan.

$$\frac{[K^+]_{trong}}{[K^+]_{ngoài}} = \frac{[Cl^-]_{ngoài}}{[Cl^-]_{trong}}$$

Tuy nhiên giả thuyết trên hầu như bị bác bỏ hoàn toàn khi nhờ kỹ thuật đánh dấu phóng xạ người ta phát hiện rằng các ion Na^+ cũng có thể xâm nhập qua màng vào trong tế bào được. Mặc dù vậy Deen vẫn nhận xét một cách sâu sắc rằng: Cho dù màng tế bào có thấm các ion Na^+, qui luật cân bằng Donnan vẫn có thể ứng dụng đúng cho các quá trình phân bố các ion Na^+, K^+, Cl^- ở hai phía của màng nếu giả thiết rằng các ion Na^+ có khả năng vận chuyển ngược chiều gradiêng nồng độ để lọt ra ngoài tế bào với tốc độ đúng bằng tốc độ dòng ion Na^+ đi vào trong tế bào. Ý kiến của Deen, đặc biệt là giả thuyết về khả năng vận chuyển ion Na^+ ra ngoài tế bào đã được nhiều thực nghiệm xác minh. Deen cùng với Boyle, Convey được xem là đã góp phần quan trọng trong quá trình tìm hiểu bản chất của điện thế nghỉ.

Những nghiên cứu tiếp theo bằng phương pháp đánh dấu phóng xạ và ghi đo điện thế nghỉ cho thấy rằng muốn tính đúng giá trị của điện thế này cần đưa thêm vào công thức hệ số thấm của màng tế bào đối với các ion K^+, Na^+ và Cl^-.

Theo Goldman, nếu:

– Màng tế bào có tính chất đồng nhất và điện trường ở đó không đổi.

– Dung dịch điện ly coi như là lý tưởng, nghĩa là không có yếu tố nào ngăn cản các ion đến tiếp xúc với các điện cực.

– Chỉ có các ion hoá trị 1 tham gia vào sự hình thành điện thế nghỉ.

– Môi trường ở hai phía màng tế bào rộng vô tận. Khi đó điện thế nghỉ sẽ được tính theo công thức sau:

$$U = \frac{RT}{F} \ln \frac{Pk[K^+]_{trong} + P_{Na}[Na^+]_{trong} + P_{Cl}[Cl^-]_{ngoài}}{Pk[K^+]_{ngoài} + P_{Na}[Na^+]_{ngoài} + P_{Cl}[Cl^-]_{trong}}$$

Trong đó P_K, P_{Na}, P_{Cl} là hệ số thấm của màng lần lượt đối với các ion K^+, Na^+, Cl^-.

http://tieulun.hopto.org

Các giá trị điện thế nghỉ tính được từ phương trình Goldman tương đối phù hợp với các giá trị thu được từ thực nghiệm.

2.2. Lý thuyết ion màng về điện thế hoạt động

Bernstein đã giải thích sự xuất hiện của điện thế hoạt động như sau: Khi tế bào ở trạng thái hưng phấn màng tế bào thấm tất cả các loại ion. Vì vậy, điện thế nghỉ, kết quả của sự phân bố không đồng đều các ion ở hai phía của màng sẽ mất đi. Dòng các anion từ trong tế bào ra ngoài làm cho giá trị điện thế nghỉ ở 2 phía của màng sẽ biến đổi từ giá trị điện thế nghỉ xuống giá trị 0 và như vậy điện thế hoạt động điện thế nghỉ về giá trị. Giả thiết này của Bernstein tồn tại mãi cho tới khi Hodgkin, Huxley (1938), Cole và Curtis (1939) phát hiện ra rằng giá trị của điện thế hoạt động lớn hơn giá trị điện thế nghỉ, tức là sau khi khử cực màng hoàn toàn, điện thế hoạt động tiếp tục tăng và đạt tới giá trị nào đó.

Sau này Côle và Cơtis cho rằng tính thấm của màng thay đổi phụ thuộc vào trạng thái của tế bào và đã giải thích được kết quả thí nghiệm của Hodgkin và Huxley mà Bernstein chưa giải thích được: Khi tế bào ở trạng thái hưng phấn tính thấm của màng đối với ion Na^+ tăng lên, dòng các ion Na^+ từ ngoài đi vào tế bào lớn hơn dòng các ion K^+ từ trong tế bào ra ngoài thì sự phân cực của màng bị đảo ngược so với lúc nghỉ ngơi và kết quả là điện thế hoạt động lớn hơn hiệu điện thế nghỉ về giá trị. Tế bào trở lại trạng thái với sự phân bố của các ion như lúc đầu (nghỉ ngơi) là nhờ quá trình dịch chuyển các ion đó ngược chiều gradien điện hoá nhờ năng lượng của quá trình trao đổi chất.

Nhiều kết quả thực nghiệm đã chứng minh vai trò của ion Na^+ và sự thay đổi tính thấm của màng trong quá trình hình thành điện thế hoạt động. Thí nghiệm của Hodgkin (1949) chỉ ra rằng khi giảm nồng độ Na^+ ở môi trường xung quanh tế bào thì đỉnh tương ứng của điện thế hoạt động sẽ giảm đi. Khi môi trường xung quanh không có ion Na^+ thì đỉnh của điện thế hoạt động (phần gai nhọn nhô lên quá giá trị 0) cũng mất đi tức là điện thế hoạt động và điện thế nghỉ bằng nhau về giá trị. Thí nghiệm tương tự với các ion K^+, Ca^{++}, Cl^- hoàn toàn không cho những kết quả đặc trưng như vậy. Do đó có thể kết luận chắc chắn về vai trò của ion Na^+ trong quá trình khử cực màng khi tế bào bị kích thích.

– Phương pháp cố định điện thế: Bản chất của phương pháp là thông qua một vi điện cực đặt trong tế bào và một điện cực ở bên ngoài màng người ta đặt một điện áp khử cực có giá trị được ổn định nhờ bộ khuếch đại có mối liên hệ ngược. Đồng thời thông qua một hệ điện cực khác ta thu nhận và ghi lại dòng điện xuất hiện trong từng trường hợp thí nghiệm. Nhờ phương pháp này Hodgkin, Katz và Huxley (1952) đã giải thích được khá rõ cơ chế của điện thế hoạt động. Kết quả thực nghiệm có thể tóm tắt như sau:

* Nếu khử cực màng ở mức độ thấp (điện áp khử cực cố định khoảng 10 - 15 mV) thì thấy xuất hiện dòng điện do sự vận chuyển các ion từ trong tế bào ra ngoài.

* Nếu khử cực màng ở mức độ cao hơn (điện áp từ 20 - 100mV) thì giai đoạn đầu khoảng 2-3 ms xuất hiện một dòng các ion đi vào trong tế bào. Sau đó dòng các ion lại đổi chiều đi ra ngoài tế bào. Màng bị khử cực càng mạnh thì dòng các ion đi ra ngoài tế bào càng tăng. Nếu ở môi trường xung quanh tế bào không có muối Na^+,

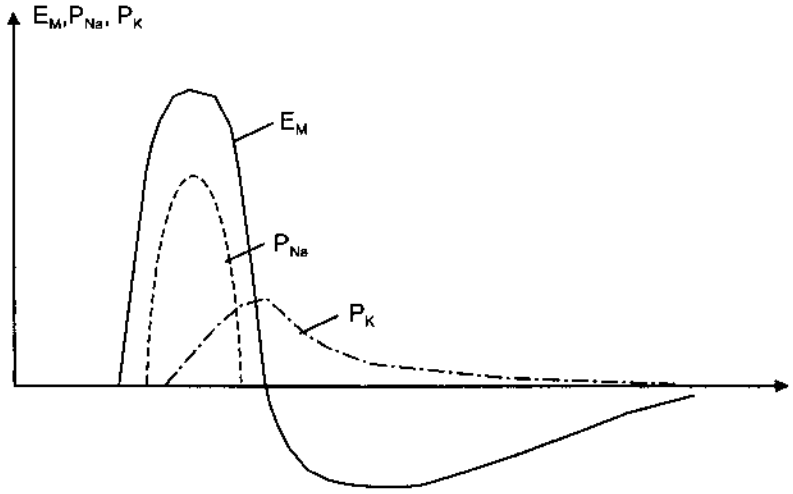
http://tieulun.hopto.org

người ta thấy dòng các ion ở giai đoạn đầu mất đi. Điều này chứng tỏ khi màng bị khử cực tới một mức độ nào đó thì điện trở của màng giảm đi, tính thấm của nó lại tăng lên, do đó lực do gradien nồng độ làm cho các ion Na^+ dịch chuyển lớn hơn lực điện trường do điện áp khử cực cố định đặt tại màng. Kết quả là ion Na^+ thấm qua màng vào tế bào theo gradien nồng độ.

* Nếu khử cực màng với điện áp có giá trị cân bằng với lực do gradien nồng độ ion Na^+ tạo ra dòng điện ở giai đoạn đầu mất đi và chỉ có dòng điện thứ hai xuất hiện. Bằng phương pháp đánh dấu phóng xạ Hodgkin và Huxley đã chứng minh rằng dòng điện thứ hai chính là dòng các ion K^+ theo chiều gradien nồng độ đi ra ngoài tế bào.

Từ các kết quả trên chúng ta có thể giải thích được sự xuất hiện của điện thế hoạt động như sau:

Màng tế bào có tính thấm chọn lọc đối với các ion nên ở trạng thái tĩnh đã tạo ra một hiệu điện thế được tính theo phương trình Goldman ($P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0,04 : 0,45$). Khi tế bào ở trạng thái hưng phấn, tính thấm chọn lọc của màng thay đổi ($P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0,45$). Cụ thể là ở giai đoạn đầu của điện thế hoạt động, tính thấm của màng đối với các ion Na^+ tăng vọt lên, sau đó tính thấm lại tăng chậm đối với các ion K^+. Sự thay đổi này không xảy ra cùng một lúc và lệch pha nhau (hình 3.2.2). Do đó sự thay đổi tính thấm, các ion Na^+ sẽ thấm qua màng vào tế bào, dòng điện do các ion này tạo ra càng lớn thì màng tế bào bị khử cực càng mạnh.



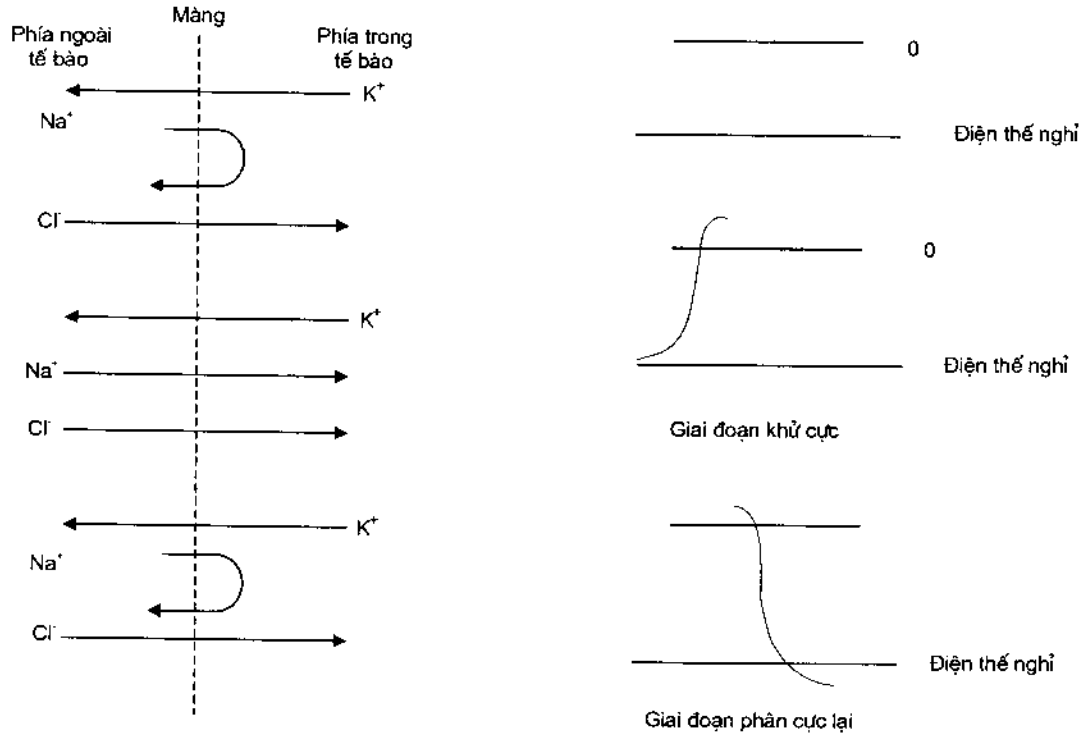
Hình 3.2.2

Quá trình khử cực tiếp diễn cho tới khi hiệu điện thế thế màng vượt quá giá trị O, tiến tới giá trị xấp xỉ với điện thế do sự chênh lệch nồng độ ion Na^+ giữa 2 phía của màng.

$$U_{Na} = \frac{RT}{F} \ell n \frac{\left[Na^+\right]_{ngoài}}{\left[Na^+\right]_{trong}}$$

http://tieulun.hopto.org

Tiếp đó tính thấm của màng với ion Na^+ lại bị ức chế, tính thấm lại tăng đối với ion K^+. Dòng các ion K^+ đi từ trong tế bào ra ngoài theo gradien nồng độ được tăng cường làm cho điện tích phía trong màng ngày càng âm nhiều hơn, nghĩa là màng bị phân cực lại. Hiệu điện thế màng sẽ trở về quá giá trị điện thế nghỉ một chút, đó là hiện tượng quá phân cực. Hình 3.2.3 trình bầy sự biến đổi các dòng ion K^+, Na^+ trong quá trình tạo điện thế hoạt động.



Hình 3.2.3

Người ta tính được rằng cứ 0,01s, cơ và thần kinh có thể phản ứng với vài triệu xung điện đến kích thích, do vậy ở trong tế bào lượng ion K^+ giảm đi, ion Na^+ tăng lên đáng kể. Để điều chỉnh cho nồng độ các ion này ở hai phía của màng tế bào có giá trị không đổi, sau mỗi lần kích thích trong cơ và thần kinh phải xảy ra một quá trình vận chuyển K^+ và Na^+ theo chiều ngược lại. Đó là quá trình vận chuyển chủ động, ngược chiều với gradien nồng độ mà chúng ta đã nghiên cứu ở chương 2.

2.3. Hạn chế của thuyết ion màng về hiện tượng điện sinh vật

– Lý thuyết ion màng không chỉ rõ theo cơ chế nào mà tính thấm của màng thay đổi với các ion Na^+, K^+ trong các giai đoạn của điện thế hoạt động. Các nghiên cứu gần đây đã xác định rằng trong màng tế bào có các kênh dẫn riêng cho từng loại ion cấu tạo bởi các phân tử protein, việc đóng mở các kênh này phụ thuộc vào sự thay đổi tính chất của màng và do đó sẽ ảnh hưởng đến sự định hướng của các nhóm tích điện cũng như sự phân bố lại các đại phân tử protein trong màng và nếu như các đại phân tử protein này tham gia vào thành phần cấu tạo nên kênh dẫn thì kết quả sẽ dẫn đến sự thay đổi tính thấm của màng đối với các ion.

http://tieulun.hopto.org

– Trong hoạt động điện của cơ và thần kinh, lý thuyết ion màng chưa giải thích được vai trò của ion hoá trị 2 và hoá trị 3, mặc dù có nhiều kết quả thực nghiệm khẳng định vai trò của ion Ca^+ trong quá trình hình thành điện thế hoạt động.

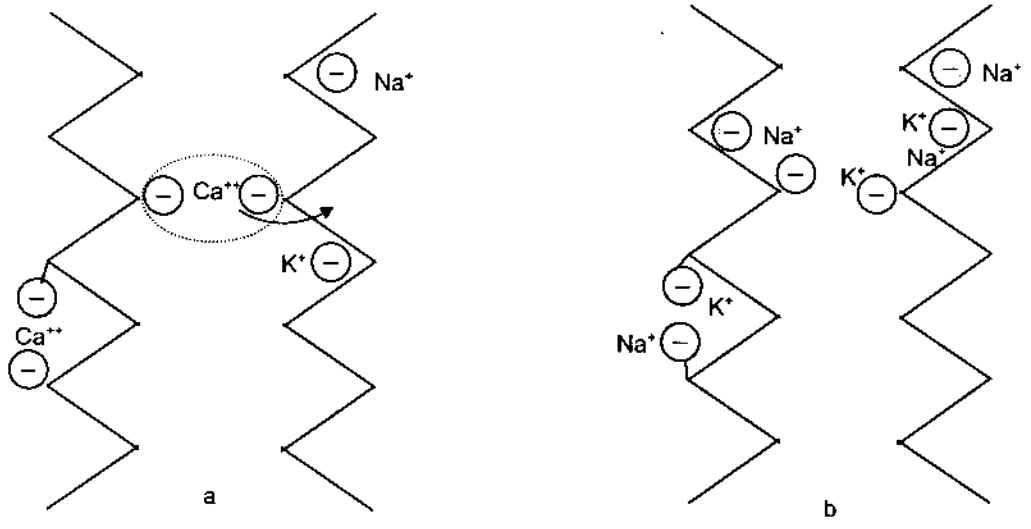
– Thuyết ion màng đã thiếu sót khi cho rằng toàn bộ các ion ở 2 phía của màng ở trạng thái tự do, nghĩa là có thể khuếch tán qua màng. Thực nghiệm đã chứng minh rằng trong cơ có một lượng các ion K^+ nhất định ở trạng thái liên kết và chúng không tham gia vào quá trình tạo nên điện thế sinh vật.

Lý thuyết ion màng chưa chú ý đến vai trò của màng: khi tế bào bị kích thích, trong màng xảy ra sự biến đổi về cấu trúc, hình dạng của các phần tử cấu tạo nên màng.

2.4 Vai trò của các ion Ca^{++} trong hoạt động điện của tế bào

Nhiều thực nghiệm đã cho thấy sự tham gia của ion Ca^{++} vào hoạt động điện của tế bào cụ thể là ion Ca^{++} tham gia khử cực màng các loại tế bào kể sau bị kích thích: tế bào cơ trơn, cơ tim, nơron thần kinh ở một số loại động vật có xương sống. Tính chất chung đối với những loại tế bào này là sự tồn tại của kênh "Calci" và điện thế hoạt động có bản chất Natri - Calci. Nhiều nhà nghiên cứu đã giả thiết rằng ở màng tồn tại các kênh dẫn "nhanh" và "chậm", khi tế bào bị kích thích các kênh dẫn "nhanh" cho dòng ion Na^+ đi vào tế bào và hình thành giai đoạn đầu của điện thế hoạt động, sau đó các kênh dẫn chậm sẽ tiếp tục cho ion Na^+, Ca^{++} đi qua hoàn thành quá trình khử cực. Chính sự có mặt của các nhóm có ái lực khác nhau đối với các ion thấm ở kênh có thể cho ion này đi qua và giữ các ion khác lại.

– Bên cạnh đó người ta cho rằng ion Ca^{++} có tham gia vào cấu trúc lớp ngoài màng tế bào. Khi tế bào ở trạng thái kích kích, lượng ion Ca^{++} trong màng giảm đi, do đó tính dẫn diện cũng như tính thấm của màng tế bào thay đổi. Để hiểu rõ điều này cần nghiên cứu những biến đổi về cấu trúc của protein hoặc phospholipid, là những đại phân tử mà ion Ca^{++} có thể đến kết hợp, khi tế bào từ trạng thái nghỉ ngơi chuyển sang trạng thái hoạt động (hình 3.2.4).



Hình 3.2.4

http://tieulun.hopto.org

Ở trạng thái nghỉ (hình 3.2.4a) chúng ta chỉ cần lưu ý đến mối liên kết phân tử clo ion Ca^{++} gắn với 2 điện tích âm thuộc 2 đại phân tử cạnh nhau. Ở trạng thái kích thích ion Ca^{++} tách ra khỏi 2 đại phân tử. Dòng cation hoá trị 1, từ bên trong tế bào khuếch tán đến màng, đi tới các vị trí mà ion Ca^{++} vừa rời khỏi, mỗi cation kết hợp với một điện tích âm của đại phân tử. Như vậy tại mỗi vị trí của 1 cation Ca^{++} được thay thế bằng 2 cation hoá trị 1 (Na^+ hay K^+) (hình 3.2.4b) kết quả là:

– Liên kết phân tử bị đứt, khoảng cách giữa các đại phân tử protid hay lipid cấu tạo nên màng tăng lên, cấu trúc màng trở nên lỏng lẻo.

– Tỷ số giữa các ion hoá trị 1 và hoá trị 2 tăng lên, nói khác đi là số lượng các hạt màng điện đến màng tăng lên.

Do đó tính thấm của màng đối với các ion hoá trị 1 tăng lên, điện trở của màng giảm đi và điện thế hoạt động xuất hiện. Sau khi điện thế hoạt động chấm dứt, nếu tế bào không bị kích thích, các cation hoá trị 1 lại rời khỏi các nhóm mang điện tích âm, nhường lại chỗ cho ion Ca^{++} và màng lại có cấu trúc như lúc nghỉ ngơi

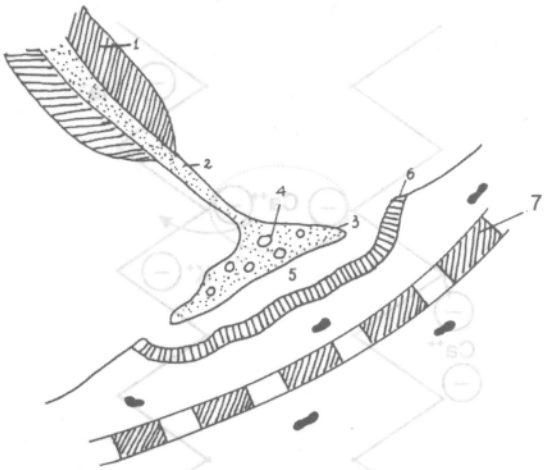
3. Sự dẫn truyền hưng phấn từ thần kinh đến cơ

3.1. Cấu trúc vùng tiếp giáp thần kinh cơ: synap

Chúng ta đã biết là nhánh trục của dây thần kinh vận động được phân nhánh và có những nhánh tận cùng để tiếp xúc với tế bào cơ. Tại đó có một cấu trúc đặc biệt để thực hiện chức năng chuyển tiếp các tín hiệu từ thần kinh xuống cơ, gọi cấu trúc đó là synap thần kinh - cơ (hình 3.2.5). Các nghiên cứu tỉ mỉ cho biết:

– Trước khi tới cơ, sợi trục thần kinh đã mất lớp vỏ bọc myelin ở ngoài

– Nhánh tận cùng xoè ra một diện tích tiếp xúc với màng tế bào cơ khá rộng (khoảng 1000μm^2) gọi là đĩa synap trước.



1. Vỏ myelin.
2. Sợi trục thần kinh.
3. Đĩa synap trước.
4. Nang synap
5. Khe synap
6. Đĩa synap sau.
7. Tơ cơ nằm trong tế bào cơ.

Hình 3.2.5

http://tieulun.hopto.org

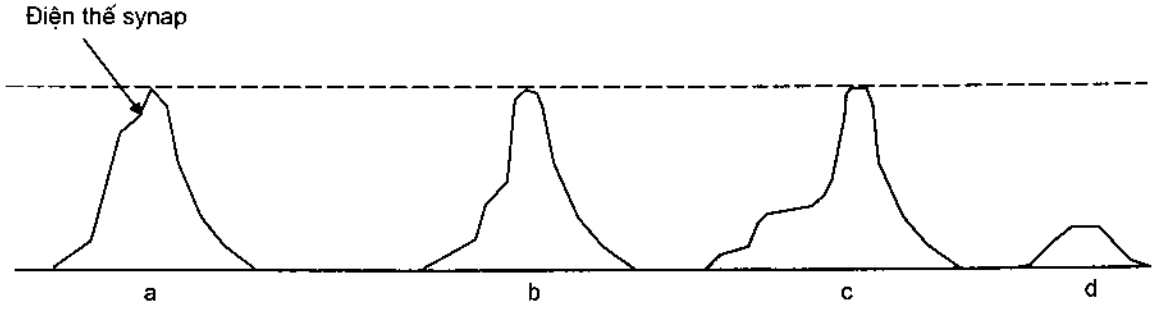
Phía tế bào cơ, ở vùng tiếp xúc này trong dịch bào cũng có nhiều tiểu vật và nhân hơn chỗ khác. Màng tế bào ở đây có cấu trúc đặc biệt gọi là đĩa synáp sau.

Giữa hai đĩa trước và sau của synáp có một khe hẹp gọi là khe synap rộng khoảng từ 10 - 100nm. Ở đĩa synáp trước có các nang với đường kính 20-50Å, ở đĩa synap sau, màng tế bào có đến 5 lớp và chiều dầy đạt tới 50-80nm. Ở đó có các cấu trúc hình que xếp song song với nhau và cắm vuông góc với bề mặt màng tế bào cơ. Hệ thống này làm cho tế bào cơ dìm sâu vào dịch bào và tăng diện tích tiếp xúc của tế bào cơ với synap.

3.2. Điện thế synap

Từ 1938 người ta đã biết trong quá trình dẫn truyền hưng phấn từ thần kinh xuống cơ, ở synap ngoài điện thế hoạt động còn có điện thế khác nữa gọi là điện thế synap. Thí nghiệm sau chứng tỏ sự tồn tại của điện thế đó. Ngâm cơ vào dung dịch curare, chất curare chống lại tác dụng của acetylcholin trong việc khử cực màng do đó curare sẽ làm giảm điện thế synap. Thật vậy, khi khảo sát ảnh hưởng của curare sau những khoảng thời gian ngâm cơ khác nhau (hình 3.2.6) Kuffler đã nhận thấy: thời gian ngâm cơ càng lâu thì độ lớn của điện thế synap càng giảm, thời gian ủ của điện thế hoạt động càng tăng (nhánh lên của điện thế hoạt động càng kéo dài) nhưng giá trị của điện thế hoạt động vẫn không đổi (hình 3.2.6b,c). Khi điện thế synap nhỏ đến một giá trị nào đó thì điện thế hoạt động không xuất hiện và mối liên hệ thần kinh cơ bị ngắt. Các nghiên cứu cho thấy điện synap tồn tại ở vùng synap thần kinh - cơ và kéo dài trong khoảng thời gian 10ms (hình 3.2.6d).

Điện thế synap đóng một vai trò quan trọng trong cơ chế dẫn truyền hưng phấn từ thần kinh xuống cơ.



Hình 3.2.6

3.3. Cơ chế dẫn truyền hưng phấn từ thần kinh xuống cơ qua synap

3.3.1. Thuyết dẫn điện trực tiếp (vật lý): Từ lâu người ta cho rằng hưng phấn thần kinh truyền qua synap về bản chất cũng là tiếp tục quá trình dẫn truyền như đã xảy ra trên sợi trục thần kinh hoặc trong các tế bào. Điều đặc biệt là ở đây synap có tác dụng như một điôt, chỉ cho điện thế hoạt động truyền theo một chiều xác định là đi từ thần kinh xuống cơ mà không có chiều ngược lại. Đồng thời tốc độ truyền qua synap chậm hơn trên các sợi trục thần kinh. Sự chậm trễ đó đạt tới giá trị 0,1ms.

http://tieulun.hopto.org

Lapic đã có những thí nghiệm chứng minh rằng các hưng phấn chỉ truyền được từ thần kinh xuống cơ khi nào thời trị crônăcxi của thần kinh đó và của cơ có giá trị tương đương. Đó là sự đồng thời trị.

Tuy vậy ta thấy điện trở của đĩa synap và khe synap khá lớn nên điện thế hoạt động của nhánh cùng thần kinh vận động chỉ có thể khử cực màng tế bào không quá 1μV và tất nhiên như vậy thì không thể đạt tới mức độ khử cực đủ để tạo ra điện thế hoạt động tại màng tế bào cơ. Hơn nữa khe synap lại khá rộng (giữa hai tế bào thần kinh khoảng 15 - 20nm, giữa tế bào thần kinh và cơ khoảng 100nm) nên dòng điện khi đi qua khe sẽ phải giảm đi rõ rệt. Điều đó rất cản trở cho sự dẫn điện trực tiếp từ thần kinh xuống cơ.

Gần đây người ta cho rằng ở vùng tiếp xúc thần kinh cơ có các cấu trúc đặc biệt thuận lợi cho việc dẫn truyền trực tiếp:

– Có các mạch "sơn" (shunt) như trong mạch điện kỹ thuật, vật chất cấu tạo nên mạch "sơn" có điện trở suất rất thấp khoảng 1Ωcm.

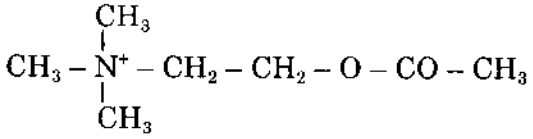
– Có các cầu nối nhỏ để truyền điện thế xuống tế bào cơ.

– Màng tế bào có những lỗ hổng lớn, ở đó có điện trở suất rất thấp.

Dù sao đó cũng chỉ là những giả thuyết và chưa được chứng minh đầy đủ bằng hình ảnh siêu cấu trúc hoặc bằng các kỹ thuật lý sinh phân tử

Cơ chế dẫn truyền trực tiếp qua synap giữ vai trò chủ yếu ở những vùng tiếp xúc thần kinh - cơ tương đối chặt chẽ, còn ở những vùng thần kinh - cơ có khe synap rộng thì đặc trưng lại là cơ chế dẫn truyền gián tiếp.

3.3.2. Thuyết dẫn truyền gián tiếp (hoá học): Trong cơ chế này người ta cho rằng có một chất hoá học làm trung gian cho quá trình dẫn truyền hưng phấn qua synap. Đó là chất acetylcholin có công thức:



Chức năng của acetylcholin là dẫn truyền các xung động thần kinh từ các nhánh của cùng thần kinh vận động tới các sợi tơ cơ và làm co cơ.

Các kết quả thí nghiệm sau đã chứng minh vai trò trung gian của acetylcholin:

Khi kích thích vào nhánh trục của dây thần kinh vận động, ta thấy lượng acetycholin tiết ra nhiều hơn ở synap. Khi quá trình dẫn truyền hưng phấn tắc thì lượng acetylcholin tiết ra giảm đi.

– Tiêm acetylcholin vào động mạch có thể gây ra hoạt động co cơ. Nếu giỏ trực tiếp vào vùng synap thần kinh - cơ nồng độ của dung dịch cần rất thấp và lượng acetylcholin rất nhỏ cũng đã gây được co cơ.

http://tieulun.hopto.org

– Acetylcholin có tác dụng làm mất sự phân cực ở màng tế bào nghĩa là làm biến đổi điện thế nghỉ của tế bào cơ. Men acetylcholinesterase phân huỷ acetylcholin do đó có tác dụng ức chế hoạt động của acetylcholin trên tế bào cơ. Chất curare ức chế tác dụng của acetylcholin nên cơ không co rút được.

– Tìm thấy acetylcholin ở các nang đĩa synap trước và đĩa synap sau có nhiều men acetylcholinesterase. Từ đó ta có thể xây dựng cơ chế dẫn truyền hưng phấn như sau:

Khi xung thần kinh tới đĩa synap trước, acetylcholin được tiết ra từ các nang và khuếch tán vào khe synap. Tới đĩa synap sau acetylcholin gắn với các trung tâm thụ cảm ở đĩa này và làm tăng tính thấm của màng đối với các ion, do đó điện trở của màng giảm đi và xuất hiện dòng các ion Na^+ đi vào tế bào, kết quả làm cho màng synap sau bị khử cực. Đồng thời, tính thấm của màng với ion K^+ cũng tăng, do đó điện thế synap không vượt quá giá trị 0. Mức độ khử cực của màng synap sau đủ để gây ra 1 dòng điện tại chỗ có giá trị lớn hơn ngưỡng cần thiết để gây nên trạng thái hưng phấn các tế bào lân cận. Do đó điện thế hoạt động được lan truyền trên sợi thần kinh đã được truyền sang tế bào cơ và tiếp tục lan theo mọi hướng, kết quả gây ra hiện tượng co cơ.

Chú ý là ở đây sự thay đổi tính thấm của màng synap sau dưới tác dụng của acetylcholin không phụ thuộc vào điện thế màng tế bào cơ. Do đó sự thay đổi này không có tính chất tái sinh, khác với quá trình xảy ra khi kích thích điện đối với tế bào cơ, lúc này sự thay đổi tính thấm của màng sẽ phụ thuộc điện thế màng tế bào cơ và do đó có tính chất tái sinh, tức là dẫn tới sự tăng vọt giá trị điện thế hoạt động.

Quá trình giải phóng ra acetylcholin ở đĩa synap trước cần sự có mặt của ion Ca^{++} nhưng sự có mặt của ion Mg^{++} lại ức chế quá trình này. Khi tế bào cơ ở trạng thái tích cực hoạt động kéo dài lượng acetylcholin tổng hợp được không đủ thì tế bào cơ sẽ không phản ứng được với các kích thích từ thần kinh tới.

Thuyết kết hợp lại cơ chế trực tiếp và gián tiếp: Theo thuyết này phân tử acetylcholin có tính phân cực. Bình thường chúng sắp xếp lộn xộn và nằm dự trữ trong các nang. Khi có hưng phấn kích thích, dưới tác dụng của điện trường, chúng được tiết ra và sắp xếp lại theo một chiều nhất định làm cho hưng phấn truyền được qua khe synap từ thần kinh xuống cơ. Các phân tử acetylcholin đóng vai trò như những cầu nối.

Ngày nay người ta tập trung những vào vai trò của acetylcholin vì dù sao cũng phải thừa nhận rằng cơ chế dẫn truyền qua aynap khác với cơ chế xảy ra trong các sợi thần kinh.

III. LÝ SINH HIỆN TƯỢNG CO CƠ

Trong cơ thể có 3 loại cơ: cơ vân bám vào hệ xương, cơ trơn có ở thành mạch máu, các cơ quan trong cơ thể và cơ tim. Hệ thống cơ vân có gần 300 cơ với khối lượng rất lớn và không những đảm bảo cho cơ thể giữ cân bằng trong không gian, đi lại, thực hiện một số chức năng sinh lý quan trọng như thở, ăn ... mà còn làm cho con người có khả năng lao động góp phần cải tạo thiên nhiên, môi trường và phát triển thể lực, sức khoẻ của con người. Hoạt động chủ yếu của các cơ là sự co giãn, vì

http://tieulun.hopto.org

vậy lý sinh nghiên cứu cấu trúc của cơ để hiểu về những tính chất cơ học đặc hiệu của nó, cơ chế co cơ và hiệu quả của hiện tượng đó.

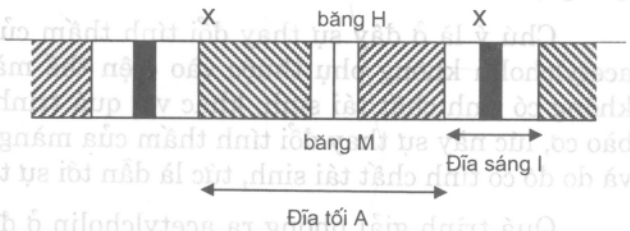
1. Cấu trúc và hình thái của cơ

Mô cơ vân được sắp xếp thành từng cơ trong cơ thể. Mỗi cơ có cấu tạo chung giống nhau và đều được bao bọc bởi bao xơ, màng cân và tận cùng bằng gân để bám vào các xương, khớp. Đa số các cơ có 2 đầu bám tận và có những chức năng co giãn xác định. Nếu xem xét kỹ ta thấy chúng được sắp xếp thành bó mà mỗi bó cơ do nhiều tế bào cơ sắp xếp thành.

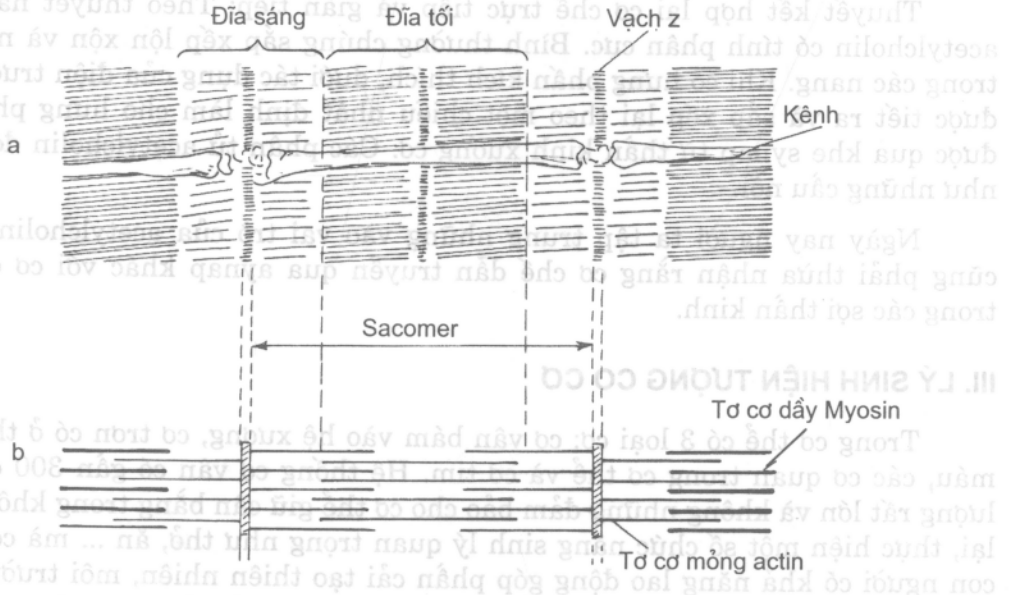
1.1. Cấu tạo, hình thái của tế bào cơ vân

Tế bào cơ vân có tên là sợi cơ có dạng sợi với đường kính khoảng 10μm đến 100μm, nhưng có chiều dài khác nhau từ vài mm đến hàng chục cm. Đó là một tế bào khổng lồ, có nhiều nhân. Điều đặc biệt ở đây là trong bào tương của tế bào cơ ngoài có các bào quan và tiểu vật như của tế bào khác còn chứa các tơ cơ.

Tơ cơ là đơn vị hoạt động chức năng co giãn của tế bào cơ. Chúng được sắp xếp song song theo chiều dọc trong tế bào cơ, và chụm lại ở 2 đầu. Tơ cơ có đường kính trung bình là 1μm và chiều dài trung bình là 100 μm cách nhau bởi những màng mỏng. Hình 3.3.1 và 3.3.2 cho ta hình dung chi tiết cấu trúc của một tơ cơ.



Hình 3.3.1. Sơ đồ cấu trúc tơ cơ



Hình 3.3.2. Hình ảnh cấu trúc Sacomen của cơ trên kính hiển vi điện tử

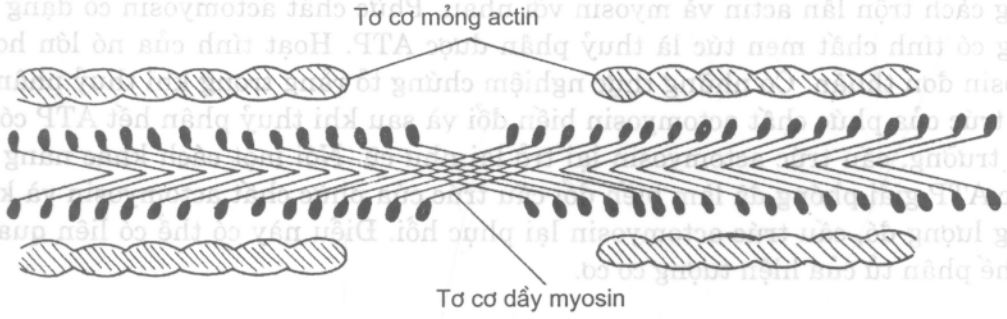
http://tieulun.hopto.org

Quan sát tiêu bản nhuộm tơ cơ trên kính hiển vi ta thấy trên tơ cơ vân có những vạch sẫm gọi là vạch z. Ngoài ra có những vùng tối và sáng xen kẽ nhau và cắt ngang tơ cơ. Phần tơ cơ giữa 2 vạch z kế tiếp nhau gọi là đơn vị cấu trúc của tơ cơ (đvcttc): Sarcom: ở giữa đvcttc có băng H, đối xứng 2 bên băng H là 2 băng có màu tối hơn gọi là băng M. Gọi chung cả 3 băng H và M này là đĩa tối A. Vùng sáng nằm giữa 2 đĩa tối là đĩa sáng bao gồm cả vạch z. Ở bất cứ tơ cơ nào cũng có các đĩa sáng tối đó xen kẽ nhau, do đó ta quan sát được các vạch có mầu sắc khác nhau trên kính hiển vi.

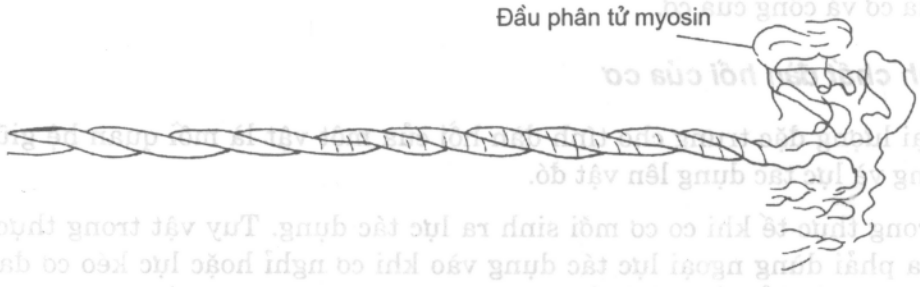
Bằng kính hiển vi điện tử ta hiểu rõ hơn siêu cấu trúc của tơ cơ và đvcttc. Thực ra tơ cơ được cấu tạo bởi những đơn vị nhỏ hơn gọi là xơ cơ. Có 2 loại xơ cơ:

– Xơ cơ myosin dầy chứa chất myosin, có đường kính trung bình là 10nm, dài 10μm.

– Xơ cơ actin mỏng chứa chất actin, có đường kính trung bình là 6 nm, một đầu gắn với màng đáy z chúng được sắp xếp song song và xen kẽ nhau. Qua hình 3.3.2b ta thấy rõ vì sao có các đĩa tối và đĩa sáng. Ở đĩa tối có cả co cơ myosin và xơ cơ actin xen kẽ nhau còn trong đĩa sáng chỉ có xơ cơ actin. Trong đĩa tối cũng có sự khác nhau giữa băng H và các băng M. Khi nhìn xuyên qua băng H ta chỉ thấy các xơ cơ myosin sắp xếp thành từng lớp chồng lên nhau và những dải nối liền các xơ cơ actin với nhau. Nếu nhìn xuyên qua băng M ta thấy cả xơ cơ myosin và xơ cơ actin. Trên thiết đồ nằm ngang của tơ cơ ta thấy xung quanh mỗi xơ dầy myosin có đến 6 xơ mỏng actin bao bọc đều (hình 3.3.3). Bao bọc quanh tế bào cơ là màng lipid - protein (sarcoleman) tạo ra hệ thống ống kênh T vào trong tế bào cơ.



Hình 3.3.4. Sơ đồ sắp xếp các phân tử myosin trong tơ cơ



Hình 3.3.5. Cấu trúc không gian của phân tử myosin

http://tieulun.hopto.org

1.2. Cấu tạo của xơ cơ

Thành phần cấu tạo chủ yếu của xơ dầy là protein myosin và của xơ mỏng là protein actin (hình 3.3.4)

Myosin là protein dạng sợi có trọng lượng phân tử lớn, khoảng 160.000 đơn vị và chiều dài có thể lên đến 1600Å. Cấu tạo phân tử của myosin là 3 mạch peptid xoắn lại với nhau như dây thừng và có một đầu không xoắn trông hình như dùi trống (hình 3.3.5). Đây là đầu hoạt động của phân tử myosin. Các phân tử myosin có thể tự biến động: chúng nối tiếp với nhau thành một sợi dài hoặc tách ra từng phân tử mêrômyosin nhỏ hơn. Quá trình biến đổi này đòi hỏi cung cấp năng lượng.

Thực nghiệm cho thấy là phân tử myosin đóng vai trò như một men xúc tác quá trình thuỷ phân ATP giàu năng lượng khi có mặt ion Ca^{++} và giải phóng ra năng lượng. Người ta cho rằng myosin là yếu tố co rút của tơ cơ.

Actin cũng là một phân tử tồn tại dưới hai dạng:

– Dạng cầu là actin G: có đường kính là 2,5nm và trọng lượng phân tử khoảng 57.000, chiếm 25% các protein của xơ cơ.

– Dạng sợi là actin F: do nhiều actin G liên kết với nhau thành chuỗi dài, do đó có trọng lượng phân tử lớn hơn nhiều.

Nếu đem trộn actin G với ATP ta thấy ATP bị thuỷ phân và được các actin F.

Ngoài ra từ mô cơ còn chiết ra được một phức chất liên kết bởi actin và myosin gọi là actomyosin. Người ta cũng tổng hợp được actomyosin trong phòng thí nghiệm bằng cách trộn lẫn actin và myosin với nhau. Phức chất actomyosin có dạng sợi và cùng có tính chất men tức là thuỷ phân được ATP. Hoạt tính của nó lớn hơn của myosin đơn thuần. Có những thực nghiệm chứng tỏ rằng trong khi thuỷ phân ATP, cấu trúc của phức chất actomyosin biến đổi và sau khi thuỷ phân hết ATP có trong môi trường, cấu trúc actomyosin lại trở lại như cũ. Nói một cách khác năng lượng được ATP giải phóng đã làm biến đổi cấu trúc của phức chất actomyosin và khi hết năng lượng đó, cấu trúc actomyosin lại phục hồi. Điều này có thể có liên quan đến cơ chế phân tử của hiện tượng co cơ.

2. Những đặc tính cơ học của cơ

Hoạt động co cơ đặc trưng bằng các tính chất đàn hồi của cơ, lực co cơ, độ rút ngắn của cơ và công của cơ.

2.1. Tính chất đàn hồi của cơ

Đại lượng đặc trưng cho tính đàn hồi của một vật là mối quan hệ giữa độ dài biến dạng và lực tác dụng lên vật đó.

Trong thực tế khi co cơ mới sinh ra lực tác dụng. Tuy vật trong thực nghiệm chúng ta phải dùng ngoại lực tác dụng vào khi cơ nghỉ hoặc lực kéo cơ đang co để khảo sát sự biến đổi về độ dài của cơ.

http://tieulun.hopto.org

2.1.1. Khi cơ đang ở trạng thái nghỉ

Thông thường người ta dùng các bắp cơ dài có trục song song với trục bám tận của 2 đầu cơ. Cơ được tách ra khỏi cơ thể sinh vật và duy trì trong những môi trường nuôi dưỡng thích hợp. Đặt cơ vào một giá đặc biệt, một đầu cơ cố định và một đầu dùng để treo vào đó các trọng lượng tăng dần để khảo sát sự thay đổi chiều dài của cơ. Ghi các giá trị trọng lượng trên trục tung và giá trị chiều dài trên trục hoành ta được đường cong biểu diễn về mối tương quan giữa lực tác dụng và chiều dài cơ như hình 3.3.6. Đó là đường cong thực nghiệm thu được ở cơ bán mạc của chân sau ếch. Trên thực tế, chiều dài khi chưa có lực tác dụng là $\ell_0 = 38$ mm nhưng vì khi tách ra khỏi cơ thể, cơ bị co lại chỉ còn 36mm. Qua hình vẽ ta thấy chiều dài cơ tăng lên khi lực tăng, nhưng sự biến đổi đó không tuyến tính. Thực nghiệm đã rút ra kết luận là tính đàn hồi của cơ không phải lý tưởng bởi vì:

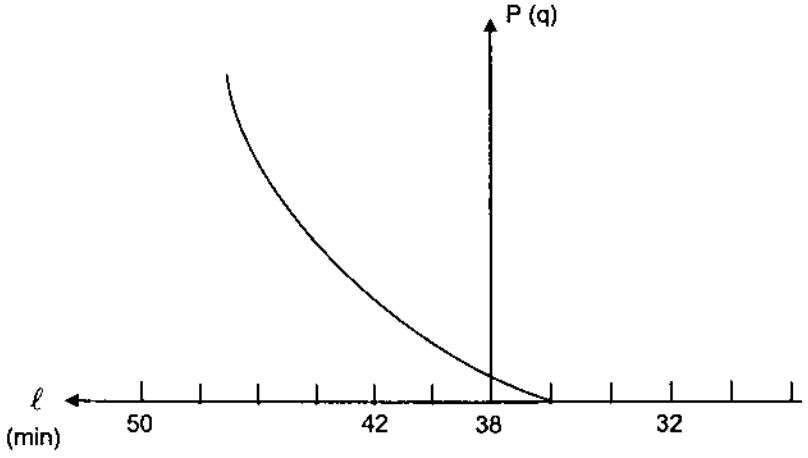
– Quá trình giãn cơ xảy ra chậm có khi đến hàng chục phút khi lực kéo tăng đột ngột.

– Khi loại bỏ lực kéo, sự co rút chiều dài cơ lại càng chậm hơn nữa, vì vậy nếu thí nghiệm trên không tuần tự từ lực kéo nhỏ đến lực kéo lớn mà bị đảo lộn trật tự thì giá trị thu được sẽ khác nhau.

Từ đường cong của đồ thị (hình 3.3.6) chúng ta xây dựng được công thức biểu diễn gần đúng của mối liên hệ giữa chiều dài cơ và lực tác dụng là:

$$\ell = k.\log P$$

trong đó ℓ là chiều dài cơ, P là trọng lực kéo và k là hệ số phụ thuộc vào loại cơ, loại sinh vật và điều kiện thí nghiệm.



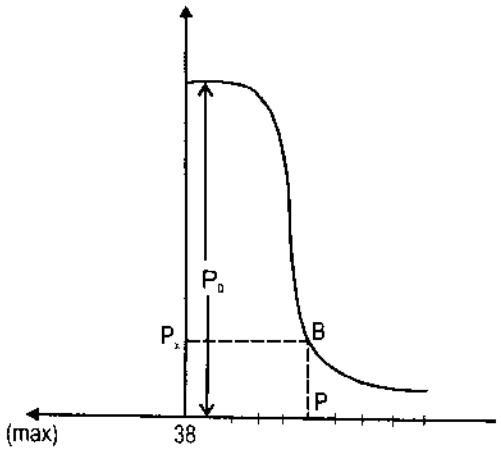
Hình 3.3.6. Mối tương quan giữa chiều dài của cơ ℓ (lúc nghỉ) và lực kéo P

2.1.2. Khi cơ đang co rút

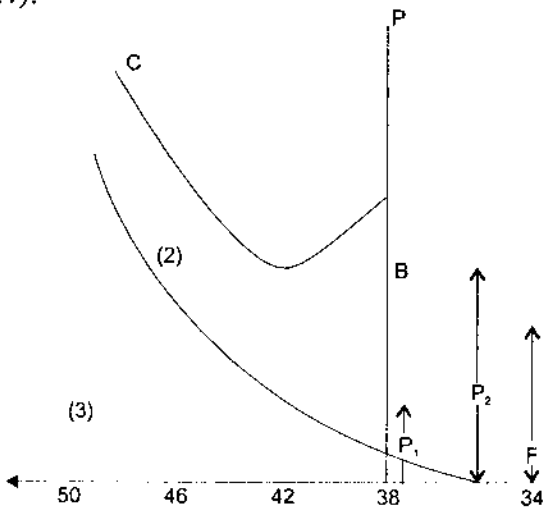
Để gây được sự co rút của cơ trong thực nghiệm, người ta thường dùng một dẫy xung điện kích thích cơ với tần số khoảng 30 Hz, biên độ 2V và thời gian mỗi

http://tieulun.hopto.org

xung khoảng 0,1ms, thời gian kích thích từ 1 đến 10s. Trạng thái thu được sau kích thích là cơ co cứng kiểu uốn ván. Lúc này treo các vật có trọng lượng khác nhau vào một đầu cơ và khảo sát chiều dài biến đổi, ta sẽ thu được đường cong biểu diễn mối tương quan giữa 2 đại lượng đó (hình 3.3.7).



Hình 3.3.7. Mối tương quan giữa chiều dài cơ ℓ (lúc đang co) và lực kéo P



Hình 3.3.8

Khác với trạng thái nghỉ là lúc này chiều dài biến đổi từ giá trị ngắn nhất (lúc co cứng: ℓ_{min}) đến giá trị nghỉ ngơi (ℓ_o). Qua đồ thị ta thấy đoạn AB gần thẳng có nghĩa là tính đàn hồi của cơ lúc này đạt tới mức lý tưởng. Chiều dài tăng gần như bậc nhất với lực tác dụng và đạt giá trị ℓ_0 khi P đạt giá trị cực đại.

2.2. Lực co rút của cơ

Rõ ràng rằng hoạt động co cơ sinh ra lực. Nhìn chung lực xuất hiện khi chiều dài cơ co ngắn lại. Những khảo sát thí nghiệm ở mục trên cho ta khái niệm và mối quan hệ giữa 2 đại lượng đó. Trên cơ thể ta cần phải hiểu là chiều dài của cơ chỉ có thể biến thiên từ giá trị ℓ_0 lúc nghỉ đến giá trị ℓ_{min} lúc co rút tối đa. Giá trị lực của cơ tạo ra khi co lại ở chiều dài ℓ_x nào đó ($\ell_{min} < \ell_x < \ell_0$) ứng với giá trị trọng lực Px tác dụng kéo cơ. Nếu gọi Fx là lực do cơ co tạo ra thì có thể viết:

$$Fx = Px$$

Như vậy đồ thị của hình 3.3.7 cũng là đường cong biểu diễn mối tương quan về sự rút ngắn của cơ lúc co và lực do sự co đó tạo ra.

Từ đường cong của hình 3.3.7 ta có thể tính gần đúng được lực co rút F ứng với độ dài l nào đó của cơ là:

$$F = F_0 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\ell - \ell_{min}}{\ell_0 - \ell_{min}}\right)$$

Nếu đặt $\ell - \ell_{min} = \Delta\ell$: độ co của cơ

$\ell_0 - \ell_{min} = \Delta\ell_{max}$: độ co cực đại của cơ ta có:

http://tieulun.hopto.org

$$F = F_0 \cos(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta\ell}{\Delta\ell_{max}})$$

và cũng chính là: $F = F_0 \cos(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta\ell}{\Delta\ell_{max}})$ trên đồ thị

Trên thực tế có lúc cơ phải hoạt động khi đang phải gánh chịu một trở lực (như trọng lượng ...) tác động thêm. Lúc đó cơ phải co lại khi đã sản sinh được một lực để chống lại lực cản đó. Điều đó có thể hình dung như khảo sát thực nghiệm mối tương quan của lực co cơ tạo ra và độ co của cơ khi cơ đang có một độ dài lớn hơn giá trị ℓ_0 lúc nghỉ. Thực nghiệm cho ta kết quả ở hình 3.3.7. Đường cong biểu diễn quan hệ giữa 2 đại lượng lực và chiều dài. Cũng như ở trên, ta phải hiểu rằng muốn có một chiều dài nào đó càng lớn thì phải kéo một trọng lượng lớn tương đương. Như thế nghĩa là lúc cơ co lại một độ dài ℓ, lực tạo ra lúc đó tương ứng với trọng lượng P thí nghiệm.

So sánh đường cong BC với đường cong (2) ở hình 3.3.8 biểu diễn mối quan hệ giữa lực và độ dài cơ lúc cơ nghỉ ta thấy ngay là: muốn cho cơ co một chiều dài ℓ xác định khi cơ đang co ta phải dùng một trọng lượng P_2 lớn hơn trọng lượng P_1 khi cơ đang nghỉ. Sõ dĩ như thế vì cơ còn phải dùng một lực nữa để thắng lại sức cản

$$P_2 = P_1 + F \longrightarrow F = P_2 - P_1$$

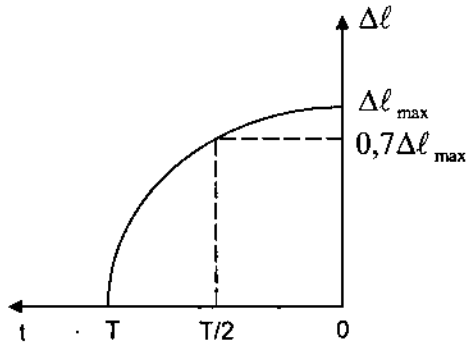
Như vậy khi cơ đã bị một lực tác dụng làm cho độ dài $\ell > \ell_0$ thì đường cong (3) cho ta biết mối quan hệ lực co rút và chiều dài cơ. Đường cong (3) thu được khi lấy giá trị của đường BC trừ đi giá trị đường cong (2) ứng với các giá trị của ℓ.

2.3. Độ co của cơ

Độ co của cơ $\Delta\ell$ là hiệu số của chiều dài ℓ_0 của cơ lúc nghỉ trừ đi giá trị ℓ khi cơ co:

$$\Delta\ell = \ell_0 - \ell$$

Khi khảo sát giá trị $\Delta\ell$ đó, người ta dũng những thiết bị điện tử đặc biệt để ghi đo. Nếu dùng một xung điện đơn kích thích để cơ co thì hình 3.3.9 là đồ thị biểu diễn sự biến thiên $\Delta\ell$ trong chu kỳ co của cơ. Cho kỳ co là thời gian từ lúc cơ bắt đầu co đến lúc co ngắn nhất, nghĩa là lúc đó giá trị $\Delta\ell$ đạt cực đại ($\Delta\ell_{max}$).



Hình 3.3.9. Biến đổi của $\Delta\ell$ theo t

http://tieulun.hopto.org

Từ đồ thị đó chúng ta có thể tính được giá trị của $\Delta\ell$ phụ thuộc vào t.

$$\Delta\ell = \Delta\ell_{max}.\sin(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{t}{T})$$

T là chu kỳ co và t là thời điểm bất kỳ kể từ lúc bắt đầu chu kỳ. Từ công thức đó ta có thể tính một vài giá trị đặc biệt:

Khi $t = \frac{T}{6} \longrightarrow \Delta\ell = \Delta\ell_{max}.\sin\frac{\pi}{12} = 0{,}26\Delta\ell_{max}$

Khi $t = \frac{T}{2} \longrightarrow \Delta\ell = \Delta\ell_{max}.\sin\frac{\pi}{4} = 0{,}71\Delta\ell_{min}$

Như thế nghĩa là chỉ sau một thời gian $\frac{T}{2}$ giá trị co rút cơ đã đạt được 3/4 giá trị cực đại. Điều đó cho biết là giai đoạn đầu của co cơ, tốc độ co rất lớn.

Nếu dùng một dãy xung vuông kích thích, cơ sẽ co uốn ván. Giả sử chu kỳ co của cơ T là 60ms dưới tác dụng của 4 xung đơn và lúc đó cơ đạt tốc độ co cực đại là $\Delta\ell_{max}$. Giờ đây nếu dãy xung có tần số 60 Hz thì co lại có 1 xung và trong cả chu kỳ T có 4 xung kích thích tới cơ, mỗi xung cách nhau 15 ms (thời gian kéo dài của xung không đáng kể so với khoảng cách hai xung).

Giá trị $\Delta\ell$ đo mỗi xung gây ra là:

$$\Delta\ell = \Delta\ell_{max}.\sin(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{15}{60}) = 0{,}38\Delta\ell_{max}$$

Cả 4 xung liên tiếp nhau sẽ gây ra một giá trị co liên tiếp nhau độ co cuối cùng của nó là: $0{,}38\Delta\ell_{max} \times 4 = 1{,}52\Delta\ell_{max}$

Như vậy, nếu dùng một dãy xung liên tiếp kích thích, cơ co đạt giá trị cực đại gấp 1,5 lần giá trị ngắn nhất của cơ khi kích thích một xung đơn.

3. Cơ chế co cơ

3.1. Mô hình giải thích hiện tượng co cơ

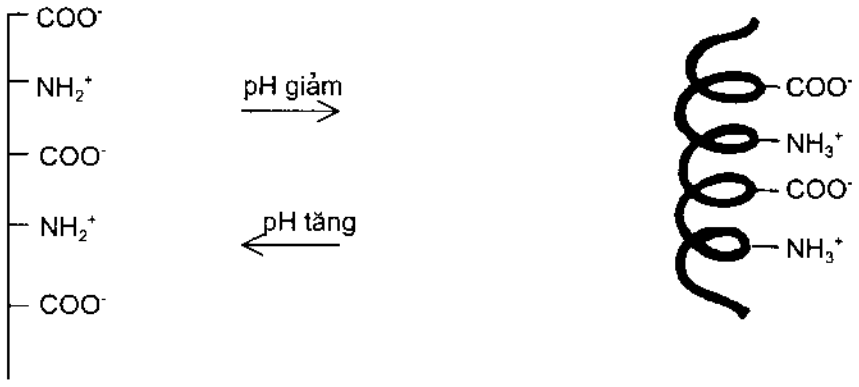
Ta đã biết về phương diện cơ học, tơ cơ trong tế bào cơ là đơn vị hoạt động. Tơ cơ đó đã co rút như thế nào? Có nhiều giả thuyết giải thích cơ chế co cơ nhưng mỗi giả thuyết chỉ giải thích được một số khía cạnh và chưa có mô hình nào hoàn chỉnh cả. Sau đây ta xét một vài mô hình chủ yếu giải thích cơ chế co cơ.

– Mô hình uốn cong: ở trạng thái nghỉ các tơ cơ giãn dài ra. Dưới tác dụng của phân tử ATP một mối liên kết giữa phần A và B trên phân tử tơ cơ xuất hiện làm cho đoạn AB bị uốn cong lại (hình 3.3.10)

Khi hết tác dụng của ATP, mối liên kết không tồn tại nữa và tơ cơ lại dễ giãn ra như cũ. Người ta cho rằng mối liên kết xuất hiện giữa A và B là mối liên kết hoá học, nhưng có lý thuyết cho rằng đó là do sức hút tĩnh điện của các điện tích trái

http://tieulun.hopto.org

dấu xuất hiện ở A và B dưới tác dụng của ATP. Bình thường dọc theo tơ cơ duỗi dài ra. Tác dụng năng lượng của ATP làm xuất hiện điện tích dương ở nhóm NH^+_2. Do đó các nhóm COO^- và NH_2 hút nhau làm cho tơ co uốn khúc lại. Nên nhớ rằng tơ cơ có thể bị uốn cong nhiều chỗ và độ rút ngắn ($\Delta\ell$) có thể đạt được xấp xỉ với độ dài của nó lúc nghỉ.



Hình 3.3.10. Sơ đồ giải thích mô hình uốn cong tơ cơ

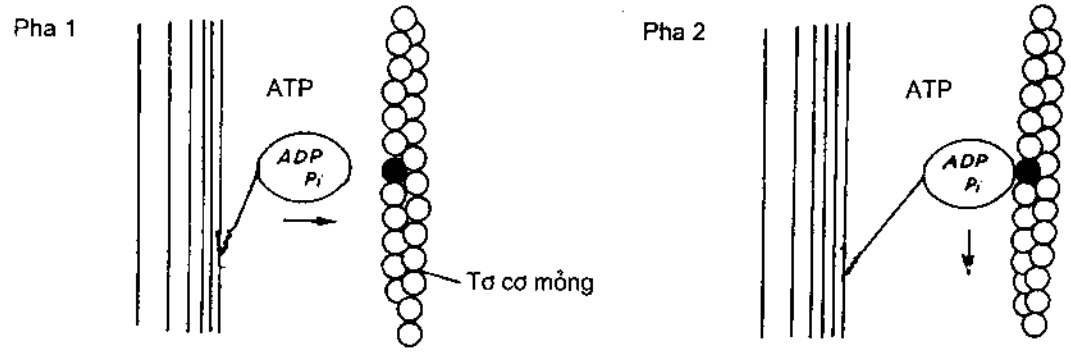
Quá trình co cơ đó có thể chia ra làm 4 giai đoạn (4 pha) sau đây:

– Pha 1: ở đầu dùi trống của phân tử myosin có các phân tử ADP và phosphat vô cơ P. Trong bào tương của tế bào cơ thường có rất nhiều ATP tự do. Ở pha này tế bào đang ở trạng thái nghỉ.

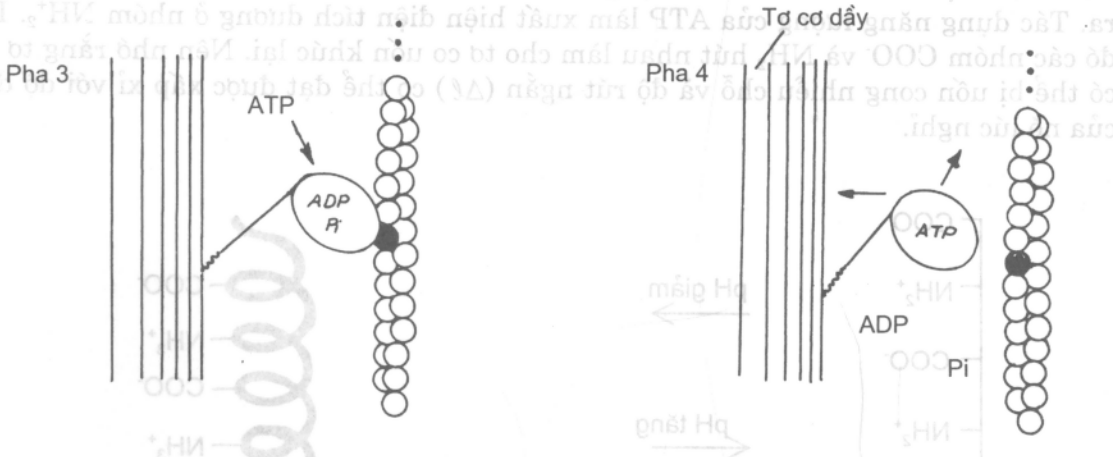
– Pha 2: Bắt đầu hoạt động: đầu của myosin gắn liền với actin tạo ra một cầu nối giữa xơ cơ màng và xơ cơ dầy.

– Pha 3: Do đã có sự gắn liền giữa actin và myosin mà có sự thay đổi hình dạng phân tử ở đầu của myosin và làm nghiêng đi một góc 45° đồng thời làm dịch chuyển các xơ cơ khoảng 10nm.

– Pha 4: Hai phân tử ATP gắn với myosin đẩy ADP và P ra, cầu nối giữa myosin và actin bị đứt gẫy. Như vậy lại quay về trạng thái ban đầu như ở pha 1. (hình 3.3.11)



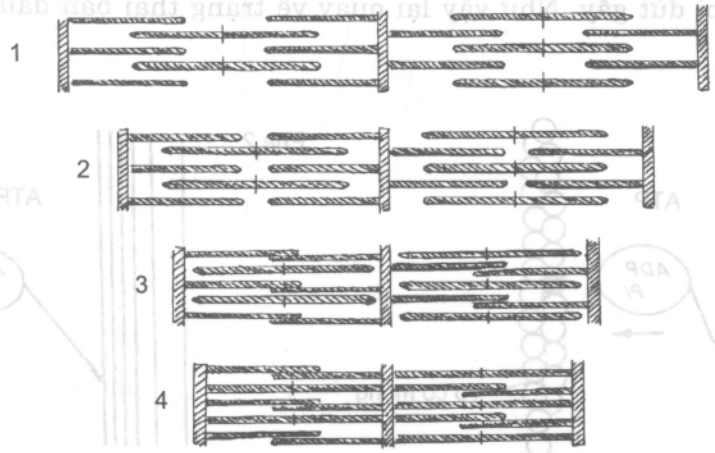
http://tieulun.hopto.org



Hình 3.3.11. Sơ đồ giải thích cơ chế co cơ do sự kết nối các tơ cơ dầy myosin và tơ cơ mỏng actin

Tất cả quá trình đó (từ pha 1 đến pha 4) chỉ xảy ra trong vòng 0,1 giây đến 0,2 giây và xảy ra đồng thời ở tất cả các tơ cơ nên gây ra sự co cơ.

Mô hình trượt: Có thể hình dung đơn giản mô hình trượt của Huxley và Hanson như sau: ở trạng thái nghỉ các phân tử actin và myosin kết hợp với nhau bằng các liên kết nhánh bên. Dưới tác dụng của ATP, khi co cơ các liên kết đó bị đứt và do đó các xơ actin trượt dọc và lồng vào xơ actin, làm cho đvcttc ngắn lại. Cần nhớ là ATP chỉ có tác dụng phân ly như vậy khi có một nồng độ Ca^{++} nhất định. Vì vậy tồn tại một cơ chế di chuyển Ca^{++} khá phức tạp từ lưới nội bào đến tơ cơ. Ở đây vai trò của ion K^{+} cũng rất quan trọng. Chính vì vậy theo dõi đvcttc lúc cơ co chúng ta thấy có sự thu hẹp rất rõ các đĩa sáng I đồng thời với sự thu hẹp băng H trên đĩa tối A (hình 3.3.12). Khi hết co, sự dịch chuyển như vậy lại xảy ra theo chiều ngược lại để trở lại trạng thái ban đầu. Trong cả quá trình đã có sự phân ly phức chất actomyosin và tái tổng hợp lại chúng dưới tác dụng của ATP.



Hình 3.3.12. Sơ đồ giải thích sự co cơ theo cơ chế trượt

http://tieulun.hopto.org

Do tơ cơ co rút mà có sự co của toàn cơ. Sự co rút của cơ làm cho khoảng cách 2 đầu bám tận của cơ ngắn lại người ta gọi là sự co cơ đẳng trương (hình 3.3.12) lúc này sự cẳng thẳng của cơ ít thay đổi. Cũng có lúc tuỳ cơ co nhưng khoảng cách đó không thay đổi mà chỉ để sản sinh một lực chống lại sức cản ví như khi xách một vật rất nặng. Lúc này sự căng thẳng của cơ tăng lên mà kích thích thước cơ ít thay đổi nên gọi là sự co cơ đẳng cự. Mỗi động tác thường được thực hiện bởi cả một nhóm cơ, ít khi chỉ một cơ hoạt động đơn thuần. Các nhóm cơ cùng thực hiện một động tác và có tác dụng đối lập nhau, nhóm này hãm tác dụng của nhóm kia, làm cho cử động của động tác được nhẹ nhàng và uyển chuyển.

3.2. Năng lượng cho hoạt động co cơ

Năng lượng này dùng khi co cơ lấy trực tiếp từ ATP. Lượng ATP có sẵn trong cơ không nhiều, người ta đã tính thấy rằng năng lượng trực tiếp từ lượng ATP có sẵn trong cơ không đủ cho cơ hoạt động trong vòng một giây. Vì vậy để cơ hoạt động được liên tục phải có hoạt động được liên tục phải có quá trình tổng hợp ATP tại cơ. Việc tổng hợp này thực hiện được nhanh chóng nhờ trong cơ có một hợp chất giầu năng lượng khác là phospho-creatin.

ATP được tổng hợp trong cơ qua phản ứng sau đây:

$$\text{Phosphocreatin} + \text{ADP} \rightarrow \text{ATP} + \text{creatin}$$

Quá trình tổng hợp này cũng rất ít, nghĩa là cũng chỉ đủ cho cơ hoạt động trong mấy giây. Khi các nguồn dự trữ này cạn. ATP được tổng hợp theo một cơ chế khác nhờ sự phân huỷ glycogen. Glycogen là một dạng tích trữ của glucose có nhiều trong cơ. Năng lượng được giải phóng khi phân hủy glycogen được dùng để tổng hợp ATP. Có thể biểu diễn một cách tổng quát quá trình đó như sau:

$$\text{Glucose} + 3H_3PO_4 + 2\ \text{ADP} \rightarrow 2\ \text{lactat} + 2\ \text{ATP} + 2H_2O$$

Khi lượng ATP được tổng hợp nhiều thì lượng lactat càng tích tụ nhiều và kìm hãm quá trình tổng hợp ATP. Nhờ phương thức trên nên khi co cơ mạnh mạch máu nhất thời không được cung cấp đủ để mang lại oxy cho các phản ứng hoá sinh, cơ vẫn có đủ năng lượng để hoạt động. Gọi đó là quá trình cung cấp năng lượng yếm khí cho cơ. Ví dụ:

– Một người nặng 60kg đi 1 quãng đường 7m trong vòng 10 giây, các cơ của 2 chân đã phải thực hiện một công co cơ học là 420kGm. Giá trị đó gần bằng 1 Kcal. Ta biết hiệu suất công cơ học chỉ khoảng 25%. Nghĩa là thực ra cơ đã cần một năng lượng gần 4 kcal.

– Cơ sử dụng 1 lít oxy để tạo ra khoảng 4,8 kcal. Như thế để thực hiện được việc đi 7m trong vòng 10 giây trên, người đó đã dùng khoảng 800ml oxy (tức là 80ml/giây). Lúc nghỉ ngơi tốc độ sử dụng oxy chỉ khoảng 3,5ml/giây. Tốc độ thay đổi từ 3,5ml lên 80ml trong vòng 1 giây là rất lớn, tim và phổi không thể đáp ứng ngay được. Vì vậy quá trình cung cấp năng lượng cho co cơ bằng cách phân hủy glucose yếm khí có ý nghĩa rất quan trọng. Sau giai đoạn đó cơ phải được cung cấp đủ oxy để thiêu đốt glucose. Sự thiêu đốt glucose bằng các phản ứng với oxy dẫn đến acid

http://tieulun.hopto.org

pyruvic rồi acid này tham gia vào chu trình Kreb để giải phóng tiếp tục năng lượng. Sản phẩm cuối cùng của quá trình là nước và acid carbonic. Năng lượng được tiếp tục giải phóng ra lúc này dùng để bù lại lượng ATP và phosphocreatin đã sử dụng. Giá trị năng lượng do quá trình chuyển hoá hiếu khí (có đủ oxy) lớn hơn nhiều lần giá trị năng lượng toả ra trong quá trình yếm khí (thiếu oxy). Điều này sẽ được đề cập kỹ hơn ở môn học hóa sinh.

3.3. Cấu trúc và hoạt động của cơ trơn

Cơ trơn có mặt ở thành các nội tạng như ruột, tử cung, bàng quang, mạch máu. Khi nhuộm và quan sát trên kính hiển vi ta không thấy có các vân ngang. Cơ trơn cũng được cấu tạo bởi các sợi cơ, tức là các tế bào cơ. Đó cũng là một tế bào khổng lồ có nhiều nhân, màng tế bào và bào tương. Trong bào tương có các bào quan và tiểu vật. Về cấu tạo, phân tử tế bào cơ trơn cũng bao gồm các protein actin, myosin và actomyosin nhưng sắp xếp khác hẳn trong cơ vân.

Vì vậy cơ sở hoá sinh và cơ chế co cơ trơn sẽ khác cơ vân.

Hoạt động của cơ trơn chậm chạp nhưng lại kéo dài tác dụng hơn cơ vân. Giai đoạn ủ của cơ trơn trước một tác nhân kích thích có đến mấy giây và giai đoạn co thực sự có thể là đến 20 giây. Ngưỡng kích thích của cơ trơn cũng cao hơn cơ vân. Điều đó làm cho cơ trơn có thể co liên tục kéo dài dưới những tác nhân kích thích thưa hơn cơ vân nhiều, nghĩa là khoảng vài kích thích trong một giây. Tình trạng co liên tục của cơ trơn ở một mức độ nhất định nào đó rất quan trọng. Nhờ đó mà thành mạch duy trì một lực căng nhất định, duy trì huyết áp động mạch; cơ ở thành dạ dày thường cũng hơi co lại khi tiêu hoá thức ăn. Cần chú ý là khi co cơ, cơ trơn sử dụng rất ít năng lượng. Nói một cách khác hiệu suất công cơ học của cơ trơn cao hơn cơ vân hàng trăm lần. Điều đó có ý nghĩa rất lớn. Giả dụ hiệu suất công cơ học của cơ trơn cũng giống như của cơ vân thì chỉ riêng hệ thống cơ trơn ở hệ mạch máu đã sử dụng hết 1/5 tất cả mọi dự trữ năng lượng của cơ thể.

IV. GHI ĐIỆN SINH VẬT

Ngày nay, người ta biết có nhiều quá trình sinh vật kèm theo hiện tượng sinh điện, kết quả là sinh ra những đại lượng điện trong cơ thể. Điện tim, điện não, điện cơ, điện võng mạc. Tuy nhiên còn có rất nhiều đại lượng khác trong cơ thể không có tính chất điện: nhiệt độ, huyết áp, độ pH của máu, lượng oxy, máu ...

Có nhiều phương pháp ghi các đại lượng sinh vật, trong đó phổ biết nhất là phương pháp điện. Phương pháp điện ghi các đại lượng sinh vật tuân theo những nguyên lý của phương pháp điện ghi đo các đại lượng vật lý.

1. Nguyên lý chung của phương pháp điện ghi đo các đại lượng vật lý

Số lượng các đại lượng vật lý cần xác định trong khoa, kỹ thuật và đời sống bình thường là rất lớn. Một cách khái quát ta gọi chúng bằng một tên chung là các tín hiệu. Trong số các tín hiệu cần xác định, chỉ một số rất nhỏ có độ lớn đủ để con người nhận biết trực tiếp bằng giác quan của mình với độ chính xác phù hợp với yêu cầu. Nhìn chung các tín hiệu mà chúng ta quan tâm có độ lớn nhỏ so với ngưỡng

http://tieulun.hopto.org

thu nhận của các giác quan con người, vì vậy con người cần đến các phương tiện và phương pháp vật lý để bổ trợ cho các giác quan của mình. Một trong các phương pháp vật lý phổ biến nhất được sử dụng là phương pháp điện, bao gồm các giai đoạn biến đổi, khuếch đại, ghi giữ các tín hiệu điện.

1.1. Biến đổi tín hiệu không điện thành điện

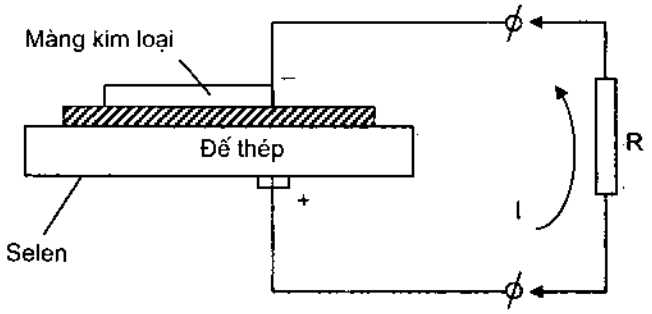
Việc biến đổi các tín hiệu không điện thành các tín hiệu điện được tiến hành nhờ những hiệu ứng vật lý khác nhau. Dưới đây chúng ta xem xét một số loại thường gặp nhất.

1.1.1. Biến đổi quang điện

Có hai loại - Loại biến chùm ánh sáng thành dòng điện, gọi là tế bào quang điện. Còn ở loại thứ hai thì chùm ánh sáng được dùng để làm thay đổi dòng điện chạy qua bộ biến đổi, dòng điện này do một nguồn điện sẵn có tạo ra và bộ biến đổi trong trường hợp này gọi là quang trở.

1.1.2. Tế bào quang điện cũng có hai loại: tế bào quang điện phát xạ và tế bào quang điện sêlen

– Tế bào quang điện phát xạ là một bình thuỷ tinh nhỏ đã được rút chân không, trong đó đặt hai điện cực: anot và katot. Katot được phủ một lớp kim loại có khả năng phát xạ điện tử khi có ánh sáng chiếu vào. Nếu khi đó, mắc tế bào quang điện vào một nguồn điện một chiều sao cho anot nối vào cực dương, katot nối vào cực âm của nguồn điện thì bên trong bình thuỷ tinh sẽ có dòng điện chạy, các điện tử phát xạ từ katot sẽ bay qua khoảng không gian giữa hai điện cực về anot.



Hình 3.4.1

Với nguồn một chiều cố định thì cường độ dòng điện chạy trong mạch chỉ phụ thuộc vào số lượng điện tử phát ra từ katot tức là chỉ phụ thuộc vào cường độ của chùm sáng với bước sóng λ xác định chiếu vào. Tế bào quang điện selen là một loại rất hay dùng trong các máy y học, nguyên tắc của nó được giải thích trên hình (3.4.1). Trên đế thép phủ một lớp selen mỏng, trên mặt lớp selen này lại phủ một màng kim loại mỏng, trong suốt; có một vành kim loại gắn vào màng này để tiện nối màng vào mạch điện ngoài. Ánh sáng chiếu qua màng kim loại mỏng vào lớp

http://tieulun.hopto.org

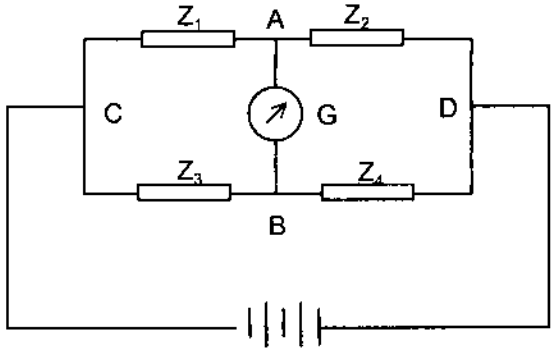
selen làm bắn ra các điện tử. Các nguyên tử sêlen mất điện tử trở thành ion dương. Các ion dương này làm cho lớp sêlne có thế dương hơn màng kim loại phía trên. Nếu nối kín mạch ngoài thì sẽ có một dòng điện chạy và dòng điện này cũng phụ thuộc vào năng lượng ánh sáng chiếu vào. Loại này không cần có nguồn điện phụ.

1.1.3. Quang trở được cấu tạo bằng một đế thủy tinh có phủ lớp mỏng hợp chất chì, cadimi hoặc giecmani,... Chiều dày của lớp này khoảng vài micrômet (μm). Lớp mỏng này có đặc tính thay đổi điện trở của nó dưới tác dụng của các bức xạ, đặc biệt rất nhạy với các bức xạ hồng ngoại. Khi làm việc quang trở được lắp vào cầu Uýtstơn (Wheatstone) và là một trong 4 điện trở của cầu (thí dụ Z_4 - hình 3.4.2), ta điều chỉnh các giá trị Z_1, Z_2, Z_3 sao cho cầu cân bằng, tức là điện kế G chỉ số 0, dòng điện chạy trong đoạn mạch AB bằng 0, lúc đó, ta có:

$$Z_1 . Z_4 = Z_2 Z_3$$

Khi tín hiệu cần khảo sát tác dụng vào quang trở và làm biến đổi điện trở Z_4 của nó, cầu sẽ mất cân bằng và đoạn mạch AB có dòng điện chạy qua.

Cường độ dòng điện này phụ thuộc vào độ lớn của tín hiệu cần khảo sát.



Hình 3.4.2

1.1.4. Biến đổi điện cảm, điện dung

Hai loại này có nhiều điểm chung về nguyên tắc và cách sử dụng. Điện dung C của tụ điện phẳng phụ thuộc vào khoảng cách giữa hai bản tụ. Hệ số tự cảm L của một cuộn dây có lõi sắt từ phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa lõi và cuộn dây. Do đó nếu bằng cơ cấu nào đó ta chuyển được sự thay đổi của tín hiệu cần khảo sát thành dịch chuyển cơ học làm thay đổi vị trí tương đối giữa hai bản tụ hay giữa lõi và cuộn dây thì ta có các bộ phận biến đổi điện dung hoặc điện cảm tương ứng.

Cần chú ý rằng quan hệ giữa độ lớn của sự thay đổi điện cảm và điện dung với độ lớn của dịch chuyển cơ học chỉ là bậc nhất trong một phạm vi tương đối nhỏ của dịch chuyển cơ học. Vì vậy trong các bộ biến đổi loại này, tín hiệu vào (dịch chuyển cơ học) và tín hiệu ra (điện) đều nhỏ.

1.1.5. Biến đổi nhiệt - điện

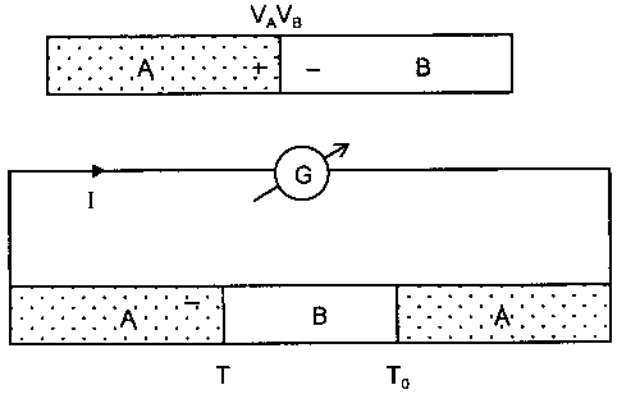
Nguyên lý của biến đổi nhiệt điện dựa trên hiện tượng nhiệt điện. Theo lý thuyết về hiện tượng nhiệt điện, khi cho hai thanh kim loại khác nhau về bản chất tiếp xúc với nhau thì tại nơi tiếp xúc xuất hiện một hiệu điện thế (hình 3.4.3) gọi là hiệu điện thế tiếp xúc. Nếu ta thiết lập một mạch kín và duy trì sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai mối hàn ($T \neq T_o$) thì trong mạch sẽ xuất hiện một suất điện động, gọi là

http://tieulun.hopto.org

suất nhiệt điện động ε. Suất nhiệt điện động ε phụ thuộc vào bản chất của hai thanh kim loại và sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai mối hàn.

$$\varepsilon = S\,(T - T_0)$$

trong đó S là độ nhạy cảm của cặp nhiệt điện, phụ thuộc vào bản chất của kim loại làm cặp nhiệt điện và có thứ nguyên là mV/độ.



Hình 3.4.3

1.1.6. Biến đổi áp điện

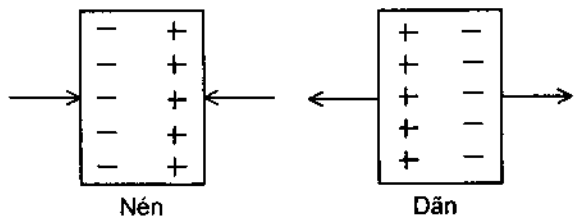
Nguyên lý của biến đổi áp điện dựa trên hiệu ứng áp điện thuận.

Nội dung của hiệu ứng áp điện thuận như sau: khi nén hoặc giãn một số tinh thể điện môi như muối sec-nhet, tinh thể thạch anh theo những phương đặc biệt trong tinh thể, thì trên mặt giới hạn của tinh thể xuất hiện các điện tích trái dấu.

Nếu đổi biến dạng, tức là đổi từ nén sang giãn thì điện tích xuất hiện trên hai mặt tinh thể sẽ đổi dấu (hình 3.4.4).

Như vậy nếu tinh thể chất điện môi trên bị nén giãn liên tiếp trên hai mặt của tinh thể sẽ xuất hiện hiệu điện thế biến đổi. Tần số biến đổi của hiệu điện thế này phụ thuộc vào độ mạnh yếu của sự nén, giãn.

Bộ biến đổi áp điện thường được sử dụng trong các đầu thu siêu âm.



Hình 3.4.4

http://tieulun.hopto.org

1.2. Nguyên lý khuếch đại tín hiệu điện

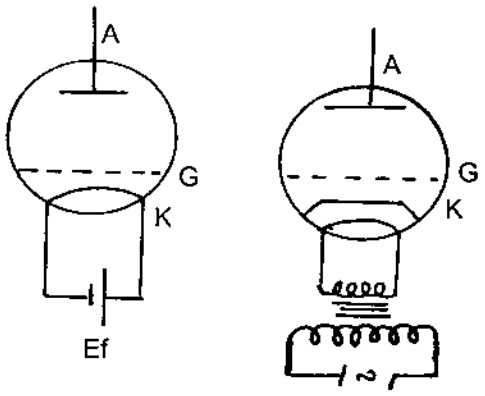
Các tín hiệu điện thường yếu, để có thể ghi giữ và xử lý các thông tin mà nó mang theo cần phải khuếch đại các tín hiệu điện. Việc khuếch đại thường sử dụng đèn điện tử ba cực hoặc tri - ôt bán dẫn.

1.2.1. Khuếch đại tín hiệu điện bằng đèn điện tử ba cực

– Cấu tạo của đèn điện tử ba cực.

Đó là một bóng đèn thuỷ tinh, bên trong thực hiện chân không cao độ ($p \sim 10^{-8}$ N/m^2) có chứa ba điện cực lần lượt là:

+ Cực âm K là một dây xoắn làm bằng kim loại dễ phát nhiệt điện tử. Katôt K có thể được nung nóng trực tiếp bằng cách nối với nguồn điện một chiều E_f hoặc có thể được nung nóng giáp tiếp nhờ một sợi dây kim loại (hình 3.4.5). Trong trường hợp nung nóng gián tiếp có thể dùng điện xoay chiều lấy ra từ cuộn thứ cấp của một máy hạ thế.



Hình 3.4.5

+ Cực dương A là một tấm kim loại phẳng hoặc hình trụ dùng để thu điện tử từ cực âm phát ra. Nó được đặt ở điện thế cao hơn điện thế cực âm nhờ nguồn điện một chiều E_a. Ta gọi hiệu điện thế giữa A và K là U^0_a.

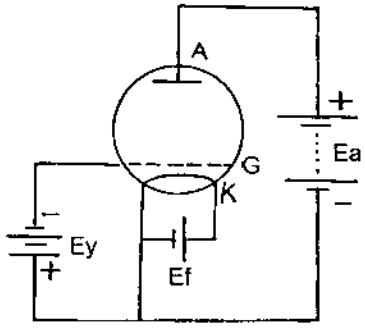
+ Điện cực điều khiển hay điện cực lưới G, đặt giữa K và A. Người ta tạo ra giữa G và K một hiệu điện thế U^o_g bằng nguồn điện một chiều có công suất điện động thấp Eg (hình 3.3.6). Katôt K được chọn làm gốc tính hiệu điện thế, nghĩa là người ta quy ước điện thế của Katốt bằng 0 ($V_K = 0$). Những điểm trong mạch điện nối trực tiếp với K được gọi là "điểm điện thế không".

Điều đáng chú ý nhất trong cấu tạo của đèn điện tử ba cực là lưới G. Lưới G được đặt rất gần K (so với A). Trong thực tế lưới G có dạng một lò xo soắn bao quanh K (hình 3.4.7).

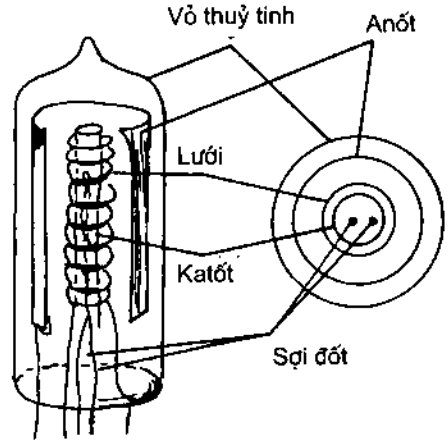
Sự thay đổi của thế lưới ảnh hưởng rất nhiều đến dòng I_a qua đèn: chỉ cần một sự thay đổi rất nhỏ của thế lưới cũng đưa đến một sự thay đổi rất lớn của I_a; ảnh

http://tieulun.hopto.org

hưởng này mạnh hơn thế anốt đối với I_a rất nhiều. Thế lưới U_g^0 thường được chọn sao cho $U_g^0 < 0$ để đảm bảo cho $I_g = 0$ (I_g là cường độ dòng điện chạy trong mạch lưới gồm G, E_g, K). Điều này rất quan trọng đối với sự làm việc khuếch đại của đèn.



Hình 3.4.6



Hình 3.4.7

– Các đường đặc trưng (đặc tuyến) của đèn điện tử ba cực:

Cường độ dòng điện anôt qua đèn I_v phụ thuộc vào U_g, U_a và nhiệt độ T nung nóng Katôt.

$$I_a = f(Ua, Ug, T)$$

Tuy nhiên, khi đèn hoạt động, nhiệt độ T được giữ nguyên không đổi (T = const), do đó:

$$I_a = f(U_a, U_g)$$

Ta có thể giữ nguyên một trong hai biến số U_a, U_g và nghiên cứu sự phụ thuộc của Ia theo biến số kia.

Họ đặc tuyến lưới. Họ đặc tuyến lưới là các đường biểu diễn sự phụ thuộc giữa I_a và U_g khi Ua không đổi.

$$I_a = f(U_g), \qquad U_a = \text{const}$$

Hình 3.4.8 vẽ một thí dụ họ đặc tuyến lưới của đèn ba cực.

Ứng với một giá trị U_a không đổi, ta có một đường cong xác định, chẳng hạn với U_a = 40 V, ta có đường cong 1. Đường cong này cắt trục tung tại I^0_a ứng với $U_g = 0$. Tăng U_g theo chiều dương, các điện tử sang anôt được nhiều hơn, I_a tăng. Khi U_g đủ âm (trên đường cong 1, U_g = -7V) tất cả các điện tử bị cản lại hết, $I_a = 0$, trị số này của U_g gọi là "điểm triệt". Dễ dàng thấy rằng khi tăng U_a lên 80 V, 120V, ... Các đường cong sẽ cắt trục tung ở những điểm cao hơn, điểm triệt ứng với U_g âm hơn, nghĩa là họ đặc tuyến sẽ dịch chuyển về phía trái.

http://tieulun.hopto.org

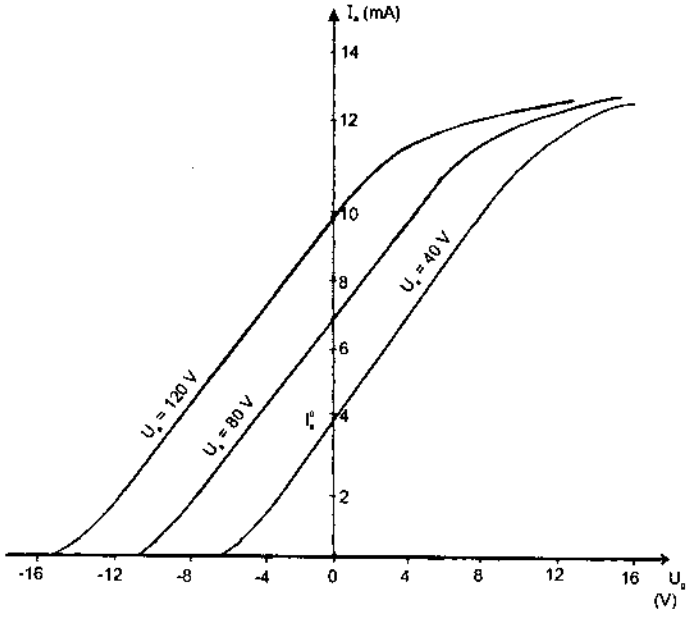
+ Họ đặc tuyến anot.

Họ đặc tuyến anot là các đường biểu diễn sự phụ thuộc I_a và U_a khi U_g không đổi:

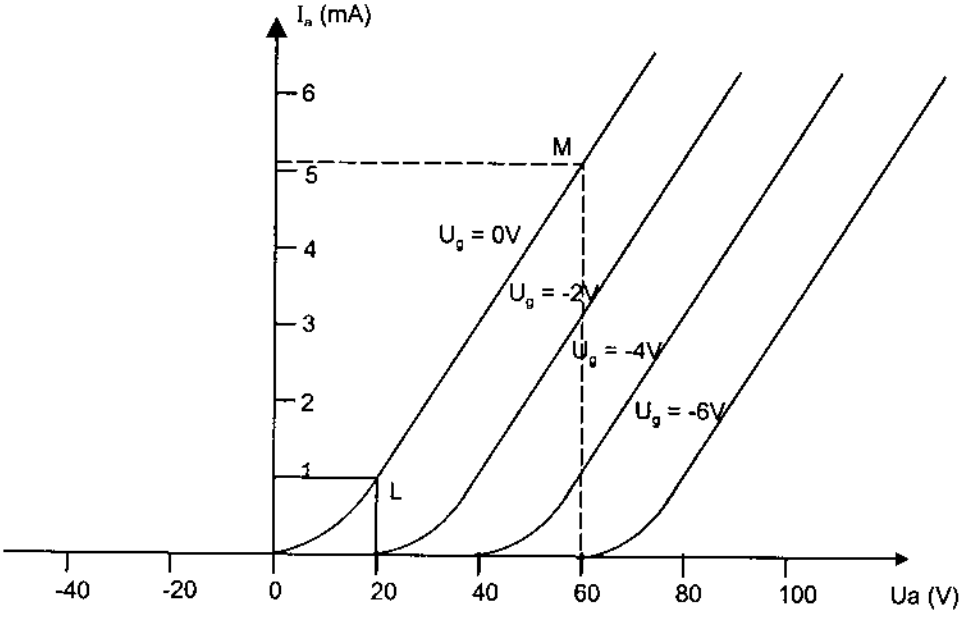
$$I_a = f(U_a),$$

$$U_g = \text{const}$$

Hình 3.4.9 vẽ một thí dụ họ đặc tuyến anot của đèn ba cực. Khi $U_g = 0$, đèn ba cực trở thành đèn hai cực, sự phụ thuộc giữa I_a và U_a tuân theo định luật "ba phần hai" như sau:



Hình 3.4.8



Hình 3.4.9

$$I_a = kU_a^{3/2} \qquad \text{khi } U_g = 0$$

Trong đó k là hằng số phụ thuộc hình dạng, kích thước và vị trí của các điện cực. Tăng dần U_g theo chiều âm: - 2V, - 4V... điểm khởi phát của U_a để cho I_a bắt đầu tăng phải có giá trị lớn dần: họ đặc tuyến anôt dịch về phía phải.

– Một số điều cần chú ý:

http://tieulun.hopto.org

+ Mỗi điểm trên các đường đặc trưng trong hai họ đặc tuyến trên, ứng với 3 trị số xác định của I_a, U_a, U_g; được gọi là điểm hoạt động của đèn.

+ Nhìn toàn bộ các đường đặc trưng trên ta thấy sự phụ thuộc giữa I_a, và U (U_a hoặc U_g) không phải là sự phụ thuộc tuyến tính, như vậy đèn điện tử ba cực không tuân theo định luật Ohm.

+ Các họ đặc tuyến cho phép ta:

* Kiểm tra chất lượng của đèn: đèn còn tốt khi sự phụ thuộc giữa I_a, U_a, U_g theo đúng dạng của các đặc tuyến chuẩn. Các đường chuẩn này thường được cho kèm theo với hoá đơn mua đèn.

* Chọn điểm hoạt động: Thông thường các thông số của mạch điện được chọn sao cho chuyển hoá điểm hoạt động nằm trong miền tuyến tính của đèn (khoảng giữa các đường đặc trưng).

* Xác định các thông số của đèn.

+ Trong đèn điện tử ba cực, chỉ có mối quan hệ giữa ba đại lượng (I_a, U_a, U_g) nên chỉ cần một trong hai họ đặc tuyến cũng đủ để xác định điểm làm việc và các thông số của đèn, nói khác đi, hai họ đặc tuyến thực chất chỉ là một. Như sau này ta sẽ thấy, điều đó khác với triôt bán dẫn (tranzito) phải có đầy đủ cả hai họ đặc tuyến.

– Các tham số của đèn điện tử ba cực.

Để đặc trưng cho tính chất của đèn điện tử ba cực, bên cạnh hai họ đặc tuyến trên, người ta còn dùng các đại lượng điện trở nội, độ dốc, hệ số khuếch đại tĩnh. Các đại lượng này được gọi là các tham số (hay thông số) của đèn.

+ Điện trở nội R_i:

Điện trở nội R_i của đèn điện tử ba cực là một đại lượng xác định bởi tỷ số giữa độ biến thiên của thế anôt ΔU_a và độ biến thiên của dòng anôt ΔI_a khi thế lưới U_g giữ nguyên không đổi:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \qquad \text{với } U_g = \text{const}$$

Về phương diện dẫn điện, đèn được xem như một điện trở có trị số là R_i. Điện trở nội R_i phụ thuộc vào cấu tạo của đèn (kích thước và khoảng cách các điện cực, chế độ của khí trong đèn,...) có trị số vào khoảng hàng ngàn ôm trở lên.

Dựa vào các đường đặc trưng, ta có thể xác định được các tham số của đèn. Cần lưu ý rằng chỉ trong miền tuyến tính của đèn, R_i mới là một hằng số còn trong phần cong của các đường đặc trưng, R_i phụ thuộc vào U_a.

+ Độ dốc S.

Độ dốc S là một đại lượng xác định bằng tỷ số giữa độ biến thiên của dòng anôt ΔI_a với độ biến thiên của thế lưới ΔU_g khi thế anôt giữ nguyên không đổi.

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \qquad \text{Khi} \quad U_a = \text{const}$$

http://tieulun.hopto.org

Dựa vào các đường đặc trưng ta có thể xác định được S. Giá trị của S thường không lớn, vào khoảng tử 1 đến vài chục mA/V. Trên họ đặc tuyến ta thấy khi điểm hoạt động chuyển từ A đến B: U_a = const, ΔI_a = CB, ΔU_g = AC. Như vậy:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} = \frac{CB}{AC} = tg\alpha$$

Trong đó α là góc nghiêng giữa phần giữa phần thẳng của đường đặc trưng lưới với trục hoành. S càng lớn, tgα càng lớn, α càng lớn, đồ thì càng dốc, cho nên S được gọi là độ dốc. Nói cách khác nến S càng lớn I_a càng phụ thuộc mạnh vào U_g.

– Hệ số khuếch đại tĩnh μ:

Như trên đã nói, đặc điểm cấu tạo cơ bản nhất của đèn điện tử ba cực là lưới gần katôt, ảnh hưởng của thế lưới lên dòng anôt mạnh hơn ảnh hưởng của thế anôt nhiều lần. Để đặc trưng cho mức độ ảnh hưởng mạnh yếu đố, người ta dùng hệ số khuếch đại tĩnh μ.

Hệ số khuếch đại tĩnh μ là một đại lượng xác định bằng tỷ số giữa độ biến thiên của thế anôt và độ biến thiên của thế lưới khi dòng anôt giữ nguyên không đổi.

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \qquad \text{Khi } I_a = \text{const}$$

Nếu ΔU_g = 1 V thì ΔU_a = μV nghĩa là thế lưới thay đổi một vôn thì thế anôt phải thay đổi μ vôn để giữ nguyên I_a. Chú ý rằng U_g và U_a thay đổi ngược chiều nhau, khi U_g tăng thì U_a phải giảm và ngược lại. Vì vậy nếu xem ΔU_a và ΔU_g đều là các số dương thì:

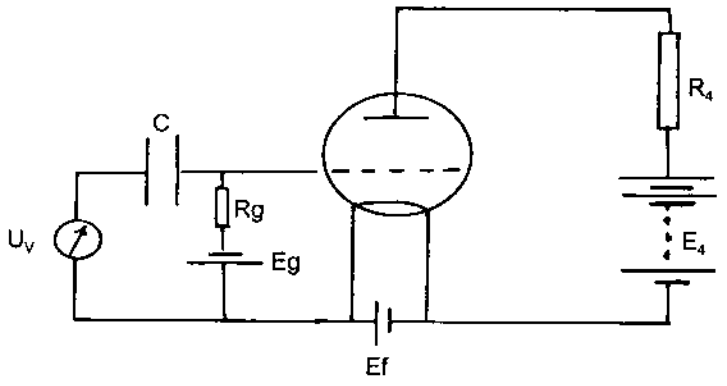
$$\mu = -\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} \qquad \text{Khi } I_a = \text{const}$$

Nghĩa là μ lấy giá trị âm.

– Mạch khuếch đại dùng đèn điện tử ba cực:

Trong phần này ta chỉ xét mạch khuếch đại tuyến tính, tức là mạch khuếch đại làm tăng biên độ của tín hiệu mà không làm biến dạng tín hiệu.

+ Sơ đồ mạch điện.



Hình 3.4.10

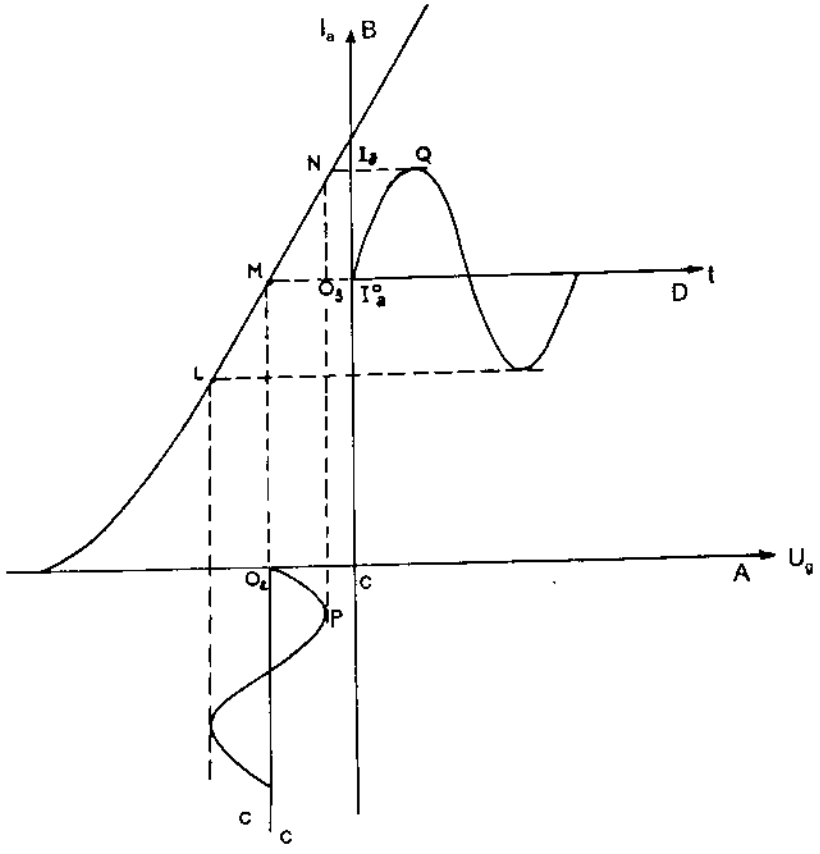
http://tieulun.hopto.org

Hình 3.4.10 vẽ sơ đồ của mạch khuếch đại tuyến tính. Trong lúc khuếch đại, sự biến thiên của tín hiệu thường không phù hợp với đoạn thẳng của các đường đặc trưng nên phải tìm cách đặt thêm vào lưới hiệu điện thế một chiều có giá trị âm ($U_g^u < 0$) để cho điểm hoạt động của đèn thay đổi trong miền tuyến tính. Muốn vậy ta mắc giữa lưới và katôt nguồn điện một chiều E_g và điện trở R_g. Thế U_g^u (còn gọi là điện áp lệch hay thiên áp) lấy giá trị âm nên $I_g = 0$ làm cho tín hiệu không bị biến dạng trong lúc khuếch đại. Nguồn tín hiệu cần khuếch đại U_v được mắc vào lưới thông qua tụ điện C.

Tụ điện C ngăn cản dòng điện một chiều của E_g không cho liên hệ với nguồn tín hiệu U_v. Dưới đây, ta sẽ thấy muốn khuếch đại điện áp (thế hiệu) còn cần phải mắc thêm một điện trở R_a vào mạch anot của đèn. Điện trở R_a được gọi là điện trở gánh.

– Giải thích sự khuếch đại bằng đồ thị.

Dựa trên đặc tuyến lưới, ta sẽ thấy rằng nếu chế độ hoạt động của đèn được chọn trong miền tuyến tính thì tín hiệu thu được sau khuếch đại sẽ đồng dạng với tín hiệu đưa vào (không méo). Trên hình 3.4.11 vẽ 3 hệ trục toạ độ.



Hình 3.4.11

http://tieulun.hopto.org

Hệ trục (O_1B, O_1A) biểu diễn sự phụ thuộc của I_a vào U_g ứng với U_a = const.

Hệ trục (O_2A, O_2C) biểu diễn sự phụ thuộc của U_g vào thời gian t.

Hệ trục (O_3B, O_3D) biểu diễn sự phụ thuộc của I_a vào thời gian. Giả sử tín hiệu đưa vào biến thiên hoàn theo quy luật hình sin.

$$U_{t.h} = U_m \sin\frac{2\pi}{T}t$$

trong đó U_m là biên độ của tín hiệu, $U_m > 0$, T là chu kỳ của tín hiệu.

Thế lưới U_g lúc đèn hoạt động sẽ là:

$$U_g = U_g^0 + U_{th} = U_g^0 + U_m \sin\frac{2\pi}{T}t, \text{ với } U_g^0 < 0$$

Ở thời điểm t = 0, U_{th} = 0, $U_g = U^0_g$, dòng anôt $I_a = I^0_a$,. Thời gian tăng từ t = 0 lên $t = \frac{T}{4}, U_{th}$ thay đổi theo đoạn đường cong O_2P, điểm hoạt động chuyển từ M đến N, I_a tăng lên theo đoạn O_3Q. Tại thời điểm $t = \frac{T}{4}, U_{th} = U_m, U_g = U_g^0 + U_m, I_a = I_a^1$

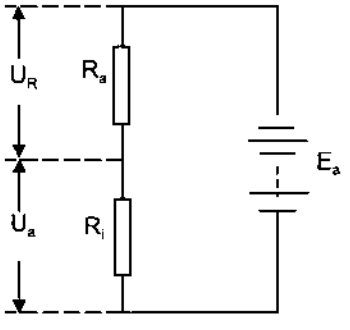
Trong một chu kỳ điểm hoạt động thay đổi trên đoạn thẳng LN của đường đặc trưng và sự biến thiên của U_{th}, U_g, I_a theo thời gian được tóm tắt ở bảng 3.4.1.

Bảng 3.4.1

t	0	T/4	T/2	3T/4	T
$U_{th} = U_m \sin\frac{2\pi}{T}t$	0	U_m	0	$-U_m$	0
$U_g = U_g^0 + U_{th}$	U^0_g	$U^0_g + U_m$	U^0_g	$U^0_g - U_m$	U^0_g
Điểm hoạt động	M	N	M	L	M
I_a	I^0_a	I^1_a	I^0_a	I^2_a	I^0_a

– Khuếch đại điện áp và độ khuếch đại động.

Theo trên, khi U_{th} biến thiên thì I_a biến thiên theo, nghĩa là có sự thay đổi của dòng anot theo thế vào, chứ chưa có sự thay đổi hiệu điện thế (điện áp). Các tín hiệu cần khuếch đại thường có điện áp thấp (chẳng hạn điện tim chỉ vào khoảng 1mV), muốn ghi đo được ta cần khuếch đại biên độ điện áp của tín hiệu lên nhiều lần. Muốn nhận được sự thay đổi của điện áp, ta phải gây sụt thế bằng một điện trở ra R_g mắc nối tiếp với anot (hình 3.4.10). Sơ đồ tương đương của mạch anot vẽ trên hình 3.4.12. Trên hình vẽ, ta có:



Hình 3.4.12

http://tieulun.hopto.org

$$U_a + U_r = E_a$$

và $$\Delta U_a + \Delta U_R = \Delta E_a$$

trong khi đèn hoạt động, vì E_a không đổi nên $\Delta E_a = 0$ do đó:

$$\Delta U_a + \Delta U_R = 0 \quad \text{hay} \quad \Delta U_a = - \Delta U_R$$

Mặt khác, ta lại có:

$$\Delta U_R = \Delta (I_a.R_a) = R_a. \Delta I_a$$

Vậy:

$$\Delta U_a = - R_a. \Delta I_a$$

Như thế ta thấy nếu dòng anôt trao đổi một đại lượng ΔI_a thì thế hiệu hai đầu điện trở gánh thay đổi một lượng $R_a . \Delta I_a$ và thì hiệu anôt thay đổi một lượng $- R_a . \Delta I_a$. Nếu lấy ra ở hai đầu R_a ta sẽ được một tín hiệu ra là một thế hiệu thay đổi đồng pha với điện áp của tín hiệu vào nhưng có biên độ lớn hơn nhiều. Giữa độ biến thiên của điện áp ra và độ biến thiên của điện áp vào có mối liên hệ sau:

$$k = \frac{\Delta U_R}{\Delta U_V} = -\frac{\mu.R_a}{R_a + R_i}$$

k được gọi là hệ số khuếch đại động của đèn, hệ số này không phải là một tham số của đèn, nó phụ thuộc vào điện trở gánh R_a.

– Máy khuếch đại dùng đèn điện tử.

Tác dụng khuếch đại của một đèn điện tử thường không đủ đối với các yêu cầu trong khoa học, kỹ thuật, nhất là trong y học. Vì vậy cần phải dùng một hệ thống nhiều đèn điện tử đặt liên tiếp nhau. Thành phần xoay chiều của điện thế mạch anôt có thể đem đặt vào đèn điện tử thứ hai để tiếp tục khuếch đại lớn hơn nữa, thậm chí có thể dùng đèn thứ ba, thứ tư, hoặc nhiều đèn hơn nữa để khuếch đại. Như thế là ta có một máy khuếch đại. Tất nhiên trong máy khuếch đại nhiều cấp đó, cứ qua mỗi tầng đèn điện tử thì tín hiệu cần khuếch đại lại bị biến dạng (méo) đôi chút, do đó hạn chế việc sử dụng quá nhiều tầng khuếch đại.

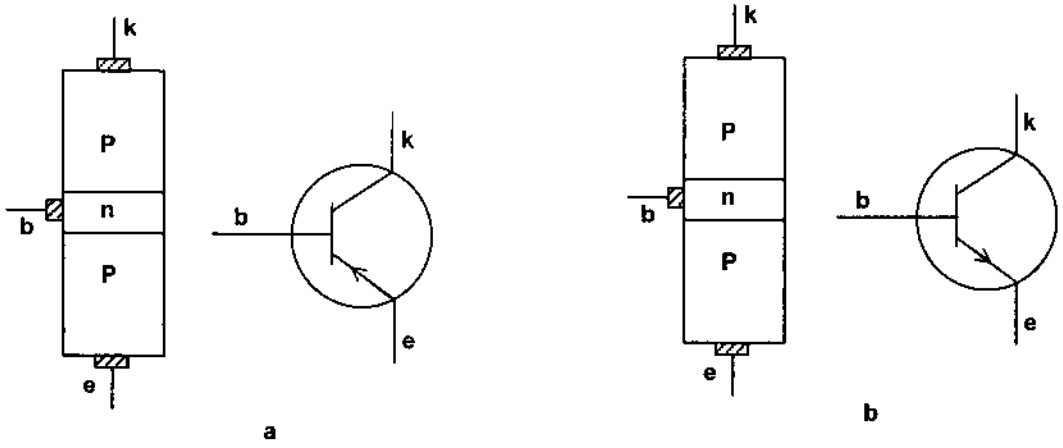
Các tầng đèn của máy khuếch đại làm việc ở những điều kiện khác nhau: đèn ở đầu chỉ truyền đi một công suất nhỏ, nhiệm vụ chính của nó là khuếch đại tín hiệu vào, nhưng đèn ở đầu ra thì phải truyền đi một công suất tương đối lớn, do đó không thể dùng một loại đèn chung cho tất cả các tầng đèn khuếch đại được. Ở đầu vào của máy khuếch đại phải mắc loại đèn khuếch đại điện áp, có hệ số khuếch đại tương đối lớn nhưng dòng anôt rất nhỏ; ở đầu ra của máy cần lắp đèn khuếch đại công suất, hệ số khuếch đại không lớn lắm nhưng phải có dòng anot tương đối mạnh.

http://tieulun.hopto.org

1.2.2. Khuếch đại tín hiệu bằng tranzito

a) Cấu tạo của tranzito

Tranzito gồm ba lớp bán dẫn p và n đặt tiếp xúc với nhau theo sơ đồ hình (3.4.13); b là cực gốc, e là cực phát, k là cực góp. Có hai loại tranzito,: p-n-p (hình 3.3.13a) và n-p-n (hình 3.4.13b).



Hình 3.4.13

Dưới đây ta xét loại p-n-p làm thí dụ điển hình: tranzito có hai lớp ngăn p-n (hình 3.4.14);

– Lớp ngăn 1: giữa cực gốc b và cực phát e. Điện trường E_1 của lớp ngăn này hướng từ b sang e (từ n sang p).

– Lớp ngăn 2: giữa cực gốc b và cực góp k, điện trường E_2 của lớp ngăn này từ hướng b sang k (từ n sang p).

Khoảng cách giữa hai lớp ngăn rất nhỏ, vào khoảng 10-20 micrômet hoặc nhỏ hơn. Như vậy khu vực cực gốc là một lớp rất mỏng, đó là điều quan trọng bậc nhất cho hoạt động của tranzito.

b) Cách mắc nguồn điện một chiều vào tranzito

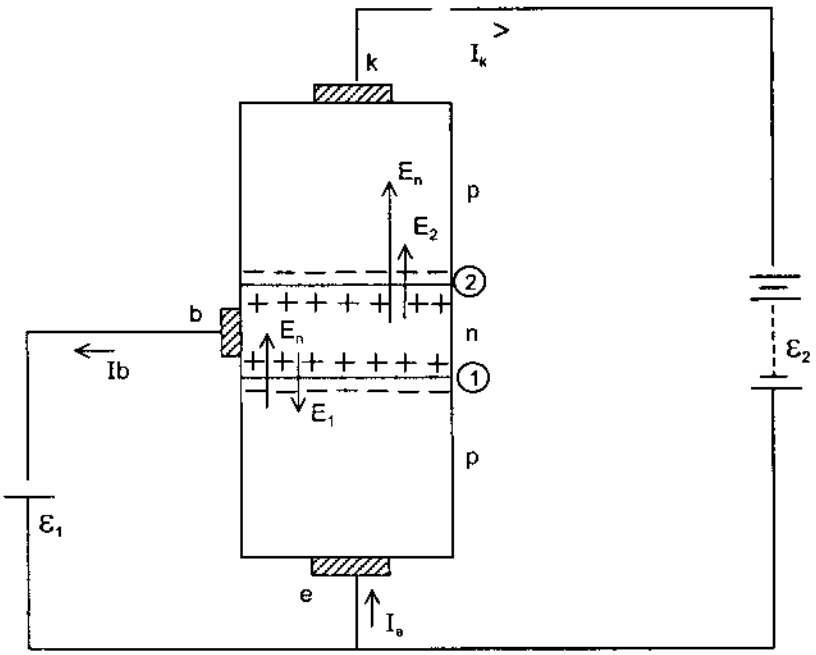
Chiều mắc các cực của các nguồn điện cần phải thế nào để cho:

– Miền tiếp giáp cực phát (lớp ngăn 1) làm việc theo chiều thuận (điện trường ngoài E_n ngược chiều với điện trường E_1 lớp ngăn).

– Miền tiếp giáp cực góp (lớp ngăn 2) làm việc theo chiều ngược (điện trường ngoài E_n cùng chiều với điện trường E_2 của lớp ngăn)

Điện trở của miền tiếp giáp cực phát rất nhỏ, do đó để có dòng điện bình thường chạy qua miền đó, nguồn điện ε_1 không cần mạnh lắm. Ngược lại, điện trở của miền tiếp giáp cực góp rất lớn, do đó ε_2 phải đủ lớn để có được dòng điện đáng kể đi qua cực góp.

http://tieulun.hopto.org



Hình 3.4.14. Cách mắc dòng điện 1 chiều vào tranzito

c) Nguyên lý hoạt động của tranzito

Nguyên lý hoạt động của tranzito là ở chỗ điện áp đặt vào phần cực gốc - cực phát có ảnh hưởng quyết định đến dòng điện cực góp: điện áp đó càng lớn thì dòng điện cực phát và do đó dòng điện cực góp càng lớn. Nói cách khác điện áp của phần cực gốc - cực phát điều khiển dòng điện cực góp.

Chúng ta hãy phân tích kết luận trên một cách chi tiết hơn: khi tăng điện áp của phần cực gốc - cực phát (hiệu điện thế U_{be}), điện trường ngoài ở miền tiếp giáp cực phát tăng lên, sự chuyển động của các điện tử từ b sang e và của các lỗ dương từ e sang b được tăng cường, dòng điện cực phát I_e tăng lên. Ta xét kỹ hơn sự chuyển động của các lỗ dương: các lỗ dương từ cực phát e sau khi qua lớp ngăn 1 sẽ tiếp tục chuyển động qua cực gốc chủ yếu nhờ hiện tượng khuếch tán. Vì cực gốc rất mỏng nên khi đi qua miền này chỉ có một số ít lỗ dương đi đến cực gốc b, tạo thành dòng điện I_b chạy trong dây dẫn của cực gốc, còn đa số các lỗ dương chuyển động đến lớp ngăn 2. Điện trường $E_2 + E_n$ ở lớp ngăn 2 tạo điều kiện thuận lợi cho các lỗ dương vượt qua lớp ngăn này đi vào cực góp, làm tăng dòng điện cực góp I_k.

Cần phải lưu ý rằng sự tăng dòng điện cực phát còn có thể giải thích như sau: lớp ngăn 2 làm việc theo chiều ngược, điện trở của miền tiếp giáp giữa cực gốc và cực góp phụ thuộc vào cường độ dòng điện cực phát I_e. Dòng này càng lớn, lớp ngăn 2 càng thu hẹp lại, điện trở cũng giảm xuống và do đó dòng điện cực góp I_k tăng lên.

d) Các họ đường đặc trưng của tranzito

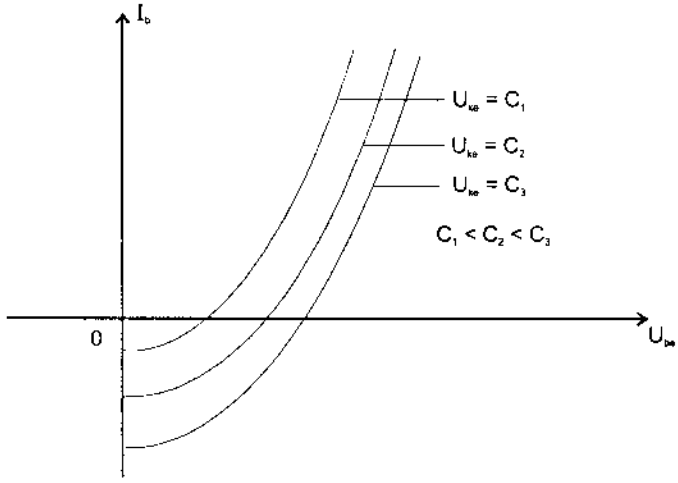
Khác với đèn điện tử ba cực, mỗi cách mắc tranzito ứng với các họ đường đặc trưng riêng. Dưới đây chúng ta chỉ xét tranzito mắc theo cực phát chung (hình 3.4.14).

http://tieulun.hopto.org

Gọi hiệu điện thế giữa cực gốc b và cực phát e là U_{be}, giữa lực góp k và cực phát e là U_{ke}, dòng điện đi qua dây dẫn của cực gốc là I_b, dòng điện đi qua cực góp là I_k. Giữa 4 đại lượng (I_b, U_{be}, I_k, U_{ke}) có mối quan hệ chặt chẽ. Một họ đường đặc trưng không đủ để diễn tả mối quan hệ đó, cần phải có hai họ đường đặc trưng.

– Họ đường đặc trưng cực gốc.

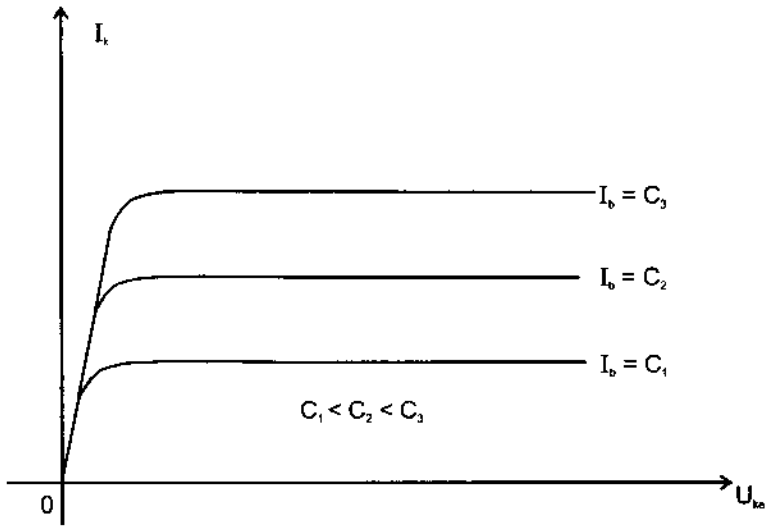
Hình 3.4.15 vẽ họ đường đặc trưng cực gốc, đó là các đường biểu diễn sự phụ thuộc giữa I_b và U_{be} ứng với những giá trị nhất định của U_{ke}.



Hình 3.4.15. Họ đường cực gốc

– Họ đường đặc trưng cực góp.

Hình 3.4.16 vẽ họ đường đặc trưng cực góp, đó là các đường biểu diễn sự phụ thuộc giữa I_k và U_{ke} khi I_b giữ nguyên không đổi.



Hình 3.4.16. Họ đường cực góp

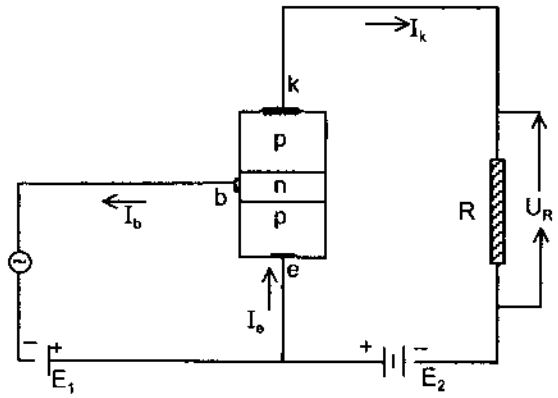
http://tieulun.hopto.org

Cần phải đặc biệt lưu ý rằng cả hai họ đường đặc trưng này mới diễn tả đầy đủ mối quan hệ giữa bốn đại lượng (I_b, U_{be}, I_k, U_{ke}). Ở đèn điện tử ba cực chỉ có mối quan hệ giữa ba đại lượng (I_a, U_a, U_g), hai họ đường đặc trưng anot và lưới thực chất chỉ là một, chỉ cần một trong hai họ đó cũng đủ.

d) Khuếch đại bằng tranzito - Các cách lắp tranzito vào mạch khuếch đại:

Có 3 cách lắp tranzito vào mạch khuếch đại là mạch cực gốc chung, mạch cực phát chung và mạch cực góp chung.

Dưới đây, ta xét cách mắc mạch cực phát chung, đó là cách mắc mạch thông thường nhất (hình 3.4.17).



Hình 3.4.17. Cách mắc mạch cực phát chung

Với cách mắc này điện trở lối vào tuy nhỏ nhưng vẫn khoảng hàng ngàn ôm, nên trên thực tế có thể chấp nhận được. Nguồn điện E_2 nằm giữa cực góp và cực phát, trong trường hợp tranzito p - n - p, tất nhiên cực góp phải mang dấu âm so với cực phát. Vùng tiếp giáp cực phát vẫn được làm việc trong trạng thái theo chiều thuận. Điện trở của vùng tiếp giáp cực phát - cực gốc rất nhỏ, giúp cho các lỗ trống truyền qua dễ dàng, đạt tới vùng tiếp giáp cực gốc - cực góp và vẫn tạo nên được chế độ hoạt động theo chiều nghịch của vùng này.

Nếu đưa tín hiệu vào giữa cực gốc và cực phát thì sự biến đổi của dòng gốc sẽ khống chế dòng phát và dòng góp. Vì dòng gốc yếu, điện trở lối vào có thể lớn hơn. Ngoài ra, vì dòng góp bằng α lần dòng phát ($\alpha < 1$) và dòng gốc bằng $(1 - \alpha)$ lần dòng phát nên tỷ số giữa dòng góp I_k (lối ra) và dòng gốc I_b (lối vào) sẽ là:

$$\beta = \frac{I_k}{I_b} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

β gọi là hệ số khuếch đại dòng đối với cách lắp mạch cực phát chung:

Thí dụ: Nếu $\alpha = 0{,}98$ thì $\beta = \frac{0{,}98}{0{,}02} = 49$

http://tieulun.hopto.org

Nếu $\alpha = 0,995$ thì $\beta = \frac{0,995}{0,005} = 199$

Nếu điện trở lối vào khoảng 1000 ôm thì dòng gốc vào khoảng vài chục micrô ampe và khi điện áp vào biến đổi khoảng 2mV ta sẽ được một sự biến đổi của dòng gốc là $2.10^{-3} : 10^3 = 2.10^{-6}$ ampe. Với hệ số $\beta = 200$, ta được một sự biến đổi của dòng góp là: $2.10^{-6} \times 200 = 400.10^{-6}$ A = 0,4 mA. Nếu nối cực góp với một điện trở R làm gánh, khoảng 1000 Ohm, thì ở hai đầu điện trở R sẽ có một sự biến đổi điện áp là $0,4.10^{-3} \times 10^3 = 0,4$ V = 400 mV. Như vậy tín hiệu vào 2mV đã được khuếch đại thành 400mV.

1.3. Ghi và bảo quản tín hiệu điện

Việc ghi và bảo quản tín hiệu điện được thực hiện bằng những phương tiện khác nhau tuỳ theo việc xử lý thông tin mà các tín hiệu này cung cấp. Ngày nay với sự phát triển của máy tính điện tử, người ta đã có thể dùng máy tính điện tử để xử lý thông tin do các tín hiệu điện cung cấp, vì vậy các tín hiệu có thể đo được ghi và bảo quản trên các băng từ tính, trên băng đục lỗ hoặc trên các đĩa. Nguyên lý của phương pháp này thuộc về phạm vi của lý thuyết thông tin, vì vậy chúng ta không khảo sát chi tiết ở đây.

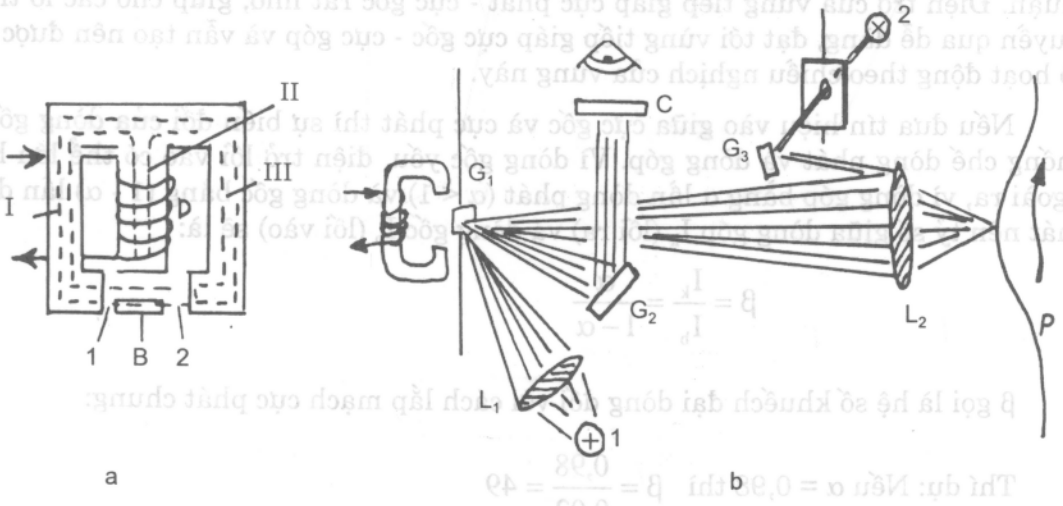
Tuy nhiên đa số các trường hợp các thông tin cần được thể hiện và ghi lại dưới dạng các hình ảnh cụ thể (các đồ thị). Các thiết bị ghi tín hiệu thường gặp gồm hai loại: loại ghi cơ học và loại ghi quang học.

1.3.1. Bộ ghi quang học

Trong loại bộ ghi này, chúng ta sẽ tìm hiểu chi tiết hai bộ ghi sau đây:

a) Bộ ghi bằng điện kế gương

Bộ ghi gồm có điện kế gương, hệ thống quang học, hệ thống đếm thời gian và phim.



Hình 3.4.18. Bộ ghi quang học

http://tieulun.hopto.org

Hình 4.3.18a vẽ sơ đồ điện kế gương loại rung với hệ thống từ phân cực. Hệ thống từ gồm có nam châm dạng chữ E, trong đó 2 lõi I và III là nam châm vĩnh cửu, còn lõi II là nam châm điện với cuộn dây D (hai đầu của cuộn dây D nối vào đầu ra của máy khuếch đại), cuốn ngoài. Bản sắt non B có gắn gương phẳng ở phía trước được treo trước lõi II và giữa các lõi I và III bằng một sợi dây không có từ tính. Khi có dòng điện chạy trong trong cuộn dây D thì từ trường ở hai khe 1 và 2 khác nhau, bản sắt non sẽ quay, dao động theo dạng giống như dao động của tín hiệu. Chùm tia sáng từ ngọn đèn chiếu lên gương và phản xạ đập lên phim đang chuyển động, vẽ lên phim ảnh đường cong dao động của gương, lặp lại về dạng dao động của tín hiệu cần ghi.

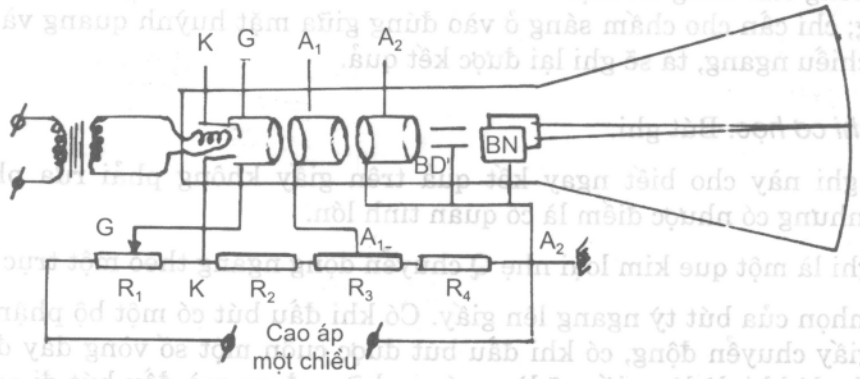
Sơ đồ ghi được vẽ trên hình 3.4.18b. Tia sáng từ đèn 1 nhờ có thấu kính hội tụ L1 hướng lên gương G_1 của điện kế và sau khi phản xạ từ gương, lại được hội tụ bằng thấu kính L_2 trên phim P. Một phần chùm tia phản xạ từ G_1 đập lên gương G_2 và phản xạ từ đó vào kính mờ C, nhờ đó ta quan sát và điều chỉnh được việc ghi. Đèn 2 cho chùm sáng đi qua khe nhỏ chuyển động theo kiểu con lắc và qua hệ thống gương G_3 - thấu kinh L_2 quét lên phim với nhịp độ đều đều, ta thấy trên phim những vạch dọc nhỏ như kẻ chỉ cách rất đều nhau. Những đường kẻ này dùng để xác định các khoảng thời gian trên phim.

b) Bộ ghi bằng ống tia âm cực

Với loại này không những ta có thể ghi được dạng của tín hiệu phim mà còn nhìn thấy ngay dạng tín hiệu trên màn huỳnh quang của ống tia âm cực, do đó loại này được dùng để theo dõi diễn biến các quá trình thì rất tốt. Mặt khác quán tính của bộ ghi rất nhỏ nên kết quả rất chính xác, độ nhạy cao.

Ống tia âm cực gồm một ống thuỷ tinh đầu loe ra như cái loa. Mặt phía trong của đầu loe được quét một lớp huỳnh quang, khi chùm điện từ đập vào màn huỳnh quang nó sẽ sáng lên với màu xanh lá cây, xanh lơ. Ống được hút chân không, áp suất trong ống từ 10^{-7} đến 10^{-8} mm Hg.

Từ đáy ống trở ra, ta thấy có những điện cực như sau: Katot K, lưới điều khiển G, hai nốt A_1, A_2 hai cặp bản tụ làm lệch chùm điện tử BD và BN (Hình 3.4.19).



Hình 3.4.19. Bộ ghi bằng ống tia âm cực

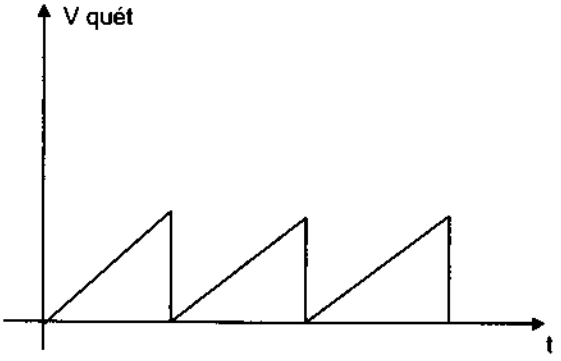
http://tieulun.hopto.org

Ống tia âm cực làm việc như sau: Katốt K là nguồn phát điện tử và có dạng giống katốt đốt nóng giáp tiếp của đèn điện tử, tuy nhiên sự phát xạ điện tử chỉ xảy ra trên một diện tích nhỏ ở tâm đã phủ lớp vật chất phát xạ mạnh. Lưới điều khiển G đặt trước katốt và có một thế âm nhỏ so với thế katốt. Nhờ lưới, ta có thể điều khiển số lượng điện tử tạo chùm tia, và do đó điều khiển độ sáng của vết sáng trên màn. Anốt thứ nhất A_1 mang một điện áp dương, vài trăm vôn, nó tạo ra điện trường để hội tụ chìm tia điện tử trên màn thành một điểm.

Anốt thứ hai có điện áp vào khoảng nghìn vôn, tạo ra điện trường để gia tốc chùm tia điện tử. Những điện áp không đổi trên các điện cực của ống được lấy từ nguồn chung qua bộ phận chia thế gồm một dãy các điện trở mắc nối tiếp R_1 - R_4.

Sau khi chùm tia điện tử phát ra từ Katốt, đi qua tất cả các điện cực nói trên, nó còn đi qua giữa cặp bản tụ làm lệch dọc và cặp bản tụ làm lệch ngang. Người ta đặt một điện áp hình răng cưa vào cặp bản làm lệch ngang BN (hình 3.4.20) và tạo nên sự quét ngang của chùm tia: chấm sáng di chuyển theo chiều ngang của ống âm cực với tốc độ tăng và nhịp điệu tuỳ sự lựa chọn.

Còn tín hiệu điện sau khi được khuếch đại sẽ đi tới cặp bản tụ làm lệch dọc BD. Sự thay đổi của tín hiệu tương ứng với sự biến thiên của điện áp đặt trên BD do đó tác dụng lên chùm tia điện tử theo chiều thẳng đứng. Chấm sáng di chuyển theo chiều thẳng đứng.



Hình 3.4.20

Nếu chấm sáng đồng thời di chuyển theo chiều dọc và chiều ngang thì nó sẽ vạch trên màn huỳnh quang dạng của tín hiệu cần nghiên cứu.

Muốn ghi lại bằng phim, người ta không cần dùng tới mạch quét ngang; chỉ cần cho chấm sáng ở vào đúng giữa mặt huỳnh quang và cho phim chạy theo chiều ngang, ta sẽ ghi lại được kết quả.

1.3.2. Bộ ghi cơ học: Bút ghi.

Loại ghi này cho biết ngay kết quả trên giấy không phải rửa phim trong phòng tối, nhưng có nhược điểm là có quán tính lớn.

Bút ghi là một que kim loại nhẹ Q chuyển động ngang theo một trục cố định.

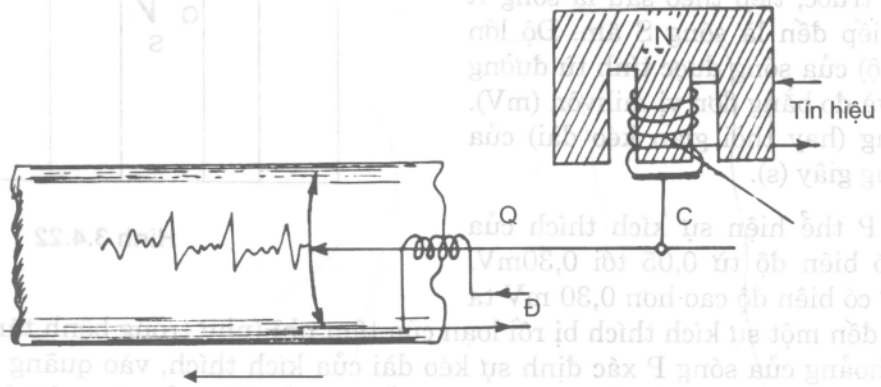
Đầu nhọn của bút tỳ ngang lên giấy. Có khi đầu bút có một bộ phận nhả mực từ từ khi giấy chuyển động, có khi đầu bút được cuộn một số vòng dây điện D đốt cho nóng, do đó khi đè lên giấy sẽ làm nóng những đoạn mà đầu bút đi qua. Giấy ở đây thuộc loại đặc biệt, có thể tạo ra vết dưới nhiệt độ nóng.

http://tieulun.hopto.org

Bút ghi bị di động bởi một cái cần C mắc vào thân bút. Cần này lại được gắn với một cuộn dây đồng B nằm lọt trong lòng một nam châm vĩnh cửu cố định N.

Tín hiệu điện sau khi được khuếch đại, chạy qua cuộn dây B, làm cuộn dây di chuyển theo trục của nó, do đó kéo cần và làm bút ghi chuyển động.

Hình 3.4.21 vẽ sơ đồ cấu tạo của loại bút ghi mà nguyên tắc làm việc đã mô tả ở trên.



Hình 3.4.21. Sơ đồ cấu tạo loại bút ghi

2. Một số kỹ thuật ghi điện sinh vật

Trong cơ thể, điện sinh vật có thể là nguyên nhân, có thể là kết quả (có thể cả hai) của tổng hợp các hiện tượng sinh lý.

Thí dụ: cơ co khi cơ nhận được một xung điện do thần kinh vận động dẫn tới, nhưng đồng thời khi co cơ, tổ chức cơ cũng sinh điện, gọi là dòng điện cơ.

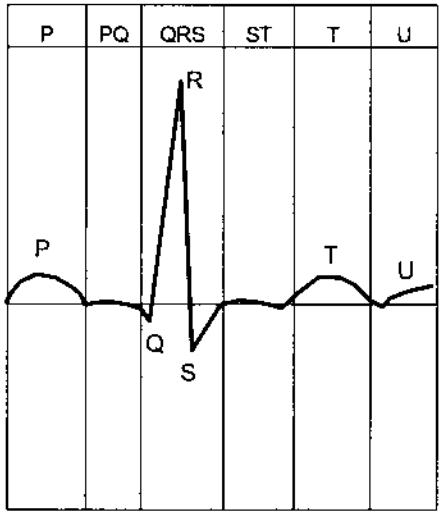
Người ta đã ghi lại được điện sinh vật của nhiều tổ chức cơ thể như tim, não, cơ, dạ dày, dạ con, đáy mắt ... Về bản chất, đó là những điện thế hoạt động do các tổ chức đó của cơ thể sinh ra khi thực hiện những hoạt động sinh lý chức năng bình thường.

2.1. Ghi điện tim

Sự phát sinh điện tim là do quá trình khử cực và phân cực lại xảy ra trong tim ở trạng thái bình thường. Quá trình này diễn ra rất phức tạp. Từ nút xoang phát ra những sóng kích thích đi vào cơ nhĩ và dừng lại khoảnh khắc ở nút nhĩ thất. Từ đó kích thích được lan truyền một cách nhanh chóng theo hệ thống dẫn truyền (bó Hiss và mạng Purkinger) đến nội tâm mạc. Vách liên thất được kích thích so với thành thất và sau đó kích thích được lan truyền từ trái sang phải. Kết quả là tim bị phân cực, ở vùng đáy tim tích điện âm tối đa và mỏn tim tích điện dương tối đa. Về phương diện giải phẫu đáy và mỏm là hai cực của tim và trục tim đi qua hai cực đó.

http://tieulun.hopto.org

Hình 3.4.22 cho biết một điện tâm đồ bình thường với các sóng P, Q, R, S, T, U. Ta nhận thấy các sóng không đồng nhất về hình dáng, khác nhau về thời khoảng và biên độ. Sóng P, T và U có thể hướng lên trên hoặc xuống dưới, nghĩa là có thể âm hoặc dương. Phức bộ QRS không phải lúc nào cũng có, nếu có thì sóng Q âm, xảy ra trước, tiếp theo sau là sóng R dương và tiếp đến là sóng S âm. Độ lớn (hay biên độ) của sóng được tính từ đường đẳng điện và đo bằng đơn vị milivôn (mV). Thời khoảng (hay thời gian kéo dài) của sóng đo bằng giây (s).



Hình 3.4.22

Sóng P thể hiện sự kích thích của tâm nhĩ, có biên độ từ 0,05 tới 0,30mV. Nếu sóng P có biên độ cao hơn 0,30 mV ta có thể nghĩ đến một sự kích thích bị rối loạn của tâm nhĩ (như trong bệnh tăng huyết áp). Thời khoảng của sóng P xác định sự kéo dài của kích thích, vào quãng nhỏ hơn 0,1 s. Nếu lớn hơn 0,1 s là có rối loạn trong sự dẫn truyền điện của tâm nhĩ. Nếu sóng P có dạng nhiều răng cưa, đó là biểu hiện của sự nhiễm trùng bệnh thấp khớp cấp, hoặc do tổn thương thực thể của tim ở lớp giữa các cơ tim (như màng tim ...).

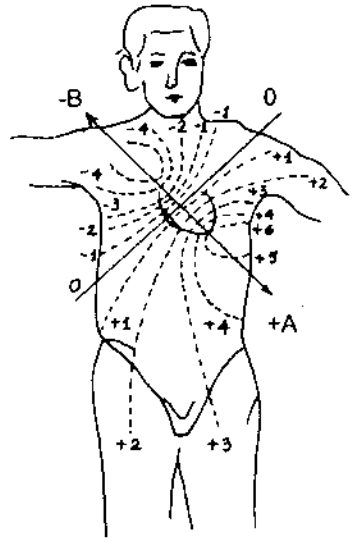
Sóng QRS biểu hiện sự kích thích của tâm thất. Biên độ của sóng R bình thường từ 0,6 đến 1,6mV, thời khoảng của QRS từ 0,06 đến 0,09 s. Sóng T có biên độ khoảng từ 0,25 mV đến 0,5mV và thời khoảng cỡ 0,25s.

Khoảng S - T tương ứng với thời kỳ kích thích bao trùm tất cả các cơ tim.

Khoảng cách T - P biểu hiện thời gian tim nghỉ, không có sự hiện diện của dòng điện sinh vật.

Thông thường điện tim của người khoẻ mạnh có QRS và T cùng một hướng dương. Sau sóng T, trong một số trường hợp ghi được sóng U, về nguồn gốc chưa được giải thích đầy đủ.

Ta có thể ghi điện tâm đồ của người bình thường bằng hình thức trực tiếp hoặc gián tiếp. Thường ghi bằng con đường gián tiếp. Các tổ chức của cơ thể là một môi trường dẫn điện vì thế khi cơ tim bị kích thích tạo ra một hiệu điện thế và được truyền đi khắp cơ thể. Khi tim co bóp, tất



Hình 3.4.23. Sơ đồ phân bố đường đẳng điện trên bề mặt cơ thể do sức điện động của tim gây nên

http://tieulun.hopto.org

cả mọi điểm trên bề mặt cơ thể đều có sự thay đổi điện thế. Hình 3.4.23 cho biết sự phân bố điện thế trên bề mặt cơ thể. Ta thấy tồn tại những điểm có điện thế bằng nhau. Đường AB chỉ hướng của trục điện tim - hướng của sức điện động, bình thường trục này song song với trục giải phẫu của tim. Đường thẳng vuông góc với trục điện tim (tại một điểm nhất định) có điện thế bằng 0. Tất cả những điểm nằm phía dưới đường này có điện thế dương, phía trên có điện thế âm.

Để ghi được điện tim, ta chọn hai điểm có chênh lệch điện thế lớn.

Thí dụ: chênh lệch điện thế lớn có được giữa hai tay và chân trái. Hiệu điện thế ghi được giữa hai điểm của cơ thể gọi là chuyển đạo điện tim (hoặc đạo trình). Để ghi các chuyển đạo ta nối các điểm trên bề mặt của cơ thể với máy ghi.

Các chuyển đạo mẫu do Eitoven đặt tên là:

- Chuyển đạo D_I ghi hiệu điện thế giữa tay trái và tay phải.
- Chuyển đạo D_{II} ghi hiệu điện thế giữa tay phải và chân trái.
- Chuyển đạo D_{III} ghi hiệu điện thế giữa tay trái và chân trái.

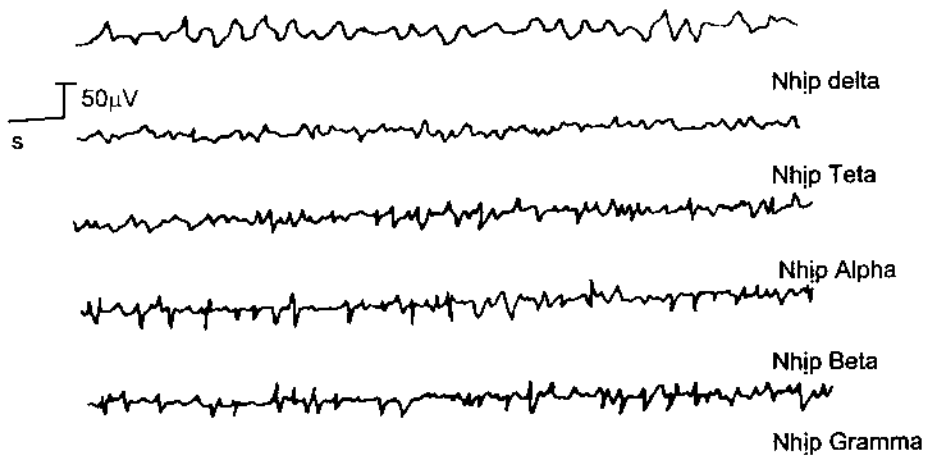
Ngoài ra còn có các chuyển đạo trước tim và chuyển đạo đơn cực các chi.

2.2. Ghi điện não

Não người có một kiến trúc phức tạp, gồm khoảng 10^{10} tế bào thần kinh (nơron). Mỗi tế bào não giống như một nguồn điện tý hon mà thế điện động luôn luôn biến đổi. Các tế bào não liên hệ chặt chẽ với nhau nên mỗi biến đổi về điện của một tế bào lại kéo theo những biến đổi về điện ở các tế bào khác. Kết quả là nhiều tế bào não có thể hợp nhất dòng điện hoạt động của chúng trong trạng thái đồng bộ. Quá trình này tạo nên các sóng điện não, các sóng này có khả năng truyền qua xương sọ và da đầu.

Sóng điện não là những dao động có tần số, biên độ và hình dáng khác nhau.

Hình 3.4.24 vẽ các nhịp khác nhau của điện não đồ.



Hình 3.4.24. Các nhịp khác nhau của điện não đồ

http://tieulun.hopto.org

Tính chất của điện não đồ do nhiều thông số quyết định, tuy nhiên trên thực tế chủ yếu người ta dựa vào tần số của chúng. Có nhiều tác giả phân loại theo quan niệm và kinh nghiệm của mình, nhưng nhìn chung không có sai lệch nhau nhiều lắm. Dưới đây là sự phân chia thành các nhóm sóng của các tác giả Liên Xô cũ:

Sóng delta: 0,5 - 3 Hz

Sóng teta: 4 - 7 Hz

Sóng alpha: 8 - 13 Hz

Sóng beta: 14 - 30 Hz

Sóng gamma: 30 - 50 Hz

Sóng delta thường xuất hiện ở điện não đồ trong trường hợp đang ngủ hay bệnh lý, sóng này thường ghi được ở phần sau của não.

Sóng teta thường gặp trên điện não đồ của trẻ con, nhưng ở lứa tuổi lớn hơn 10 thì biên độ và số lượng các sóng teta giảm đi nhiều. Ở người khoẻ mạnh không phải lúc nào cũng ghi được sóng teta. Biện độ sóng teta vào khoảng 20 - 50 μV. Trên điện não đồ có thể nhìn thấy các sóng teta riêng lẻ hoặc tập hợp thành từng cụm.

Sóng alpha xuất hiện ở đa số trường hợp người lớn khoẻ mạnh trong điều kiện nghỉ ngơi về giác quan và tinh thần. Biên độ có thể trong khoảng 20 - 100 μV, tuỳ theo từng chuyển đạo. Trên điện não đồ sóng alpha có thể xuất hiện rải rác, có khi tập trung thành từng cụm.

Sóng beta được ghi trên điện não đồ của đa số người, nhưng trên người khỏe mạnh chỉ chiếm một tỷ lệ rất nhỏ. Tuỳ theo từng tác giả, biên độ sóng beta ở trong khoảng 3-5 μV. Sóng beta có thể xem là đặc trưng cho phần trước của não (vùng trán và vùng trung tâm), nhưng thực tế trên một số người sóng beta được thể hiện nhiều ở vùng thái dương.

Khi ghi điện não, người ta cho đối tượng đội một cái mũ đặc biệt trong đó có các điện cực nhỏ bằng kim loại có thể tiếp xúc với da đầu qua một loại sáp dẫn điện. Tuỳ theo vị trí đặt điện cực mà ta có các chuyển đạo khác nhau.

– Chuyển đạo đơn cực: Trong trường hợp này một điện cực đặt ở vùng có hoạt động điện não, gọi là điện cực hoạt động, điện cực kia đặt xa nơi phát dòng điện não, gọi là điện cực trung hoà (thường đặt ở dái tai, hoặc ở mũi).

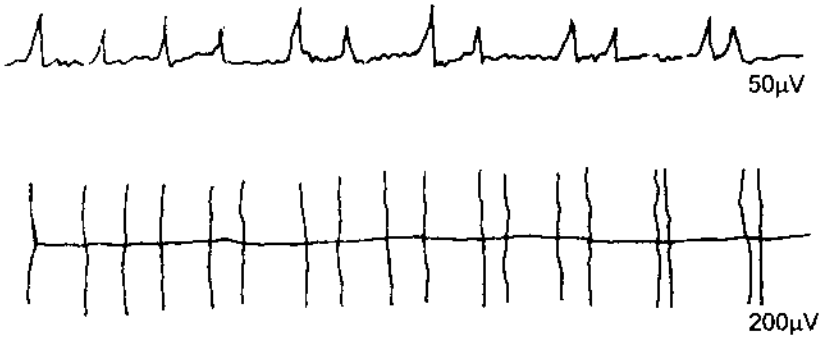
– Chuyển đạo lưỡng cực: đối với chuyển đạo lưỡng cực cả hai điện cực đều được đặt trên vùng hoạt động của não. Cả hai điện cực đều gọi là điện cực hoạt động. Điện thế thu được trong chuyển đạo lưỡng cực là tổng đại số điện thế của hai điện cực.

– Hệ thống phân bố điện cực quốc tế (còn gọi là hệ thống điện cực Giatspe 10 - 20%): để khắc phục tình trạng sai lệch các kết quả nghiên cứu thu được của các tác giả và để giúp cho việc theo dõi diễn biến bệnh tật qua điện não đồ trên một người bệnh được đồng nhất, hội những người nghiên cứu điện não quốc đã đưa ra hệ thống phân bố điện cực đặt trên đầu theo một tỷ lệ khoảng cách và một trình tự nhất định phù hợp với vị trí giải phẫu của những phần khác nhau trong bộ não. Đó là hệ thống điện cực Giatspe 10 - 20%.

http://tieulun.hopto.org

2.3. Ghi điện cơ

Chúng ta đã biết đơn vị chức năng của bộ máy thần kinh vận động là đơn vị vận động, thành phần chủ yếu là tế bào thần kinh vận động và một nhóm sợi cơ mà nó điều khiển. Ở trạng thái nghỉ ngơi, điện thế màng của sợi cơ người trung bình khoảng 80 μV. Khi có kích thích, xung động được truyền từ dây thần kinh đến sợi cơ, sóng khử cực của màng được truyền theo sợi cơ và chúng ta ghi được điện cơ dưới dạng điện thế hoạt động.



Hình 3.4.25. Điện thế động của đơn vị vận động (cơ hai đầu cánh tay).
Các xung của hai đơn vị vận động.

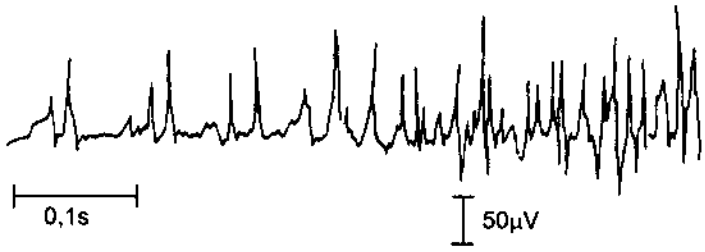
1. Điện cực đồng tâm
2. Điện cực lưỡng cực

Ở người khoẻ mạnh, dùng điện cực kim xuyên vào cơ có thể dẫn được điện thế hoạt động của một đơn vị vận động khi co cơ yếu. Nó là kết quả cộng điện thế hoạt động của những sợi cơ gần điện cực kim thuộc đơn vị vận động đó, vì những sợi cơ ở gần cũng được kích thích bằng chính xung động từ dây thần kinh đến. Điện thế hoạt động của đơn vị vận động có hàng loạt nhịp giống nhau về hình dạng và biên độ (hình 3.4.25).

Dạng của điện thế hoạt động phụ thuộc vào cấu trúc của đơn vị vận động, loại điện cực và vị trí của điện cực trong cơ.

Trong thực tế cơ là một cơ quan thống nhất, các đơn vị vận động làm việc dưới sự điều khiển của thần kinh. Sự phối hợp và làm việc cộng đồng của các đơn vị vận động được thể hiện qua điện cơ đồ giao thoa. Khi dùng điện cực kim để nghiên cứu điện cơ đồ, ta thấy khi co cơ yếu chỉ một vài đơn vị vận động làm việc, điện thế hoạt động chứng tỏ có nhiều đơn vị vận động đi vào hoạt động. Kết quả cho ta điện cơ đồ giao thoa, lúc này chúng ta không thể phân biệt được điện thế hoạt động của từng đơn vị vận động (hình 3.4.26).

http://tieulun.hopto.org



Hình 3.4.26. Sự chuyển từ điện thế động của các đơn vị vận động riêng biệt sang điện cơ đồ giao thoa.

Những điện cực với tiết diện lớn, khi co cơ yếu cũng có thể thu được điện cơ đồ giao thoa.

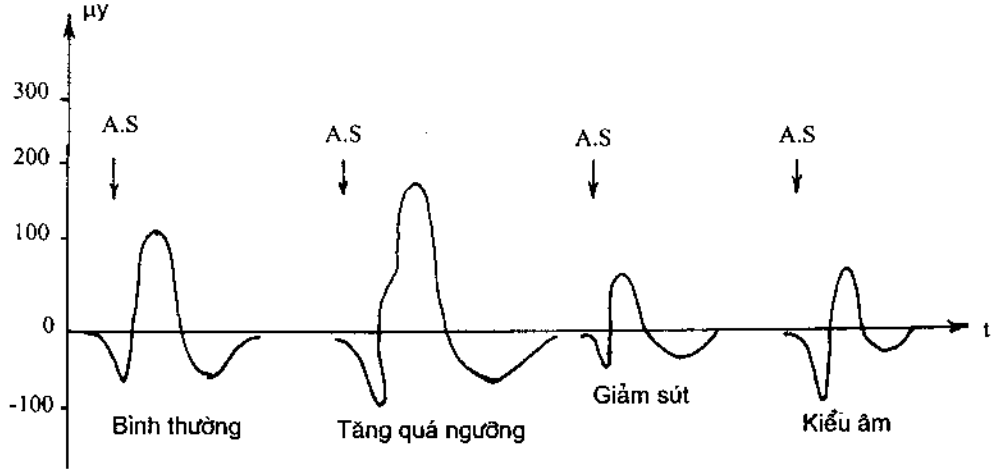
Sự tăng số lượng đơn vị vận động làm việc sẽ kèm theo hiện tượng tăng biên độ dao động điện thế của điện cơ đồ giao thoa.

Dưới cường độ co cơ không đổi, điện cơ đồ giao thoa có dạng hàng loạt những dao động điện thế liên tục không điều hoà, có biên độ, hình dạng và thời khoảng không giống nhau, trong đó các sóng nhỏ bị lẫn vào các sóng lớn.

2.4. Ghi điện võng mạc

Theo Dubois Raymond bình thường giữa giác mạc và đáy mắt có một điện thế tĩnh khoảng 4 - 10 μV. Khi chiếu một luồng sáng mạnh và nhanh vào mắt thì làm phát sinh ra một chuỗi xung điện đặc biệt có thể ghi lại được. Hình (3.3.27) cho biết hình ảnh điện võng mạc đồ bình thường và bệnh lý.

Kỹ thuật ghi điện võng mạc giúp ích cho việc đánh giá chức năng của tế bào thần kinh thị giác ở võng mạc, của đường thần kinh dẫn truyền cũng như của trung khu thị giác ở não.



Hình 3.4.27. Điện võng mạc đồ bình thường và bệnh lý

http://tieulun.hopto.org

V. ĐẠI CƯƠNG VỀ KÍCH THÍCH CƠ VÀ THẦN KINH

1. Nguồn kích thích - cường độ kích thích

Chúng ta có thể dùng các yếu tố cơ, nhiệt, điện, hoá để kích thích cơ và thần kinh. Độ nhạy cảm của các tế bào đối với mỗi loại kích thích một khác. Trong điều kiện thí nghiệm, cơ và thần kinh nhạy cảm nhất đối với các kích thích điện. Các tế bào chỉ bị kích thích khi điện áp tác dụng lên chúng có biên độ biến đổi theo thời gian. Kích thích hiện thường dùng là các xung vuông, có biên độ biến đổi rất nhanh, chỉ cần vài μs biên độ có thể biến đổi từ 0 đến giá trị cực đại.

Thí nghiệm đã xác định được rằng: "Một sợi cơ mà màng có điện trở 1MΩ sẽ bắt đầu có phản ứng khi chịu tác dụng của một điện lượng q có độ lớn là 10^{-10}C.

Ta đã biết: $A = P.t$

Trong đó: A là công

P là công suất

t là thời gian

$$A = RI^2t = R.\frac{q^2}{t^2}t = R\frac{q^2}{t}$$

Nếu mỗi xung điện kéo dài 1 ms thì:

$$A = 10^6 \cdot \frac{10^{-20}}{10^{-3}} = 10^{11}\,J = 0{,}6.10^8\,eV = 6.10^4\,keV$$

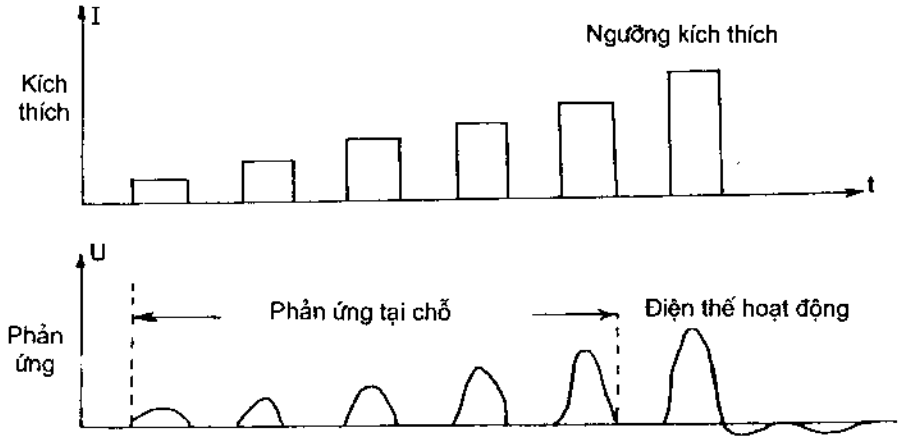
(Vì $1eV = 1{,}6.10^{-19}$ Joule).

Như vậy 10^{-11} J hay 6.10^4 keV là năng lượng tối thiểu cần tác dụng vào tơ cơ để cho nó bắt đầu phản ứng. Đối với tơ thần kinh, giá trị này nhỏ hơn, chỉ vào khoảng 6 keV. Với tế bào thần kinh thị giác, chỉ cần một photon năng lượng khoảng 2 eV cũng đủ gây nên cảm giác sáng. Các kích thích có thể tác dụng trực tiếp lên tế bào, cũng có thể tác dụng gián tiếp thông qua yếu tố trung gian (thí dụ thông qua dây thần kinh đến vận động một cơ mà kích thích cơ đó; thông qua đĩa cùng synap kích thích cơ, thần kinh).

Các kích thích điện thường được đặc trưng bằng hai thông số: cường độ hay biên độ kích thích và thời gian mà kích thích tồn tại.

Thực nghiệm xác nhận rằng với những kích thích điện có thời gian tồn tại xác định, nếu cường độ nhỏ, phản ứng của cơ và thần kinh chỉ xuất hiện tại chỗ đặt điện cực kích thích, biểu hiện bằng một xung thế hiệu có đặc tính là biên độ tăng dần theo cường độ của kích thích (hình 3.5.1). Đó là phản ứng tại chỗ. Nếu kích thích có cường độ đủ lớn, nghĩa là vượt qua một giới hạn xác định gọi là ngưỡng kích thích thì nó tạo được trên cơ và thần kinh trạng thái hưng phấn biểu hiện bằng một điện thế hoạt động, được lan đi dọc theo các tổ chức dẫn truyền và có biên độ không đổi trong suốt quá trình lan truyền (hình 3.5.1).

http://tieulun.hopto.org



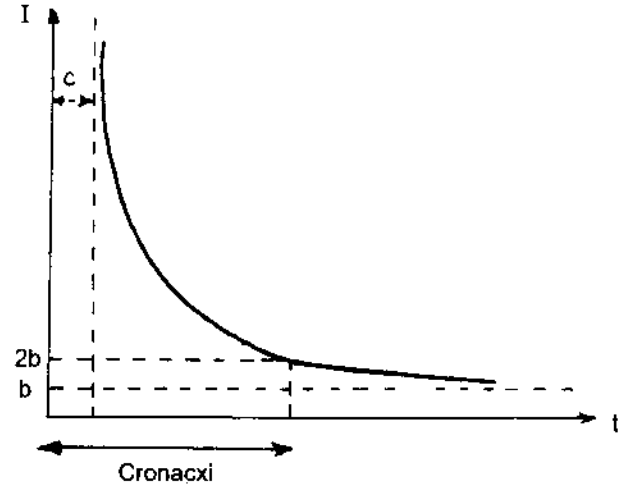
Hình 3.5.1

Một định luật liên quan đến sự xuất hiện hưng phấn do các kích thích khác nhau gây nên là định luật "tất cả hay không". Điểm cơ bản của định luật này là điện thế hoạt động chỉ xuất hiện khi cường độ kích thích lớn hơn hoặc bằng ngưỡng kích thích và biên độ của điện thế hoạt động xuất hiện do các kích thích với cường độ khác nhau gây nên đều có cùng một giá trị.

Tuy nhiên định luật "tất cả hay không" chỉ áp dụng đúng đối với từng sợi cơ hay sợi thần kinh mà không đúng đối với cả một dây thần kinh hay cả một bắp cơ. Trong một giới hạn xác định, khi cường độ kích thích tăng lên, số sợi thần kinh (hay số sợi cơ) có hưng phấn làm tới tăng lên, do đó biên độ điện thế hoạt động của dây thần kinh (hay bắp cơ) tăng lên. Giá trị của cường độ kích thích mà vượt qua đó kích thích không tiếp tục làm cho biên độ điện thế hoạt động tăng lên nữa gọi là cường độ trên tối đa. Dưới tác dụng của kích thích có cường độ trên tối đa tất cả các tơ thần kinh (hay sợi cơ) trong dây thần kinh (hay bắp cơ) đều hoạt động.

2. Quan hệ giữa cường độ và thời gian kích thích

Dùng một máy phát xung có thể thay đổi được thời gian kéo dài và cường độ của xung kích thích tác dụng vào tơ thần kinh (hay sợi cơ), ghi lại giá trị của cường độ xung kích thích đủ để gây nên được trạng thái hưng phấn cho tơ thần kinh (hay sợi cơ) đó ứng với những thời gian kéo dài khác của xung, biểu diễn kết quả trên hệ toạ độ vuông góc I = I (t) ta có hình 3.5.2.



Hình 3.5.2

http://tieulun.hopto.org

Từ hình vẽ 3.5.2 chúng ta có khái niệm về các đại lượng sau:

2.1. Ngưỡng thời gian C

Đó là khoảng thời gian ngắn nhất mà xung điện phải kéo dài để có thể gây nên hưng phấn trên tế bào. Ở động vật có xương sống, giá trị C của tế bào thần kinh vào khoảng μs. Ta thấy rằng nếu thời gian kéo dài của xung điện ngắn hơn C thì dù xung điện có cường độ lớn đến đâu cũng không có khả năng gây nên trạng thái hưng phấn của cơ hay thần kinh.

2.2. Ngưỡng kích thích hay reobazơ ký hiệu là b

Đó là cường độ nhỏ nhất mà xung kích thích phải đạt được để gây nên trạng thái hưng phấn trên cơ hay thần kinh. Có thể xác định b theo đồ thị I = I (t). Ta thấy rằng nếu cường độ của xung kích nhỏ hơn b thì dù có kéo dài bao lâu xung điện cũng không thể gây hưng phấn trên cơ hay thần kinh.

2.3. Cronacxi

Đó là khoảng thời gian ngắn nhất mà một xung điện có cường độ gấp hai lần ngưỡng kích thích (2b) cần phải kéo dài để gây nên hưng phấn trên cơ hay thần kinh.

Theo hình 3.5.2 ta thấy khi $t \to \infty$ thì $I \to b$. Vậy có thể viết:

$$I = \frac{Q}{t} + b$$

Trong đó Q là điện lượng tới cơ hay thần kinh. Nếu t^* là khoảng thời gian gọi là crônăcxi, theo định nghĩa trên, ta có:

$$2b = \frac{Q}{t^*} + b$$

Suy ra:

$$t^* = \frac{Q}{b}$$

Ngoài các đại lượng trên, khi nghiên cứu phản ứng của cơ và thần kinh dưới tác dụng của các kích thích, người ta còn nhận thấy một số hiện tượng sau:

2.4. Hợp các kích thích

Đó là trường hợp hai kích thích dưới ngưỡng có thể gây nên trạng thái hưng phấn của tế bào, còn gọi là hiện tượng cộng tác dụng của hai kích thích dưới ngưỡng. Hiện tượng này xảy ra khi một trong hai điều kiện sau được thoả mãn:

- Hai kích thích dưới ngưỡng cùng tác dụng vào một vị trí của tế bào cách nhau một khoảng thời gian đủ ngắn (cộng tác dụng theo thời gian).

- Hai kích thích dưới ngưỡng đồng thời tác dụng vào hai vị trí đủ gần nhau của tế bào (cộng tác dụng trong không gian).

http://tieulun.hopto.org

2.5. Thời gian ủ, giai đoạn trơ

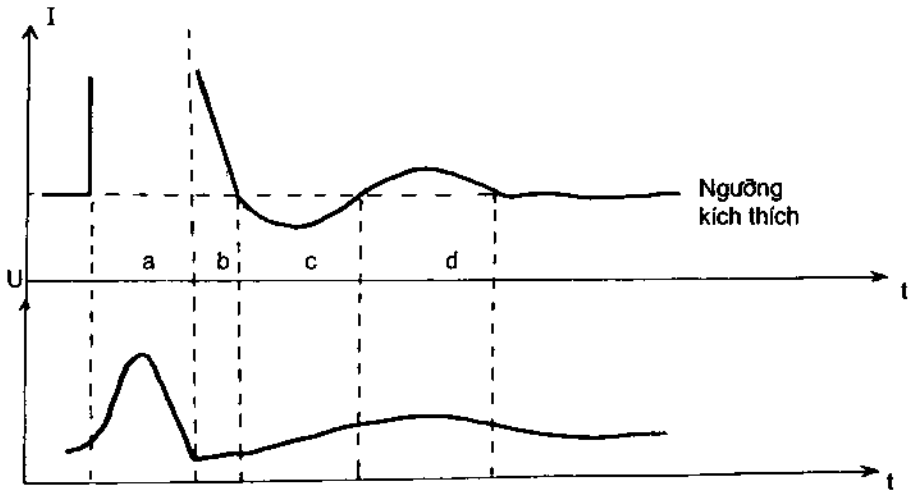
Đặc tính của cơ và thần kinh là khi bị kích thích chúng không phản ứng ngay lập tức mà chỉ sau đó một thời gian. Khoảng thời gian tính từ điểm nhận xung kích thích cho tới thời điểm bắt đầu xuất hiện điện thế hoạt động gọi là thời gian ủ. Mỗi loại tế bào có thời gian ủ khác nhau.

Năm 1953 tiến hành trên tơ thần kinh cô lập, Tasaki đã chứng minh thời gian ủ τ phụ thuộc vào cường độ kích thích I như sau:

$$I = (1 + \frac{k}{\tau})b$$

k và b là hằng số đặc trưng cho trạng thái của tơ thần kinh, trong đó b là ngưỡng kích thích.

Xét một kết quả kích thích thần kinh (hình 3.5.3) người ta thấy: sau khi bị kích thích, trong khoảng thời gian xác định kể từ sau thời gian ủ đến thời điểm đỉnh âm của điện thế hoạt động dù có tác dụng vào thần kinh xung điện cường độ mạnh đến đâu chăng nữa cũng không tạo ra hưng phấn mới trên thần kinh đó. Khoảng thời gian này ứng với giai đoạn trơ tuyệt đối của thần kinh. Tiếp sau đó là giai đoạn trơ tương đối kể từ lúc đường biểu diễn của điện thế hoạt động bắt đầu đi lên và kéo dài khoảng 10 ÷ 20ms. Ở giai đoạn này ngưỡng kích thích lớn hơn giá trị ngưỡng thông thường. Sau đó đến giai đoạn siêu bình thường ứng với ngưỡng kích thích nhỏ hơn giá trị ngưỡng bình thường. Cuối cùng đến giai đoạn gần bình thường tương ứng với ngưỡng kích thích lớn hơn bình thường một chút.



Hình 3.5.3. Ngưỡng kích thích ứng với 4 giai đoạn của điện thế hoạt động U của thần kinh hông ếch.

a. Giai đoạn trơ tuyệt đối: 2 – 3ms

b. Giai đoạn trơ tương đối: 10 – 20ms

c. Giai đoạn siêu bình thường: ~ 15ms

d. Giai đoạn gần bình thường: ~ 70ms

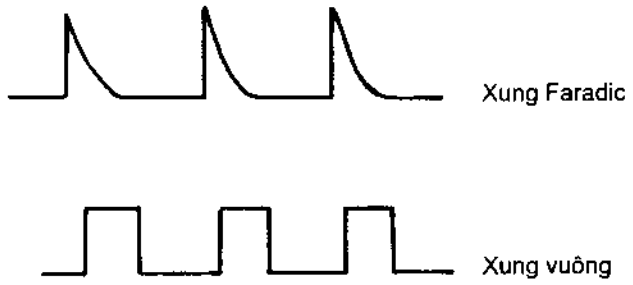
http://tieulun.hopto.org

VI. ĐẠI CƯƠNG VỀ TÁC DỤNG SINH VẬT CỦA DÒNG ĐIỆN VÀ ỨNG DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN TRONG ĐIỀU TRỊ

1. Các loại dòng điện dùng trong điều trị

Trong vật lý và trong kỹ thuật người ta phân biệt dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều. Dòng điện một chiều là dòng điện có cường độ không đổi theo thời gian. Dòng điện xoay chiều là dòng điện có cường độ thay đổi theo thời gian. Sự thay đổi này có thể là điều hoà hình sin hoặc dưới dạng các xung điện với tần số khác nhau.

Trong y học, có người gọi các dòng điện xoay chiều là các dòng điện thay đổi dưới dạng xung điện (xung faradic, xung vuông, hình 3.6.1) với các tần số khác nhau và phân loại dòng điện theo tần số của nó như sau:



Hình 3.6.1

– Dòng điện hạ tần bao gồm dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều có tần số nhỏ hơn 1000 Hz.

– Dòng điện trung tần là dòng điện thay đổi với tần số trong khoảng 1000 Hz đến 300.000 Hz.

– Dòng điện cao tần là dòng điện xoay chiều với tần số trên 300.000Hz.

Trong loại này người ta phân biệt:

Sóng ngắn: bước sóng khoảng 10m, tần số khoảng 30 MHz.

Sóng siêu ngắn: bước sóng 70cm, tần số 400 MHz.

Sóng cực ngắn: bước sóng 10cm, tần số 2500 MNz.

2. Dòng điện không đổi qua một vài môi trường

Khi cho dòng điện không đổi chạy qua cơ thể sinh vật người ta thấy một số hiện tượng, quy luật tương tự như khi dòng điện không đổi chạy qua kim loại và chất điện ly. Dưới đây, nhắc lại một số điểm cơ bản của dòng điện không đổi trong hai môi trường này.

2.1. Dòng điện trong kim loại

Bản chất dòng điện trong kim loại là dòng chuyển dời có hướng của các electron tự do dưới tác dụng của điện trường ngoài.

http://tieulun.hopto.org

Nguyên nhân của điện trở là sự cản trở chuyển động có hướng của các electron gây ra bởi các nút tinh thể kim loại. Các nút tinh thể này là những ion dương luôn luôn dao động hỗn độn xung quanh vị trí cân bằng của chúng. Chính vì vậy điện trở của một dây dẫn kim loại phụ thuộc vào kích thước, bản chất và nhiệt độ của nó. Ta có công thức sau:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Trong đó R là điện trở của dây dẫn (tính bằng Ohm, ký hiệu là Ω) có chiều dài ℓ (tính bằng m) tiết diện S (tính bằng m^2) và làm bằng chất có điện trở suất ρ (tính bằng Ωm).

Ta còn có: $R_t = R_0 (\ell + \alpha t)$

trong đó R_t là điện trở của dây dẫn ở nhiệt độ t°C, R_o là điện trở của chính dây dẫn đó ở 0°C còn α là hệ số nhiệt điện trở (tính bằng $\frac{1}{^0C}$ hoặc $\frac{1}{^0K}$) phụ thuộc vào bản chất của dây dẫn.

Khi xét một đoạn mạch (một đoạn dây dẫn có điện trở) có dòng điện chạy qua, người ta thấy hai định luật sau đây luôn luôn được nghiệm đúng:

– Định luật Ohm đối với đoạn mạch: Cường độ dòng điện (I) chạy trong một đoạn dây dẫn tỉ lệ thuận với hiệu điện thế (U) đặt ở hai đầu của đoạn dây và tỷ lệ nghịch với điện trở (R) của đoạn dây:

$$I = \frac{U}{R}$$

– Định luật Joule - Lentz: Nhiệt lượng Q toả ra trong một dây dẫn có dòng điện không đổi chạy qua tỉ lệ thuận với thời gian t mà dòng điện chạy qua, với điện trở R của dây dẫn và với bình phương của cường độ dòng điện I qua dây dẫn đó:

$$Q = RI^2 . t$$

2.2. Dòng điện trong chất điện phân

2.2.1. Sự điện ly của các phân tử trong dung dịch.

Dòng điện đi qua các vật dẫn loại hai luôn kéo theo các phản ứng hoá học. Vật dẫn loại hai là các dung dịch muối, acid, bazơ, và một số chất khác chủ yếu là muối ở trạng thái nóng chảy.

Thí nghiệm cho thấy nước và dung dịch của một số chất như đường, glycerin... (là những chất về căn bản chỉ gồm những phân tử trung hoà) thì không có khả năng dẫn điện. Chỉ có các dung dịch mà các phân tử của chất hoà tan bị phân ly thành các ion dương và âm (như dung dịch NaCl) mới có khả năng dẫn điện Những ion này dịch chuyển dưới tác dụng của điện trường và tạo ra dòng điện. Những chất hoà tan có khả năng phân ly thành các ion trong dung môi gọi là chất điện phân hoặc chất điện ly. Ngoài ra còn các chất muối khi đun nóng chảy cũng phân ly

http://tieulun.hopto.org

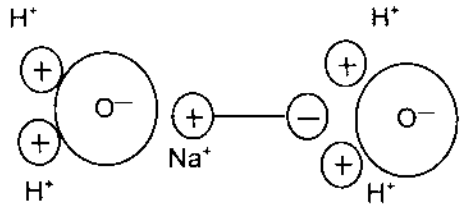
thành các ion cũng là các chất điện phân. Sự phân ly các phân tử thành ion được gọi là sự điện ly.

2.2.2. Thuyết điện ly

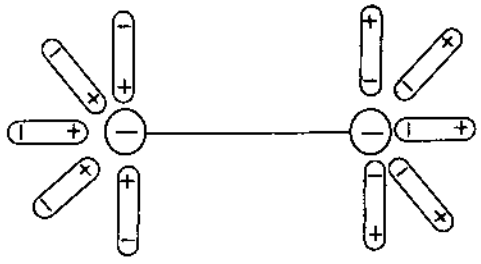
Lý thuyết về sự phân ly các phân tử chất hoà tan trong dung dịch gọi là thuyết điện ly. Dưới đây là các cơ sở của quan niệm hiện đại về sự điện ly.

Mọi phân tử đều có các electron tích điện âm và các hạt nhân tích điện dương. Nếu tâm của các điện tích dương trùng với tâm của các điện tích âm thì sự phân bố điện tích của phân tử đó về toàn bộ là đều và phân tử thuộc loại không cực (mối liên hệ không cực). Nếu các tâm đó không trùng nhau thì ta có phân tử có cực (mối liên hệ có cực). Còn nếu các tâm đó tách xa nhau rất rõ, phân tử thuộc loại phân tử ion (mỗi liên kết ion). Việc tạo thành mối liên kết ion là do một phần các electron hoá trị chuyển từ một số nguyên tử nào đó của phân tử sang một số nguyên tử khác. Còn trong mối liên kết có cực thì một phần các electron hoá trị của các nguyên tử trong phân tử chỉ dịch chuyển khi tạo thành phân tử và quỹ đạo của nó bị ràng buộc với cả hệ thống các hạt nhân có trong phân tử.

Trong các phân tử hay tinh thể của các hợp chất có mối liên kết ion (gọi tắt là hợp chất ion) có chứa các ion của chúng (chứ không phải các nguyên tử trung hoà). Đối với hợp chất ion quá trình tạo thành các ion trong dung dịch được giải thích như sau: Khi hoà tan một chất điện phân sẽ chỉ xảy ra quá trình tách các ion chứ không phải là quá trình tạo thành các ion đó. Quá trình tách có thể hình dung như sau: Giả sử có một chất cấu tạo bởi những phân tử ion như NaCl chẳng hạn (hình 3.6.2) hoà tan vào trong nước (gồm các phân tử có cực). Các phân tử nước là các phân tử có mômen lưỡng cực lớn. Trong điện trường ở xung quanh mỗi phân tử NaCl chúng được sắp xếp như sau: Các đầu dương của chúng hướng vào cực âm của phân tử NaCl (tức là Cl^-) và hút ion ấy đồng thời đẩy ion Na^+ (hình 3.6.3). Các đầu âm của chúng thì hướng vào đầu dương của phân tử NaCl (tức là ion Na^+) và hút ion ấy, đồng thời đẩy ion Cl^-. Như vậy là các phân tử nước (dung môi) bao quanh các ion của chất hoà tan (NaCl). Như vậy nó đã làm yếu đi mối liên kết giữa các Na^+ và Cl^- trong phân tử NaCl. Do chuyển động nhiệt nên các phân tử luôn luôn va chạm với nhau. Vì thế nên NaCl khi va chạm với một phân tử khá nhanh nào đó của dung môi (hay phân tử NaCl khác) có thể bị phân ly thành các ion Na^+ và Cl^-.



Hình 3.6.2



Hình 3.6.3

http://tieulun.hopto.org

Song song với quá trình phân ly của các phân tử chất hoà tan trong dung dịch còn có quá trình ngược lại: khi hai ion khác dấu (thí dụ Na^+ và Cl^-) va chạm với nhau trong chuyển động nhiệt chúng có thể kết hợp lại thành phân tử trung hoà (NaCl) đó là sự tái hợp. Trong dung dịch chất điện phân có sự cân bằng động của hai quá trình phân ly và tái hợp khi mà số ion sinh thêm do sự phân ly trong một đơn vị thời gian bằng số ion tái hợp cũng trong khoảng thời gian đó. Khả năng phân ly ở các chất lỏng khác nhau rất khác nhau. Để đặc trưng định lượng cho độ phân ly của một chất hoà tan trong dung dịch người ta đưa ra hệ số phân ly α. Trong một đơn vị thể tích: n_0 là số phân tử chất hoà tan, n_0' là số phân tử bị phân ly thành ion thì:

$$\alpha = \frac{n_0'}{n_0}$$

α luôn nhỏ hơn hoặc bằng 1 ($0 \le \alpha \le 1$)

2.2.3. Sự điện phân - Định luật Faraday

– Sự điện phân: Đổ dung dịch điện phân vào một cái bình (hình 3.6.4) và đặt vào trong đó hai điện cực kim loại A và K. Chất điện phân bị phân ly thành các ion. Khi ta nối các điện cực với một nguồn điện (A nối với cực dương, K nối với cực âm giữa chúng có một điện trường và dưới ảnh hưởng của điện trường này, các ion sẽ chuyển động và tạo thành dòng điện chạy trong dung dịch. Những ion dương chạy về cực âm K (Katot) còn ion âm chạy về cực dương A (Antt). Đến các cực, các ion có thể hoặc là gặp các điện tích có sẵn ở cực để biến thành những phân tử trung hoà và xuất hiện ở cực, hoặc là tham gia phản ứng hoá học với chất dùng làm điện cực hay với dung môi để biến thành các chất mới (không có trong dung dịch) xuất hiện ở điện cực.

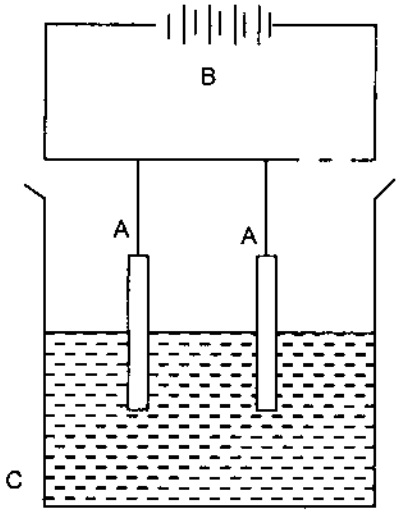
Thực nghiệm cho ta các định luật sau của hiện tượng điện phân:

a) Định luật Faraday thứ nhất:

"Khối lượng của chất thoát ra ở điện cực tỉ lệ với điện lượng đã đi qua chất điện phân".

$$m = k.q$$

Ở đây k là đương lượng điện hoá, phụ thuộc vào bản chất hoá học của chất thoát ra ở điện cực. Đương lượng điện hoá của một chất về trị số bằng khối lượng của chất đó thoát ra ở điện cực khi có một điện lượng bằng đơn vị chạy qua chất điện phân. Đơn vị của k là kg/C (kilôgam trên Culông). Trong trường hợp có dòng điện không đổi I chạy qua chất điện phân thì ta có:



Hình 3.6.4

$$m = k.I.t$$

với t là thời gian có dòng điện chạy qua chất điện phân.

http://tieulun.hopto.org

b) Định luật Faraday thứ hai:

Định luật này đề cập đến giá trị của đương lượng điện hoá. Faraday nhận thấy rằng đương lượng điện hoá k của các chất khác nhau luôn tỉ lệ với khối lượng nguyên tử A và tỉ lệ nghịch với hoá trị z của chất đó. Trong hoá học, tỉ số $\frac{A}{Z}$ được gọi là đương lượng hoá học của chất khảo sát. Do đó định luật Faraday thứ hai nói rằng:

"Đương lượng điện hoá của các chất thoát ra ở điện cực tỷ lệ thuận với đương lượng hoá học của chúng".

$$k = C.\frac{A}{Z}$$

trong đó C là hệ số tỉ lệ có cùng giá trị với tất cả các chất

– Công thức chung của cả hai định luật:

Nếu ký hiệu $\frac{1}{C} = F$, từ hai định luật trên ta có:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \cdot q$$

Đại lượng F được gọi là số Faraday và là một hằng số cơ bản của vật lý hiện đại. Trong công thức trên nếu lấy q = F ta có:

$$m = \frac{A}{Z}$$

Điều đó có nghĩa là nếu có một điện lượng bằng số Faraday đi qua một chất điện phân thì tại mỗi điện cực có thoát ra một lượng kilôgam vật chất bằng đương lượng hoá học A/Z của nó. Thực nghiệm đã xác định được:

$$F = 9{,}65.10^7 \text{ C/kgmol}$$

Dựa vào sự dẫn điện của chất điện phân và vào thuyết điện ly ta có thể giải thích được các định luật Faraday. Nhờ các phép đo điện phân ta tìm được số Faraday và nếu biết số Avogadro, ta có thể xác định được điện tích nguyên tố e.

3. Dòng điện xoay chiều trong mạch có RLC

3.1. Hiệu điện thế xoay chiều và các đại lượng đặc trưng

Trong thực tế ta có thể gặp những hiệu điện thế biến đổi bất kỳ hoặc tuần hoàn. Tuy nhiên, theo định lý Fourrier, một hiệu điện thế tuần hoàn có thể phân tích thành tổng của những hiệu điện thế có dạng hình sin hay cosin (hình 3.6.5). Biểu thức của một hiệu điện thế hình sin là:

$$U(t) = U_o \sin(\omega t - \varphi_{ou})$$

http://tieulun.hopto.org

Trong đó:

U (t): hiệu điện thế tại thời điểm t.

U_o: biên độ (hiệu điện thế cực đại).

ω: tần số góc

$\omega = 2\pi f$ với f là tần số của hiệu điện thế xoay chiều.

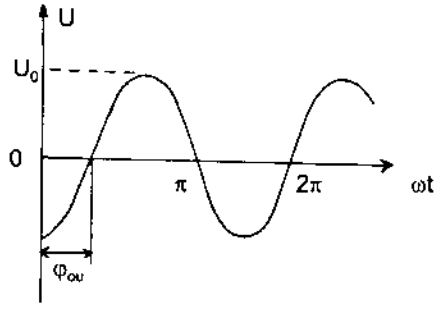
$\omega t + \varphi_{ou}$ là pha của hiệu điện thế, φ_{ou} là pha ban đầu

Các hiệu điện thế xoay chiều dạng sin hay cosin rất thường được sử dụng trong khoa học kỹ thuật và trong cuộc sống thông thường.

Dòng điện xoay chiều là dòng điện được sinh ra trong một mạch khi hai đầu của nó có một hiệu điện thế xoay chiều.

Trong khi đối với dòng điện không đổi, hiệu điện thế U được hoàn toàn xác định, thì để xác định hiệu điện thế xoay chiều cần phải biên độ và pha của nó ở mỗi thời điểm.

Để thuận tiện trong việc tính năng lượng của dòng điện xoay chiều, người ta so sánh nó với dòng không đổi và đưa ra khái niệm các giá trị hiệu dụng như sau:



Hình 3.6.5

Cường độ hiệu dụng của dòng xoay chiều (Ihd) có trị số bằng cường độ của dòng không đổi khi chạy qua cùng một điện trở trong cùng một thời gian thì toả ra cùng một nhiệt lượng.

Biểu thức của cường độ dòng điện xoay chiều là:

$$I = I_o \sin(\omega t + \varphi_{oi})$$

Nhiệt lượng do dòng xoay chiều toả ra trên điện trở thuần R trong khoảng thời gian t bằng chu kỳ (T) là:

$$Q_2 = R\int_0^T I^2 dt = RI_0^2\int_0^T \sin^2(\omega t + \varphi_{oi})dt = R\frac{I_0^2}{2}T$$

Xét trong khoảng thời gian t = T, đối với dòng điện hiệu dụng, ta có:

$$Q_1 = RI^2_{hd}T$$

Dựa vào khái niệm đã nêu trên, ta có:

$$Q_1 = Q_2$$

Từ đó suy ra $I^2_{hd} = \frac{I_0^2}{2}$ hay $I_{hd} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

http://tieulun.hopto.org

Hoàn toàn tương tự, ta có:

$$U_{hd} = \frac{U_2}{\sqrt{2}}$$

Như vậy các giá trị hiệu dụng của dòng xoay chiều nhỏ hơn biên độ của nó $\sqrt{2}$ lần.

3.2. Dòng điện xoay chiều trong đoạn mạch chỉ có một trong các linh kiện điện trở thuần R, tụ điện C hay cuộn cảm L

3.2.1. Dòng điện chuẩn dừng:

Chúng ta đã xây dựng các định luật Ohm và Kirchoff đối với dòng điện không đổi. Tuy nhiên chúng cũng được áp dụng đối với những giá trị tức thời của dòng điện và hiệu điện thế biến thiên, nếu sự biến thiên của chúng không quá nhanh. Các kích thích điện từ được truyền đi trong mạch với vận tốc rất lớn bằng vận tốc ánh sáng C. Nếu trong khoảng thời gian $\tau = \frac{\ell}{C}$, cần thiết để truyền kích thích đến điểm xa nhất của mạch điện, cường độ dòng điện thay đổi không đáng kể, thì giá trị tức thời của cường độ dòng điện tại mọi thiết diện thẳng của mạch thực tế là như nhau. Dòng điện tuân theo điều kiện đó gọi là dòng điện chuẩn dừng. Đối với các dòng điện biến thiên tuần hoàn, điều kiện chuẩn dừng được viết như sau:

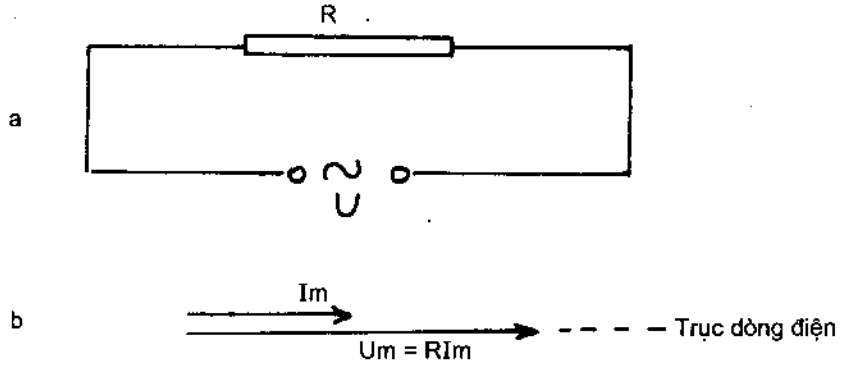
$$\tau = \frac{\ell}{C} << T$$

Trong đó τ là chu kỳ của dòng điện, ℓ là chiều dài mạch điện. Với các mạch chiều dài khoảng 3m thì $\tau = 10^{-8}$s. Như vậy với τ cỡ $\geq 10^{-6}$ (ứng với tần số $\leq 10^{6}$Hz) dòng điện trong mạch này có thể xem là chuẩn dừng. Dòng điện sinh hoạt (tần số 50 Hz) được xem là chuẩn dừng với mạch điện dài khoảng 100km. Các giá trị tức thời của dòng điện chuẩn dừng tuân theo các định luật Ohm và Kirchoff.

3.2.2. Dòng điện xoay chiều trong đoạn mạch chỉ có điện trở thuần R

Xét đoạn mạch chỉ có điện trở R, giữa hai đầu R ta đặt một hiệu điện thế xoay chiều (hình 3.6.6a):

$U = U_m \cos.\omega t$



Hình 3.6.6

http://tieulun.hopto.org

Khi có điều kiện chuẩn dừng, dòng điện qua điện trở được xác định bằng định luật Ohm:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R}\cos\omega t = I_m \cos\omega t$$

Như vậy giữa biên độ của thế hiệu và biên độ của dòng điện có hệ thức sau:

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$

Dùng giản đồ véc tơ ta có thể biểu diễn rõ ràng hơn mối quan hệ giữa dòng điện biến thiên và thế hiệu biến thiên. Chọn một hướng tuỳ ý, gọi là trục của dòng điện (hình 3.3.6b). Dọc theo trục đó, vẽ vectơ dòng điện, độ dài I_m. Bởi vì, trong trường hợp này, hiệu điện thế và dòng điện là cùng pha nên vectơ hiệu điện thế cũng được vẽ dọc theo trục đó, nhưng chiều dài bằng RI_m.

3.2.3. Dòng điện xoay chiều trong đoạn mạch chỉ có cuộn cảm L

Đặt thế hiệu xoay chiều (3.6.1) vào hai đầu một đoạn mạch chỉ có cuộn L. (hình 3.6.7), với điện trở R nhỏ không đáng kể. Dòng điện biến thiên sẽ chạy qua cuộn cảm, do đó trong cuộn cảm xuất hiện một suất điện động tự cảm ε_{tc}:

$$\varepsilon_{tc} = -L\frac{dI}{dt}$$

Theo định luật Ohm ta có:

$$U_m \cos\omega t - L\frac{dI}{dt} = 0 \qquad (3.6.2a)$$

Suy ra:

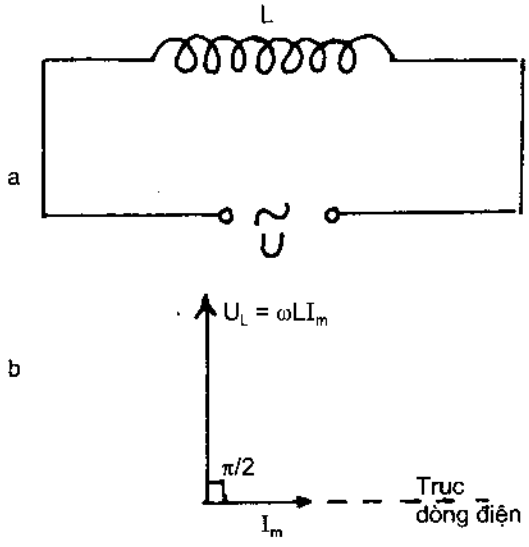
$$L\frac{dI}{dt} = U_m \cos\omega t \qquad (3.6.2b)$$

Trong trường hợp này toàn bộ thế hiệu bên ngoài đặt vào cuộn cảm ứng do đó đại lượng $U_L = L\frac{dI}{dt}$ chính là độ giảm điện thế trên cuộn cảm.

Phương trình 3.6.2a có thể biến đổi thành dạng:

$$dI = \frac{U_m}{L}\cos\omega t.dt$$

Lấy tích phân hai vế, ta có:



Hình 3.6.7

http://tieulun.hopto.org

$$I = \frac{U_m}{\omega L}\sin\omega t + const$$

Hiển nhiên thành phần một chiều của dòng điện không đổi, do đó const = 0.

Vậy:

$$I = \frac{U_m}{\omega L}\sin\omega t = I_m \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \qquad (3.6.3)$$

Trong đó:

$$I_m = \frac{U_m}{\omega L} \qquad (3.6.4)$$

Từ các biểu thức 3.6.3, 3.6.4 suy ra rằng trong trường hợp này đại lượng:

$$X_L = \omega L \qquad (3.6.5)$$

đóng vai trò của điện trở. Đại lượng X_L gọi là điện trở kháng của cuộn cảm ứng hay gọi tắt là cảm kháng. Nếu L đo bằng Henry (H), ω đo bằng $\frac{1}{s}$ thì X_L đo bằng Ohm.

Từ 3.6.5. ta nhận thấy cảm kháng của một cuộn dây tăng tỷ lệ thuận với tần số góc ω. Đối với dòng một chiều, cuộn dây có cảm kháng bằng 0.

Thay $U_m = \omega_{LIm}$ vào phương trình 3.6.2b ta thu được độ giảm điện thế ở hai đầu cuộn cảm là: $U_L = \omega L.I_m.\cos\omega t$. Từ 3.6.3 và 3.6.6 ta nhận thấy độ giảm điện thế ở hai đầu cuộn cảm nhanh pha hơn dòng điện chạy qua nó $\frac{\pi}{2}$. Nếu giống như hình (3.6.6b) trục dòng điện biểu thị bằng đường thẳng nằm ngang, hướng từ trái sang phải thì giản đồ vectơ mô tả quan hệ giữa dòng điện và độ giảm điện thế trong trường hợp này được vẽ như hình (3.6.7b).

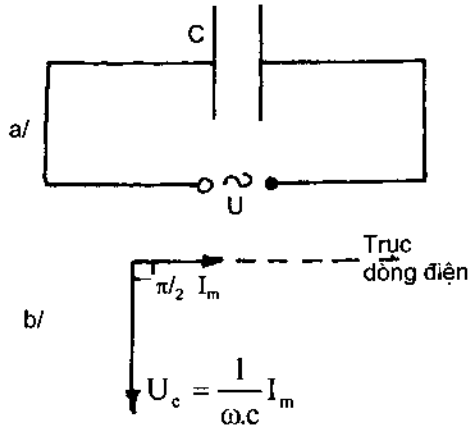
3.2.4. Dòng điện xoay chiều trong đoạn mạch chỉ có tụ điện C

Đặt hiệu điện thế xoay chiều (3.6.1) vào hai đầu một đoạn mạch chỉ có tụ điện C (hình 3.6.8a). Tụ điện liên tục nạp điện và phóng điện do đó trong mạch có một dòng điện biến thiên chạy qua. Trong trường hợp này hiệu điện thế mạch ngoài U bằng hiệu điện thế trên tụ điện C:

$$U_c = \frac{q}{C} = U_m \cos\omega t \qquad (3.6.7)$$

Do đó:

$$q = C.U_m \cos\omega t$$



Hình 3.6.8

http://tieulun.hopto.org

Theo định nghĩa $I = \frac{dq}{dt}$, ta có:

$$I = -\omega C.U_m \sin \omega t = I_m \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \qquad (3.6.8)$$

trong đó:

$$I_m = \omega.C.U_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}$$

Đại lượng $X_c = \frac{1}{\omega C}$ gọi là điện trở kháng của tụ điện, hay còn gọi là dung trở của tụ điện. Nếu C đo bằng Fara (F), ω đo bằng $\frac{1}{s}$ thì X_c đo bằng Ohm.

Đối với dòng điện một chiều ($\omega = 0$) ta có $X_c = \infty$, như vậy dòng điện một chiều không thể chạy qua tụ điện. Dòng điện biến thiên ($\omega \neq 0$) có thể chạy qua tụ điện, dung trở của tụ càng lớn nếu tần số của dòng điện và điện dung của tụ điện càng nhỏ.

Thay $U_m = \frac{1}{\omega C} I_m$ vào biểu thức 3.6.7 ta thu được biểu thức của độ giảm điện thế trên tụ điện Uc:

$$U_c = \frac{1}{\omega C} I_m \cos \omega t$$

So sánh 3.6.8 và 3.6.10 ta nhận thấy độ giảm điện thế trên tụ điện chậm pha hơn dòng điện chạy qua nó $\frac{\pi}{2}$. Điều này được biểu thị rõ trên giản đồ vectơ (hình 3.6.8b)

3.2.5. Dòng điện xoay chiều trong mạch RLC

Bây giờ chúng ta khảo sát mạch điện chứa đồng thời cả 3 linh kiện: điện trở R, tụ điện C và cuộn dây L (hình 3.6.9a). Hai đầu của mạch nối vào một nguồn xoay chiều tần số ω (3.6.1). Hiển nhiên là trong mạch sẽ có một dòng điện xoay chiều mà biên độ và tần số của nó phụ thuộc vào các thông số của mạch: R, L, C. Dòng điện này gây nên trên điện trở thuần R một độ giảm điện thế U_R mà biên độ của nó bằng RI_m và pha trùng với pha của dòng điện (hình 3.6.6b). Vì thế trên giản đồ vectơ (hình 3.6.9b), U_R được biểu diễn một vectơ đặt trên trục dòng điện. Độ giảm điện thế trên cuộn cảm U_L (có biên độ ωLI_m) nhanh pha hơn dòng điện $\frac{\pi}{2}$ (hình 3.6.7b) nên vectơ U_L biểu diễn nó phải tạo với trục dòng điện một góc $\frac{\pi}{2}$ theo chiều ngược chiều quay kim đồng hồ, cuối cùng độ giảm điện thế trên tụ điện U_C (có biên

http://tieulun.hopto.org

độ $\frac{1}{\omega C} I_m$) chậm pha hơn dòng điện $\frac{\pi}{2}$ (hình 3.6.8b), do đó vectơ U_C biểu diễn nó phải tạo với trục dòng điện một góc $\frac{\pi}{2}$ theo chiều quay kim đồng hồ.

Độ giảm điện thế U ở hai đầu mạch bằng tổng các độ giảm điện thế U_R, U_L và U_C. Do đó nếu cộng các vectơ biểu diễn U_R, U_L và U_c ta sẽ thu được vectơ biểu diễn U (mà chiều dài của nó bằng U_m). Vectơ này tạo với trục dòng điện một góc φ. Trên hình 3.6.9 b ta thấy:

$$tg\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \qquad (3.6.11)$$

Góc φ cho biết độ lệch pha giữa độ giảm điện thế U và cường độ dòng điện I. Từ tam giác vuông có cạnh huyền U_m, ta suy ra:

$$U_m^2 = (RI_m)^2 + \left[(\omega L - \frac{1}{\omega C})I_m\right]^2$$

Do đó:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \qquad (3.6.12)$$

Như vậy, nếu điện thế giữa hai đầu của mạch thay đổi theo quy luật:

$$U = U_m \cos\omega t$$

thì cường độ dòng điện chạy trong mạch thay đổi theo quy luật

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

Trong đó φ và I_m được xác định theo công thức (3.6.11) và (3.6.12).

Đại lượng

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2} \qquad (3.6.13a)$$

được gọi là tổng trở của mạch:

Đại lượng: $$X = X_L - X_c = \omega L - \frac{1}{\omega C} \qquad (3.6.14)$$

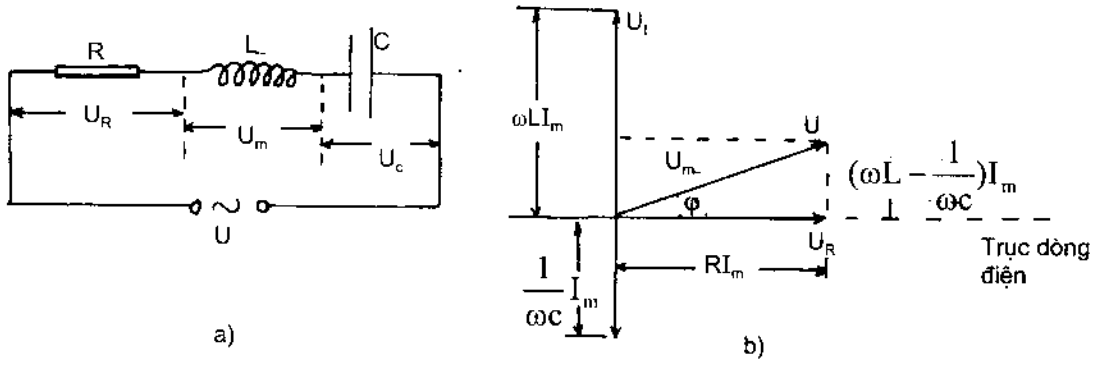
gọi là điện trở hoạt của mạch. Như vậy:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \qquad (3.6.13b)$$

http://tieulun.hopto.org

Dòng điện chậm pha ($\varphi > 0$) hay nhanh pha ($\varphi < 0$) so với hiệu điện thế tuỳ thuộc vào quan hệ giữa X_L và X_C. Khi $\omega L > \frac{1}{\omega C}$ dòng điện chậm pha hơn thế hiệu, khi $\omega L < \frac{1}{\omega C}$ dòng điện nhanh pha hơn thế hiệu. Nếu$\omega L = \frac{1}{\omega C}$ sự biến thiên của dòng điện và thế hiệu xảy ra cùng pha với nhau ($\varphi = 0$), trong trường hợp này ta bảo rằng trong mạch xảy ra cộng hưởng. Ta dễ dàng suy ra tần số góc gây cộng hưởng là:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$



Hình 3.6.9

4. Các thông số điện của cơ thể

Việc nghiên cứu các thông số điện của tế bào và mô nhằm hai mục đích chính. Thứ nhất là tìm hiểu một số đặc tính vật lý của vật chất sống. Thứ hai là nghiên cứu sự biến đổi của các thông số điện liên quan với trạng thái chức năng của hệ, vì trong những điều kiện nhất định của cơ thể các thông số này thường có giá trị tương đối cố định.

Thông số điện cơ bản của một đối tượng là độ dẫn điện L và điện trở R của nó. Giữa chúng có mối liên hệ đơn giản sau:

$$L = \frac{1}{R}$$

Thông thường R được xác định qua công thức:

$$R = \rho\frac{\ell}{S}$$

trong đó ρ là điện trở suất, ℓ là chiều dài của đối tượng và S là bề mặt tiết diện ngang của đối tượng.

http://tieulun.hopto.org

Việc xác định giá trị điện trở tuyệt đối của các hệ thống sống là một vấn đề hết sức khó khăn và phức tạp. Trước hết, các đối tượng này là một hệ thống không đồng nhất, đa pha. Thứ hai là trên bề mặt từng tế bào bao giờ cũng có một lớp chất lỏng với độ dẫn điện rất cao và bình thường không thể tách lớp vỏ đó ra được, vì nếu tách lớp vỏ đó tế bào sẽ bị chết. Khi xác định độ dẫn điện của mô hoặc cơ thể đa bào ta cũng gặp phải những khó khăn trên. Trong trường hợp này, dòng điện chủ yếu đi qua vùng gian bào có độ dẫn điện khá lớn, vì tại đó có nhiều loại ion vô cơ có nồng độ cao. Mặt khác khoảng gian bào không phải là một đại lượng cố định mà thay đổi tuỳ theo trạng thái của các tế bào, chẳng hạn như khi tế bào bị trương hoặc bị teo. Hơn nữa nồng độ các ion trong gian bào cũng thay đổi.

– Điện trở suất của tế bào và mô với dòng điện một chiều. Những số liệu thực nghiệm đều cho thấy là điện trở suất của tế bào động thực vật cũng như các mô đối với dòng một chiều có giá trị khoảng 10^6 - 10^7 Ωcm hoặc cao hơn. Đối với hồng cầu giá trị này vào khoảng 10^{12} Ωcm.

Khi cho dòng điện một chiều qua tế bào hoặc mô, người ta thấy có hiện tượng đặc biệt là cường độ dòng điện đi qua bị thay đổi. Ngay sau khi nối mạch, cường độ dòng điện bị giảm liên tục cho tới khi đạt được một giá trị nào đó, thấp hơn so với giá trị ban đầu. Hiện tượng này chỉ có thể giải thích được là, khi dòng điện một chiều chạy qua hệ thống sống, thì chính trong hệ đó xuất hiện một dòng điện ngược chiều và cường độ dòng điện này sẽ lớn dần cho tới khi đạt được một giá trị nhất định. Chính vì vậy, đối với các hệ sinh vật, định luật Ohm phải có dạng:

$$I = \frac{U - P}{R}$$

trong đó I là cường độ dòng điện, U là thế hiệu nguồn điện bên ngoài, P là thế hiệu xuất hiện trong hệ khi có dòng điện bên ngoài đi qua P = f(t), R là điện trở của hệ nghiên cứu.

Hiện tượng nêu trên cũng giống như hiện tượng thường gặp khi ta cho dòng điện một chiều chạy qua dung dịch điện phân. Từ hoá lý người ta biết rằng nguồn gốc của dòng điện ngược chiều trong dung dịch điện phân là hiện tượng phân cực.

Như vậy khả năng thay đổi cường độ dòng điện bên ngoài của hệ thống sống chứng tỏ hệ có khả năng phân cực. Từ đó ta thấy rằng lượng điện được tích luỹ trong hệ thống sống không thể chỉ do điện dung tĩnh mà còn do điện dung phân cực tham gia. Điện dung tĩnh có giá trị lớn và thường được xác định qua công thức điện dung của tụ điện phẳng:

$$C_0 = \frac{\varepsilon S}{4\pi d}$$

Trong đó ε là hằng số điện môi, S diện tích bề mặt hai bản tụ điện, d khoảng cách giữa hai bản tụ điện.

Độ lớn của điện dung phân cực có thể xác định được qua cường độ dòng điện ban đầu và cường độ dòng điện ở thời điểm t nào đó theo công thức:

http://tieulun.hopto.org

$$C_p = \frac{\int_0^t Idt}{R(I_0 - I_t)}$$

Trong đó I: cường độ dòng điện, I_0: cường độ dòng điện ban đầu, I_t: cường độ dòng điện ở thời điểm t, R điện trở của hệ.

Điện dung phân cực của các đối tượng sinh vật khác nhau thường có giá trị từ 0,1 $\mu F/cm^2$ tới 10 $\mu F/cm^2$ hoặc có thể lớn hơn. Giá trị cao nhất đo được là của các sợi dây cơ ở cua bể (40$\mu F/cm^2$). Ở đây thần kinh giá trị đo được là 8 – 10$\mu F/cm^2$.

Cần nhấn mạnh rằng tính chất đặc trưng của các tế bào sống không bị tổn thương là chúng có giá trị điện dung phân cực cao. Nếu hệ thống bị tổn thương hay bị chết thì điện dung phân cực có giá trị nhỏ hoặc hoàn toàn biến mất.

Do có hiện tượng phân cực, việc xác định điện trở của các đối tượng sinh vật gặp rất nhiều khó khăn. Mặt khác, các đối tượng sinh vật rất nhạy cảm đối với dòng điện một chiều. Ngay cả khi cho dòng điện một chiều không lớn chạy qua, trong tế bào đã xuất hiện những thay đổi đáng kể, nhất là trạng thái hoá lý của nguyên sinh chất, vì vậy ở tế bào bị tổn thương này, độ dẫn điện sẽ tăng lên so với thực tế.

Để xác định điện trở ở những hệ có hiện tượng phân cực, người ta thường sử dụng dòng điện xoay chiều.

– Điện trở của tế bào và mô đối với dòng điện xoay chiều: Khi nghiên cứu thực nghiệm tính chất điện của các hệ thống sống bằng điện xoay chiều người ta phát hiện thấy một số đặc điểm sau:

+ Điện trở của tế bào và mô đối với dòng điện xoay chiều thấp hơn so với dòng điện một chiều.

+ Điện trở không phụ thuộc vào cường độ dòng điện xoay chiều nếu cường độ của dòng điện đó dưới ngưỡng kích thích.

+ Ở một tần số nhất định nào đó của dòng điện xoay chiều, điện trở của tế bào và mô không thay đổi nếu trạng thái sinh lý tế bào không thay đổi. Khi tế bào bị tổn thương hoặc bị chết thì điện trở giảm xuống.

+ Ở trạng thái sinh lý bình thường, điện trở của tế bào và mô rất phụ thuộc vào tần số của dòng điện xoay chiều đi qua. Vì vậy để đánh giá trạng thái sinh lý của đối tượng nghiên cứu không thể chỉ xét qua đại lượng điện trở tuyệt đối. Trong trường hợp này có lẽ tiêu chuẩn thuận tiện và chính xác hơn là những số liệu về mức độ thay đổi điện trở của đối tượng ở các tần số khác nhau, có nghĩa là độ cong của đường phụ thuộc điện trở vào tần số. Song trong một số trường hợp việc xác định cả đường cong gặp khó khăn và mất thì giờ, vì vậy Taruxôv đã đề nghị đánh giá độ cong của đường phụ thuộc giữa điện trở và tần số qua tỷ số giữa điện trở đo được ở vùng âm tần và điện trở ở vùng cao tần. Trong trường hợp này hai số liệu đo điện ở hai tần số khác nhau được tiến hành ở cùng một điều kiện thí nghiệm và không xa nhau về thời gian cho nên tỉ số đó tương đối cố định khi mô hoặc tế bào ở trạng thái sinh lý bình thường.

http://tieulun.hopto.org

Qua các công trình nghiên cứu, tác giả đã chọn tần số 10^6 Hz và 10^4 Hz để đo điện trở trên các đối tượng sinh vật khác nhau, từ đó xác định hệ số k:

$$k = \frac{R_{10^4}}{R_{10^6}}$$

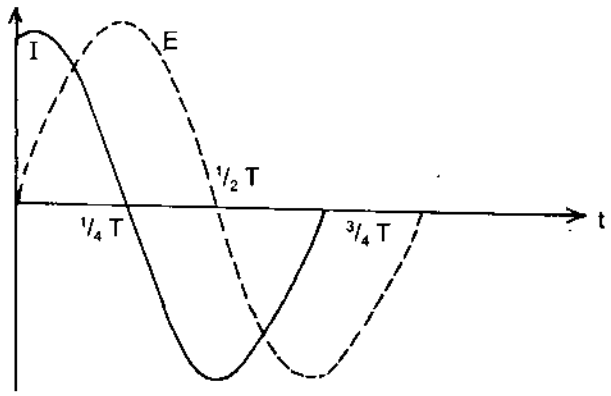
Ví sự thay đổi độ dẫn điện của tế bào và mô có nguồn gốc là khả năng phân cực của chúng nên k được gọi là hệ số phân cực.

Với các tế bào và mô bình thường hệ số phân cực k phụ thuộc vào vị trí của cơ thể trong bậc thang tiến hoá. Thí dụ hệ số phân cực k của gan động vật có vú vào khoảng 9 - 10, trong khi đó của gan các động vật máu lạnh (ếch) chỉ vào khoảng 2-3. Trong một cơ thể hệ số phân cực k phụ thuộc vào cường độ trao đổi chất của từng loại mô, tế bào: ở các cơ quan có cường độ trao đổi chất cao như gan, lách, hệ số k có giá trị lớn, còn ở các cơ quan có cường độ trao đổi chất thấp hơn như cơ thì hệ số k có giá trị nhỏ hơn.

– Tổng trở của tế bào và mô: Những quy luật khi dòng điện đi qua các đối tượng sinh vậy chủ yếu được giải thích trên cơ sở sự tồn tại trong hệ thống sống điện trở thuần và điện dung. Điện trở lớn của tế bào và mô đối với dòng điện một chiều, theo các nhà nghiên cứu, là do sự có mặt của thành phần điện dung, không cho dòng điện một chiều đi qua. Đối với dòng điện xoay chiều tất nhiên phải xét đến cả hai loại điện trở. Từ vật lý người ta biết rằng điện trở thuần hầu như không phụ thuộc vào tần số dòng điện đi qua, còn điện trở kháng sẽ giảm khi tần số dòng điện tăng lên. Điều đó sẽ dẫn tới hiện tượng giảm điện trở của toàn bộ hệ thống bao gồm điện dung và điện trở thuần. Như vậy có thể nói một cách chắc chắn rằng, hiện tượng thay đổi độ dẫn điện của tế bào mà mô là kết quả của sự giảm điện trở kháng của hệ khi tần số dòng điện đi qua tăng lên.

Sự có mặt của thành phần điện dung trong hệ thống sống còn được chứng minh qua tính chất quan trọng khác là sự lệch pha. Hiện tượng lệch pha không thể xảy ra được nếu dòng điện xoay chiều dạng sin đi qua hệ chỉ gồm điện trở thuần. Nếu trong hệ chỉ có điện trở thuần thì đường cong thay đổi cường độ dòng điện phải trùng với đường cong thay đổi điện thế có nghĩa là góc lệch pha bằng 0.

Khi dòng điện xoay chiều đi qua điện trở kháng thì cường độ dòng điện sẽ đạt giá trị cực đại khi giá trị của sức điện động xoay chiều bằng 0 (hình 3.6.10) Sự chênh lệch ở đây đạt giá trị 1/4 chu kỳ, có nghĩa là góc lệch pha bằng 90°. Song nếu trong hệ có cả điện trở thuần và điện dung thì góc lệch pha sẽ được xác định bởi tương quan giữa hai loại điện trở.



Hình 3.6.10

http://tieulun.hopto.org

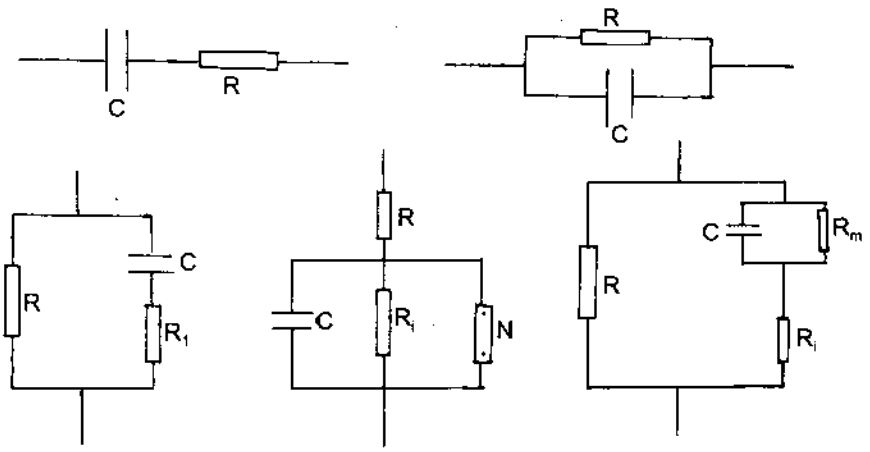
Ở các hệ sinh vật, người ta thấy đặc trưng bởi giá trị góc lệch pha rất lớn. Điều đó chứng tỏ rằng vai trò của điện dung trong các hệ này rất cao. Thí dụ ở tần số 10^3 Hz góc lệch pha của một số đối tượng thí nghiệm đo được như sau:

Thần kinh ếch	64°	Cơ thỏ	65°
Da ếch	55°	Da người	50°

Cần phải nói luôn là giá trị của góc lệch pha này rất cố định trong vùng tần số khá lớn. Điều này có thể giải thích như sau: các đối tượng sinh vật đều là hệ điện trở thuần và điện dung, song điện dung không phải là điện dung tĩnh mà là điện dung phân cực. Từ vật lý đại cương ta biết rằng nếu trong hệ có điện dung tĩnh thì khi tần số tăng độ dẫn điện cũng tăng và như vậy góc lệch pha cũng tăng. Còn đối với hệ có điện dung phân cực, tương quan cường độ dòng điện đi qua điện dung và điện trở thuần trong một khoảng tần số nào đó sẽ không thay đổi.

Như vậy điện trở của tế bào và mô là tổng trở (còn gọi là anhpêđăngxơ) của điện trở thuần và điện trở kháng của chúng.

Để đánh giá khả năng dẫn điện của tế bào và mô, người ta thường xây dựng những sơ đồ vật lý tương đương, nghĩa là mô hình hoá tính dẫn điện của hệ thống sống. Hình 3.6.11 vẽ sơ đồ vật lý tương đương do một số nhà nghiên cứu đề xuất.



Hình 3.6.11

6.5. Tác dụng của dòng điện một chiều lên cơ thể và ứng dụng điều trị

Người ta xem cơ thể người như vật dẫn điện chứa dung dịch các chất điện ly (NaCl, KCl ...).

– Khi cho dòng điện một chiều qua một dung dịch điện ly, ta thấy xuất hiện các hiện tượng hoá học xảy ra ở cực âm và cực dương, kết quả là tạo nên những chất mới tại các cực. Chẳng hạn với dung dịch NaCl, tại cực âm ta thấy xuất hiện Hydro và NaOH theo phản ứng như sau:

http://tieulun.hopto.org

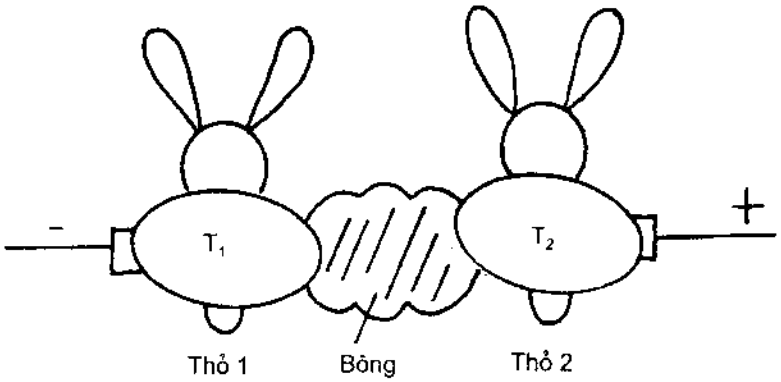
$$2Na^+ + 2e^- + 2H_2O \rightarrow H\uparrow_2 + 2\ NaOH$$

Người ta gọi đó là tác dụng điện hoá của dòng điện một chiều, được ứng dụng trong điện giải liệu pháp để điều trị bệnh. Trong phương pháp này người ta đặt các điện cực trực tiếp vào các vị trí cần điều trị. Bằng cách chọn những điện cực hoặc không phân cực khác nhau có thể tạo nên tại các điện cực các loại acid, bazơ hay những phức hợp hoá chất thích hợp để điều trị các bệnh tương ứng. Thí dụ nếu dùng các điện cực bạch kim (điện cực không phân cực) đặt vào các khối u nhỏ ngoài da có thể tiêu diệt các tế bào trong khối u đó.

– Khi cho dòng điện một chiều qua một dung dịch điện ly, các ion có trong dung dịch sẽ chuyển động theo hướng xác định tuỳ theo dấu của nó. Ion liệu pháp là phương pháp áp dụng tính chất này để dùng dòng điện một chiều đưa các ion thuốc cần thiết vào cơ thể.

Trong kỹ thuật này, trái với điện giải liệu pháp, cần phải tránh những hiện tượng điện hoá xảy ra ở các điện cực bằng cách dùng các điện cực bọc bông tẩm dung dịch dẫn điện. Ở đây cơ thể và các điện cực là một tập hợp môi trường dẫn điện của các ion; do đó tuỳ theo thành phần dung dịch tẩm ở điện cực và tuỳ theo dấu của các ion mà có thể đưa chúng vào cơ thể qua da.

Thí nghiệm Leduc (hình 3.6.12) đã chứng minh rằng ion thuốc có thể thấm qua da để vào cơ thể dưới tác dụng của dòng điện một chiều: cạo lông ở hông hai con thỏ và đặt bông và các điện cực như hình vẽ, nếu tẩm sulfat strychnin vào miếng bông ở giữa (ion strychnin mang điện dương) thì thỏ T_1 chết, nếu tẩm cyanua kali (ion cyanua mang điện âm) thì thỏ T_2 chết.



Hình 3.6.12

Nhiều thí nghiệm khác chứng tỏ sự thâm nhập của các ion vào cơ thể chủ yếu là qua các tuyến mồ hôi. Nhưng các ion sau khi thấm qua lớp biểu bì không vào sâu hơn được nữa vì một mặt các ion dùng để điều trị thường có kích thước tương đối lớn (thí dụ ion salicylat) do đó độ linh động nhỏ, mặt khác, quan trọng hơn, trong cơ thể có rất nhiều ion Cl^- và Na^+ có khả năng hoá hợp với các ion thuốc đưa vào và làm mờ nhạt vai trò điều trị của chúng. Vì vậy ion liệu pháp có tác dụng tại chỗ và nông (ngoài da).

http://tieulun.hopto.org

Tuy nhiên nhờ sự thâm nhập qua đường bạch huyết và đường mạch máu cũng có thể xảy ra tác dụng sâu. Điển hình là thí dụ đưa ion Ca^{++} vào trung ương thần kinh bằng cách tẩm dung dịch $CaCl_2$ 1% và hai điện cực dương đặt trên hai mắt, còn điện cực âm đặt ở gáy và cho dòng điện một chiều cường độ từ 1 đến 2mA chạy qua. Phương pháp này gọi là ion liệu pháp qua não tuỷ, thường dùng để điều trị liệt nửa người.

– Dòng điện một chiều khi truyền qua cơ thể gây nên những tác dụng sinh lý đặc biệt sau: làm giảm ngưỡng kích thích của sợi cơ vận động, giảm tính đáp ứng của thần kinh cảm giác do đó giảm đau, gây giãn mạch ở phần cơ thể giữa hai điện cực, tăng cường khả năng dinh dưỡng của vùng có dòng điện đi qua. Đó là cơ sở của Galvani liệu pháp, trong đó người ta đưa dòng điện một chiều cường độ tới hàng chục mA vào cơ thể và kéo dài nhiều phút.

6. Tác dụng của dòng điện xoay chiều (hạ tần, trung tần) lên cơ thể và ứng dụng điều trị

– Khác với dòng điện một chiều, dòng điện xoay chiều khi tăng khi giảm; làm co cơ và cơ mệt nhanh do đó tạo nên sự tập luyện và cơ lực được tăng cường. Tác dụng này thể hiện rõ rệt nhất ở dòng điện xoay chiều có xung ngắn và tần số từ 40 đến 180 Hz. Trong các bệnh thoái hoá thần kinh vận động, các cơ liên quan trở nên bất động. Sự phục hồi trong quá trình điều trị thần kinh thoái hoá đòi hỏi thời gian khá dài (nhiều tháng) khi đó các cơ dễ bị teo đi. Dòng điện hạ tần được ứng dụng để kích thích các cơ trong trường hợp kể trên để chống teo cơ. Ngoài ra khi các cơ bị co giật thì sự lưu thông máu cũng được tăng cường, do đó sự dinh dưỡng cơ cũng được hồi phục.

– Dòng điện trung tần có khả năng kích thích vận động yếu hơn dòng điện hạ tần, do đó phải dùng cường độ cao hơn. Điều thuận lợi là với những tần số vào khoảng 5000 Hz trở lên, tác dụng kích thích vận động trở nên tương đối rõ rệt hơn tác dụng kích thích cảm giác. Nói khác đi cơ bị co nhưng không có cảm giác đau.

– Người ta còn dùng các xung vuông có tần số và cường độ thích hợp để gây "choáng điện". Choáng điện là gây một cơn co giật nhân tạo bằng kích thích điện xuyên qua sọ. Đây là một phương pháp điều trị rất hiệu nghiệm đối với một số bệnh tinh thần có chu kỳ. Những xung vuông biên độ 150V, kéo dài 1-2 phần nghìn của giây có thể kích thích tim từ ngoài qua lồng ngực. Chúng được dùng để cấp cứu có kết quả tốt trong trường hợp tim ngừng đập ở thời kỳ tâm trương hoặc do rung tâm nhĩ. Trong trường hợp đau tim trường diễn ngày nay bệnh nhân có thể mang theo trên người một máy phát xung điện kích thích có kích thước nhỏ, chạy pin và các điện cực kích thích có thể bố trí ngay trên màng tim.

7. Tác dụng của dòng điện cao tần lên cơ thể và ứng dụng điều trị

Khi dòng điện cao tần tác dụng vào cơ thể ta thấy không có hiện tượng điện phân, và cơ, thần kinh không bị kích thích.

Khi truyền dòng điện cao tần vào cơ thể, ta không cần phải dùng dây dẫn trực tiếp.

http://tieulun.hopto.org

Năng lượng của dòng điện cao tần được biến thành nhiệt năng trong khu vực cơ thể có dòng điện đi qua, theo định luật Joule. Sự phân phối nhiệt trong cơ thể không đồng đều và phụ thuộc vào tần số dòng điện. Với sóng ngắn nhiệt giữ nhiều ở tổ chức mỡ và ít ở tổ chức cơ, theo tỉ lệ 9/1. Với sóng ngắn tỷ lệ này là 1/4 hoặc 1/3, tác dụng nhiệt sâu hơn nhưng chưa đến màng xương. Với sóng cực ngắn, tỉ lệ này là 1/1, trong trường hợp này cần đề phòng tác hại đến mắt.

Tác dụng nhiệt của dòng điện cao tần làm tăng cường lưu thông máu, dịu đau, tăng cường chuyển hoá vật chất, giảm ngưỡng kích thích vận động, thư giãn thần kinh, cơ.

– Dòng điện cao tần với bước sóng khoảng 200 m cung cấp một nhiệt năng cao thường được gọi là dòng điện nhiệt. Khi sử dụng điện cực có kích thước rộng đặt sát ngay trên da có thể đưa một cường độ dòng điện cao hàng ampe qua cơ thể. Dòng điện nhiệt thường được chỉ định để điều trị các bệnh viêm thần kinh.

– Những dòng điện cao tần với bước sóng ngắn hơn gọi là dòng sóng ngắn (bước sóng khoảng 10m) cũng có chỉ định giống như dòng điện nhiệt và hay được sử dụng hơn do cơ ưu điểm dễ đặt điện cực hơn; điện cực có thể đặt cách xa da nên nhiệt được toả ra đồng đều hơn và sâu hơn.

– Dòng sóng cực ngắn tạo ra một luồng bức xạ điện từ mà tính chất tiếp cận với bức xạ hồng ngoại, nghĩa là không vào sâu. Do đó được sử dụng để điều trị bệnh ngoài da hoặc đau các khớp nông.

– Đốt cắt bằng điện nhiệt là phương pháp tiêu diệt các tổ chức sống do tác dụng nhiệt của dòng điện cao tần. Nguyên lý của phương pháp này dựa trên sự mất cân đối về kích thước của các điện cực: Nếu ta đặt một điện cực rộng trên cơ thể còn điện cực kia thật nhỏ (như mũi kim, dao, quả cầu nhỏ...) khi dòng điện nhiệt chạy qua cơ thể, các đường sức điện tập trung cả vào điện cực nhỏ, sinh ra một nhiệt lượng lớn ở nơi tiếp xúc khiến có thể tiêu huỷ các tổ chức. Trong phẫu thuật dùng máy điện nhiệt có thể cắt đốt các tổ chức mà không chảy máu, không lên mủ và sẹo nhỏ trắng không dính.

8. Nguy hiểm do điện, đề phòng tai nạn do điện

8.1. Nguy hiểm do điện

Điện cũng giống như nhiều yếu tố vật lý khác, nếu tác dụng vào cơ thể con người với mức độ thích hợp, được theo dõi và điều chỉnh thận trọng sẽ dẫn đến những kết quả dương tính, phù hợp với mục đích và lợi ích của con người.

Tuy nhiên trong những trường hợp tai biến bất ngờ, điện tác dụng lên cơ thể quá nhiều mức độ mà cơ thể có thể chịu đựng được. Lúc đó điện trở thành một mối nguy hiểm cho sức khoẻ và tính mạng con người.

Một trong những nguy hiểm chính của điện là tác dụng nhiệt của dòng điện. Ta biết rằng toàn cơ thể và mỗi đoạn cơ thể đều có một tổng trở với dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều. Vì vậy khi dòng điện chạy qua cơ thể, nhiệt lượng toả ra trong từng đoạn cơ thể phụ thuộc vào cường độ dòng điện và tổng trở của đoạn cơ thể đó. Chính vì vậy tình trạng bỏng có thể xuất hiện trong đoạn cơ thể này mà không xuất hiện ở đoạn cơ thể khác. Mức độ bỏng còn phụ thuộc vào độ ẩm của

http://tieulun.hopto.org

da, và chính đại lượng này ảnh hưởng đến tổng trở của da. Người ta thấy rằng với dòng điện cường độ hơi cao (khoảng 0,1A đối với mỗi cm^2 của da) da sẽ bắt đầu đỏ sau vài phút. Vết đỏ này không kèm theo tổn thương thực thể nào và sẽ biến đi khá nhanh. Trái lại, với những cường độ dòng điện rất cao, da sẽ bị bỏng nặng, lúc đó trên da xuất hiện những vết phỏng rộp, lớp ngoại bì có thể bị bong ra.

Mối nguy hiểm chính thứ hai của điện là tác dụng kích thích cơ và thần kinh. Đối với dòng điện một chiều, tác dụng này chỉ xảy ra khi đóng, ngắt một mạch điện cường độ cao. Trong các tai nạn do điện một chiều và cường độ dòng điện tới hàng chục ampe, người bị điện giật có một cảm giác đau đớn đột ngột, có thể bị choáng thậm chí có thể ngất đi mặc dầu não chưa trực tiếp bị kích thích. Đối với dòng điện xoay chiều, tác dụng kích thích cơ và thần kinh xảy ra một cách liên tục, kéo dài trong suốt thời gian dòng điện truyền qua nếu dòng điện xoay chiều đó có tần số thấp. Cần chú ý rằng dòng điện xoay chiều hình sin hạ tần 50 Hz được sử dụng rộng rãi trong sinh hoạt và các ngành kinh tế (công nghiệp, nông nghiệp, xây dựng...) lại có tác dụng kích thích rất mạnh đối với cơ và thần kinh. Với dòng điện này các cơ bị kích thích liên tục và nếu cường độ dòng điện đủ cao, ý thức của người bị nạn không còn khả năng điều khiển được các cơ nữa. Vì vậy khi xảy ra tai nạn vì điện xoay chiều ta thấy một hiện tượng đặc biệt: nếu tay tiếp xúc với vật dẫn điện xoay chiều (thường có trong đa số trường hợp) các cơ khép bao giờ cũng co mạnh hơn các cơ duỗi, vì vậy người bị nạn thường bị giữ chặt vào vật dẫn điện, tự ý mình không thể rút tay ra được, mặc dù lúc đầu vẫn sáng suốt, biết mình đang bị nạn.

Những tai nạn chết người vì điện đa số thường xảy ra đột ngột, người bị nạn ngã xuống không kịp kêu. Chậm lắm là sau vài giây, ít khi tới vài phút, người bị nạn sẽ chết.

Nguyên nhân tử vong có thể do bị ngừng thở. Điều này xảy ra do 2 nguyên nhân khác nhau: có thể do các cơ hô hấp bị co cứng, hoặc có thể do nguyên nhân thần kinh. Trong trường hợp thứ nhất điện tác dụng thẳng tới lồng ngực; trong trường hợp thứ hai thần kinh hô hấp có thể bị kích thích tại một đoạn nào đó. Trong đa số trường hợp chết vì điện giật, người ta thấy xuất hiện một sự tăng áp lực không khí đột ngột trong đường hô hấp, có thể dẫn đến làm vỡ các phế nang. Ngoài ra còn thấy xung huyết dày đặc ở phổi và có khi phù phổi nữa. Các bộ phận khác cũng ít nhiều bị xung huyết. Như vậy, chết do điện giật về phương diện hô hấp là ngạt thở, cho nên trong trường hợp này có thể kiên trì hồi sinh người bị nạn như trong trường hợp mới bị chết đuối.

Một nguyên nhân thứ hai dẫn đến chết vì điện giật có thể là do tim ngừng đập đột ngột trong thời kỳ tâm trương. Trong trường hợp này không có sự xung huyết của các nội tạng, mổ tử thi sau khi chết cũng không phát hiện dấu vết cụ thể gì để giải thích cơ chế của tai nạn.

8.2. Để phòng tai nạn do điện

Ngày nay ở nước ta các máy móc, thiết bị sử dụng điện đã rất phổ biến trong sinh hoạt cũng như trong các ngành kinh tế, khoa học, kỹ thuật. Vì vậy việc nắm vững những nguyên tắc để phòng tai nạn do điện là rất cần thiết đối với mọi người.

Đa số các tai nạn xảy ra do sự tiếp xúc của nạn nhân với hai cực của nguồn điện: Chân với một cực và tay với cực kia. Thông thường một cực của nguồn điện

http://tieulun.hopto.org

được nối đất (dây nguội). Chân không đi guốc, dép; bàn tay không đeo găng chạm phải đất, tức là đã tiếp xúc với một cực của nguồn điện. Cực thứ hai có thể nối vào cơ thể do tay hay bất kỳ một bộ phận nào của cơ thể vô ý chạm phải nó.

Vì vậy các nguyên tắc chính để phòng và giảm bớt mức độ nguy hiểm của tại nạn do điện là:

– Giảm bớt điện áp: trong điều kiện thích hợp có thể chọn điện áp nhỏ nhất nếu chỗ làm việc ẩm ướt hoặc chật chội, dễ chạm phải các dây dẫn điện.

– Tăng điện trở của mạch điện cực 1 - cơ thể - điện cực 2.

+ Tăng điện trở của đất: Cần chú ý rằng nền đất ẩm dễ dẫn điện vì điện trở của nó nhỏ, nền xi măng cũng dẫn điện không kém đất, sàn gỗ khô tương đối ít dẫn điện hơn. Trong trường hợp đặc biệt cần đặt máy lên chân bằng sứ, giữa máy và chân sứ có đệm tấm cách điện bằng bakêlít

+ Tăng điện trở của giầy, dép: Cần chú ý rằng giầy dép bằng da cũng dẫn điện, nhất là khi da ẩm ướt, hoặc giầy dép có đóng nhiều đinh kim loại. Vì vậy, để tăng điện trở của giầy, dép cần giữ khô và không đóng đinh kim loại vào đế. Giầy hoặc dép cao su là tốt hơn về mặt an toàn điện.

+ Tăng điện trở của bàn tay: Tay ướt dẫn điện tốt, tay khô vẫn dẫn điện nhưng kém hơn. Muốn tăng điện trở của bàn tay cần đi găng cao su nhưng không được dùng găng quá mỏng, dễ rách. Găng cao su quá dầy lại làm giảm chính xác khi thao tác. Vì vậy tốt nhất là dùng các dụng cụ chuyên môn như kìm, cái vặn ốc ... có cách điện tốt và thường xuyên kiểm tra kỹ chất lượng cách điện.

Thực hiện nối đất tốt cho các bộ phận kim loại của thiết bị điện. Khi điện từ bộ phận bên trong của máy truyền vào vỏ kim loại của máy, nếu vỏ này không nối đất, khi một bộ phận của cơ thể tiếp xúc với vỏ máy có thể dẫn đến tai nạn. Vì vậy cần phải nối vỏ kim loại của máy với đất để khi có rò điện ra vỏ này, cầu chì bảo vệ sẽ đứt, hoặc bộ phận cắt điện tự động sẽ ngắt điện vào máy. Cụ thể là các vỏ, các động cơ điện, máy tiện điện, máy khoan điện, máy X quang, máy điện liệu pháp, máy ghi điện tim, máy ghi điện não, ... phải nối đất. Sự nối đất thường thực hiện bằng cách nối chặt chẽ vỏ máy với đầu một dây dẫn điện rồi hàn đầu còn lại vào một cọc sắt rồi chôn cọc sắt này sâu xuống đất ẩm. Cần thường xuyên kiểm tra chất lượng việc nối đất.

Thực hiện các biện pháp cách ly các chỗ nguy hiểm của mạch điện bằng các vật cách điện hoặc bằng lưới kim loại có nối đất. Nếu cần, đặt các bộ phận bảo vệ đặc biệt, tự động ngắt điện khi khu vực bảo vệ xâm phạm.

Tăng cường giáo dục rộng rãi ý thức đề phòng tai nạn do điện bằng các hình thức văn hoá quần chúng, thông tin tuyên truyền. Chú ý đặt các bảng tín hiệu sự nguy hiểm tại các nơi trọng yếu và đặt kế hoạch kiểm tra, đôn đốc cán bộ, công nhân viên thực hiện tốt các biện pháp để phòng tai nạn do điện.

http://tieulun.hopto.org

CHƯƠNG 4

CÁC HIỆN TƯỢNG ÂM Ở CƠ THỂ SỐNG

Nguyễn Văn Thiện,
Phan Sỹ An,
Nguyễn Hữu Trí

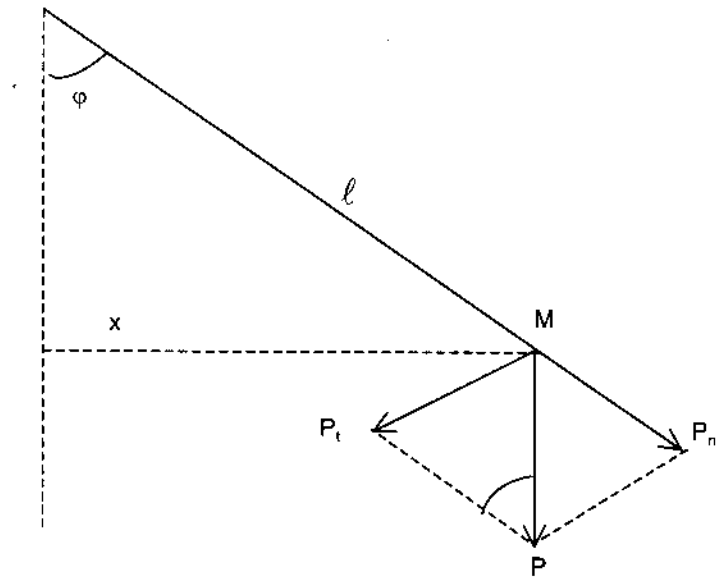
I. DAO ĐỘNG CƠ HỌC

Chuyển động lặp lại sau một khoảng thời gian xác định gọi là chuyển động tuần hoàn. Chẳng hạn như vật quanh trục, võng đu đưa ... Chuyển động tuần hoàn mà vật lệch khỏi vị trí cân bằng về phía này rồi phía kia gọi là chuyển động dao động. Chuyển động dao động rất phổ biến trong tự nhiên, ta xét dạng đơn giản là dao động cơ học của chất điểm.

1. Các loại dao động cơ học

1.1. Dao động điều hoà

1.1.1. Khái niệm: Xét sự chuyển động của con lắc toán học, đó là một vật khối lượng M (coi là chất điểm) buộc vào một sợi dây không co giãn dài ℓ có khối lượng không đáng kể. Đầu kia của sợi dây buộc vào một điểm cố định (hình 4.1)



Hình 4.1

http://tieulun.hopto.org

Khi con lắc ở vị trí thẳng đứng, trọng lượng P của vật sẽ cân bằng với sức căng của dây, kéo con lắc cho lệch khỏi vị trí cân bằng một góc bé. Trọng lực P bây giờ được phân tích thành P_n cân bằng sức căng của dây, P_t xu hướng muốn kéo con lắc về vị trí cân bằng. Trong tam giác vuông MP_tP có:

$$P_t = - P\sin\varphi$$

Nếu góc φ nhỏ hơn thì $\sin\varphi \approx \varphi$, nhưng $\sin\varphi = \frac{x}{\ell}$

Nên $$P_t = -\frac{x}{\ell}P \qquad (4.1)$$

Ta thấy ngay lực kéo P_t tỉ lệ với độ dịch chuyển, luôn có xu hướng kéo con lắc trở về vị trí cân bằng, đó là một dạng dao động điều hoà.

1.1.2. Định nghĩa: Dao động điều hoà là dao động sinh ra dưới tác dụng của lực tỷ lệ với độ dịch chuyển và hướng về vị trí cân bằng.

Một trong những dấu hiệu cơ bản của dao động điều hoà là sự thay đổi của độ dịch chuyển phụ thuộc thời gian theo hàm số sin hay cosin.

1.1.3. Phương trình dao động: Giả sử có chất điểm khối lượng m, chịu tác dụng của lực tỉ lệ độ dịch chuyển và luôn hướng về vị trí cân bằng.

$$f = -k.x$$

Lực này gây cho chất điểm gia tốc a, theo định luật Newton 2:

$$ma = f = - kx$$

vì $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ nên ta có:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 \qquad (4.2)$$

Hoặc là:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

Nếu đặt:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{thì có}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0 \qquad (4.2')$$

Giải phương trình vi phân hạng hai này sẽ thu được:

http://tieulun.hopto.org

$$x = A \cos(\omega t + \alpha) \qquad (4.3)$$

trong đó A và α là những hằng số tuỳ thuộc điều kiện ban đầu. Ta có thể nghiệm lại để thấy biểu thức (4.3) đúng là nghiệm của phương trình (4.2') bằng cách lấy đạo hàm hạng 2 và thay vào phương trình, thấy 2 vế bằng nhau.

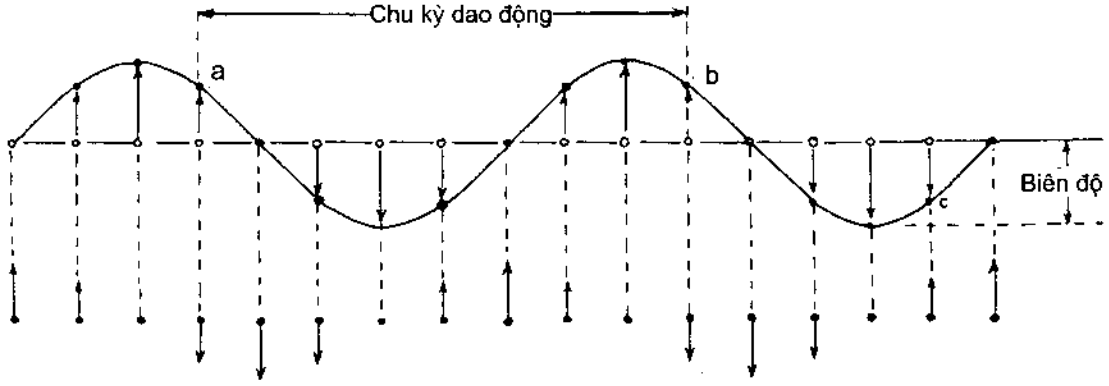
Trong biểu thức (4.3), x gọi là ly độ dao động hay độ dịch chuyển, A gọi là biên độ dao động, $(\omega t + \alpha)$ gọi là pha dao động trong đó ω là tần số góc, α là pha ban đầu (vì khi t = 0 thì pha là α). Đồ thị dao động điều hoà ở hình 4.2.

1.1.4. Chu kỳ và tần số: Vì hàm số cosin tuần hoàn chu kỳ 2π nên

$$x = A\cos(\omega t + \alpha) = A\cos((\omega t + \alpha + 2\pi)$$

$$= A\cos\left[\omega\left(t + \frac{2\pi}{\omega}\right) + \alpha\right] \qquad (4.3')$$

Biểu thức này cho ta thấy sau một khoảng thời gian là $\frac{2\pi}{\omega}$ thì chất điểm trở lại vị trí ban đầu, hay nói khác đi sau $\frac{2\pi}{\omega}$ chất điểm thực hiện một dao động toàn phần.



Hình 4.2

Lượng $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (4.4)

gọi là chu kỳ dao động, đó là thời gian cần thiết để chất điểm thực hiện một dao động toàn phần.

Từ đấy ta thấy $\frac{1}{T}$ là số dao động thực hiện trong một đơn vị thời gian gọi là tần số υ.

$$\upsilon = \frac{1}{T} \qquad (4.5)$$

Đơn vị đo lường hợp pháp của tần số là 1 Hertz (Hz), đó là 1 dao động toàn phần trong một giây. Máy có tần số bằng 50 Hz có nghĩa là trong 1 giây máy thực hiện 50 dao động.

http://tieulun.hopto.org

Do $T = \frac{2\pi}{\omega}$ nên $\omega = 2\pi.\frac{1}{T} = 2\pi\upsilon$

(tần số góc bằng tần số quay nhân với 2 π)

1.1.5. Vận tốc và gia tốc của dao động điều hoà

Từ $x = A\cos(\omega t + \alpha) \rightarrow v = \frac{dx}{dt} = -A\omega\sin(\omega t + \alpha)$

Ta thấy: $a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \alpha) = -\omega^2.x = \frac{-4\pi^2}{T^2}x$ (4.6)

Biểu thức (4.6) này cho ta thấy trong dao động điều hoà gia tốc luôn luôn ngược chiều chuyển động (hay lực hướng về vị trí cân bằng). Ta cũng cần chú ý rằng dao động điều hoà có biên độ A không đổi, do đó năng lượng của chất điểm dao động không thay đổi.

Thật vậy: ở vị trí cân bằng, tốc độ v của chất điểm đạt cực đại, năng lượng dao động hoàn toàn ở dạng động năng. Khi ấy:

$$v = -A\omega$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(-A\omega)^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$$

$$E = 2\pi^2mA^2\upsilon^2$$

Công thức này cho ta thấy năng lượng của dao động điều hoà tỉ lệ bình phương biên độ, bình phương tần số và khối lượng của chất điểm dao động.

1.2. Dao động tắt dần

Trong thực tế, dao động tự do của một vật nào đó không duy trì mãi được. Chẳng hạn như con lắc sau một thời gian dao động sẽ đứng lại. Nguyên nhân của sự tắt dần dao động ấy là ma sát của con lắc với không khí: xuất hiện lực cản của môi trường ngược chiều chuyển động.

Nếu như vật dao động có tốc độ nhỏ, ta thấy lực cản này tỉ lệ tốc độ:

$$F_c = -r\frac{dx}{dt} \qquad (4.7)$$

r là hệ số cản, dấu trừ chứng tỏ lực cản ngược chiều tốc độ.

Theo định luật Newton 2 ta có phương trình dao động tắt dần bằng cách thêm lực cản vào vế phải phương trình dao động điều hoà (4.2).

http://tieulun.hopto.org

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -r\frac{dx}{dt} - kx$$

Hay là

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + r\frac{dx}{dt} + kx = 0$$

Giải phương trình vi phân hạng 2 này có:

$$x = Ae^{-\beta t}.\cos(\omega^* t + \alpha) \qquad (4.9)$$

trong đó A và α là 2 hằng số tuỳ thuộc điều kiện ban đầu, còn:

$$\beta = \frac{r}{2m} \qquad (4.10)$$

gọi là hệ số tắt dần.

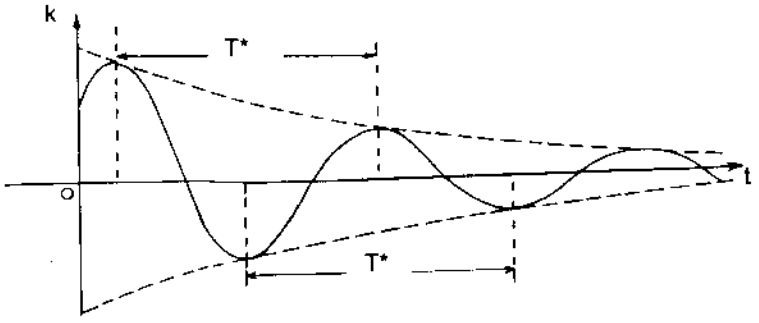
$$\omega^* = \sqrt{\frac{k}{m} - \beta^2} = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}} \qquad (4.11)$$

Nghiệm (4.9) có bộ phận $e^{-\beta t}$ đặc trưng cho sự tắt dần, bộ phận $\cos(\omega^* t + \alpha)$ đặc trưng cho sự dao động.

Đồ thị của dao động tắt dần theo nghiệm (4.9) vẽ ở hình số 4.3.

Ta có chu kỳ dao động tắt dần là:

$$T^* = \frac{2\pi}{\omega^*} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{r^2}{4m^2}}} > \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = \frac{2\pi}{\omega} = T$$



Hình 4.3

Ở đây thấy ngay chu kỳ dao động tắt dần lớn hơn chu kỳ dao động điều hoà. Lớn hơn như vậy vì môi trường đã cản chuyển động của dao động (làm thời gian thực hiện một dao động dài thêm).

http://tieulun.hopto.org

Để thấy rõ ràng hơn mức độ tắt dần, người ta đưa vào đại lượng đêcrêmăng (décrément) lôgarit tắt dần, bằng lôgarit cơ số e của tỉ số 2 biên độ dao động cách nhau 1 chu kỳ, ký hiệu bằng Δ.

$$\Delta = \ell n \frac{Ae^{-\beta t}}{Ae^{-\beta(t+T)}} = \ell n e^{\beta T} = \beta T$$

1.3. Dao động cưỡng bức

Ta thấy quá trình dao động tự do tắt dần do lực cản của môi trường (biên độ giảm theo thời gian). Muốn dao động được duy trì, phải tác dụng vào vật dao động một ngoại lực; lực này dùng để chống lại lực cản của môi trường.

Tần số dao động khi ấy phụ thuộc không những vào tính chất của hệ dao động mà còn phụ thuộc vào tần số của ngoại lực.

Giả sử ngoại lực này tuần hoàn:

$$F_{ng.lực} = H \cos (p.t) \qquad (4.12)$$

trong đó H là biên độ ngoại lực, p là tần số ngoại lực.

Vật bây giờ dao động dưới tác dụng 3 lực:

- Lực tuần hoàn gây dao động tự do: F = -kx
- Lực ma sát cản dao động: $F_c = -r\frac{dx}{dt}$
- Lực tuần hoàn bên ngoài tác động lên vật:

$$F_{ng.lực} = H\cos (p.t) \qquad (4.12)$$

Như thế phương trình dao động có dạng:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r\frac{dx}{dt} + H\cos(pt) \qquad (4.13)$$

Giải phương trình vi phân này có:

$$X = B\cos (p.t + \gamma) \qquad (4.14)$$

trong đó:

$$B = \frac{H/m}{\sqrt{(\omega_0^2 - p^2)^2 + 4\beta^2.p^2}} \qquad (4.16)$$

$$tg\gamma = \frac{2p\beta}{p^2 - \omega_0^2} \qquad (4.17)$$

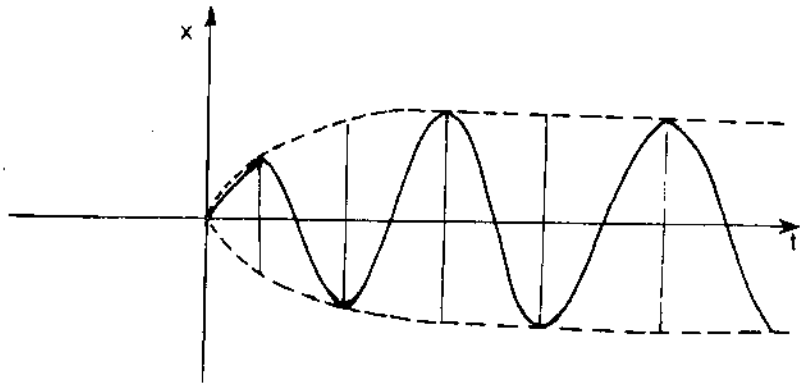
http://tieulun.hopto.org

với $$\frac{k}{m} = \omega_0^2; \frac{r}{2m} = \beta$$

Biểu thức (4.14) và (4.15) cho ta thấy:

– Biên độ B của dao động cưỡng bức phụ thuộc vào tần số của ngoại lực p, vào tần số dao động tự do ω_0, vào biên độ ngoại lực H, vào sự cản của môi trường β.

– Tần số của dao động cưỡng bức phụ thuộc chắc chắn vào tần số ngoại lực p. Vẽ đồ thị của dao động cưỡng bức ta có hình (4.4) là một dạng điển hình.



Hình 4.4

2. Hiện tượng cộng hưởng

Người ta gọi hiện tượng cộng hưởng là trường hợp riêng của dao động cưỡng bức khi biên độ tăng lên tới giá trị cực đại ứng với giá trị thích hợp của tần số góc ngoại lực.

Xét biểu thức (4.15) cho biên độ dao động cưỡng bức ta thấy ngay để B cực đại chỉ cần mẫu số cực tiểu (khi tần số góc p thay đổi).

Bằng cách đạo hàm ta thu được khi

$$p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2} \qquad (4.18)$$

thì B đạt giá trị cực đại là:

$$B = \frac{H}{2m\beta\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} \qquad (4.19)$$

Đó là tần số để gây cộng hưởng và giá trị biên độ khi cộng hưởng.

Trường hợp lực cản của môi trường không đáng kể, tức là có:

http://tieulun.hopto.org

$$\beta = \frac{r}{2m} = 0$$

thì $p = \omega_0$ và khi ấy B tính theo (4.19) sẽ tăng đến vô cùng.

Do hiện tượng cộng hưởng, các mạch dao động có khi gây nên những rung động lớn của sàn nhà, truyền tới cơ thể bệnh nhân và có thể gây những bệnh chấn động. Quạt trần do cộng hưởng có thể gây sụt trần nhà. Do đó để đảm bảo an toàn lao động cần phải có biện pháp tránh hiện tượng cộng hưởng và giảm các rung động. Nhưng mặt khác hiện tượng cộng hưởng cũng giúp chúng ta giải quyết nhiều vấn đề khó khăn trong kỹ thuật.

Trong phạm vi y học, khi nghiên cứu dao động âm, dựa vào hiện tượng cộng hưởng chúng ta có thể tìm được các thành phần của âm một cách đơn giản; và giải thích được sự thay đổi về độ to của âm phát ra từ cơ thể.

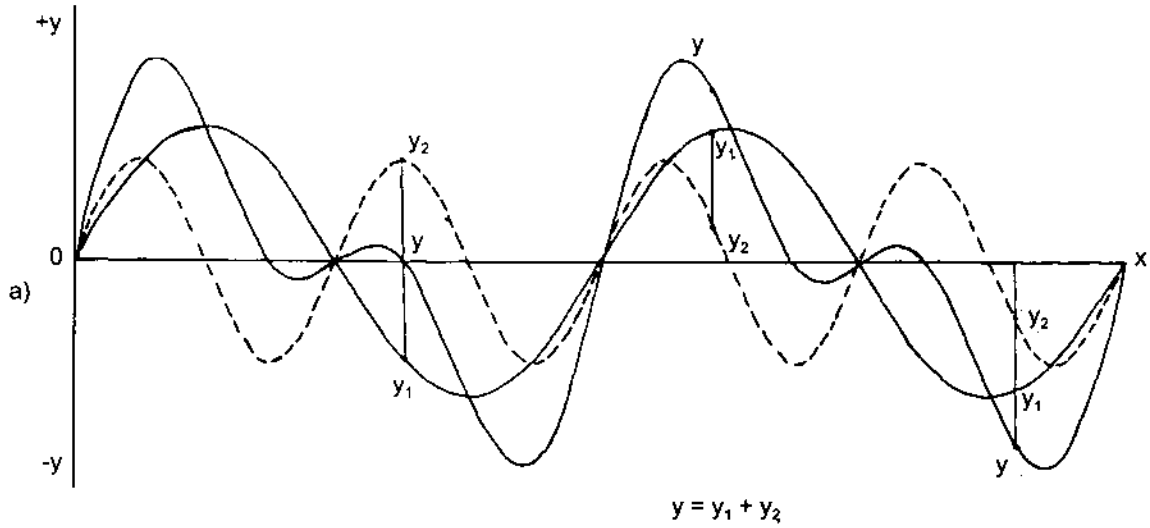
3. Tổng hợp và phân tích dao động

Giả sử có chất điểm A đồng thời tham gia hai dao động là y_1 và y_2. Như thế chất điểm A sẽ dao động ở trạng thái y mà:

$$y = y_1 + y_2 \qquad (4.20)$$

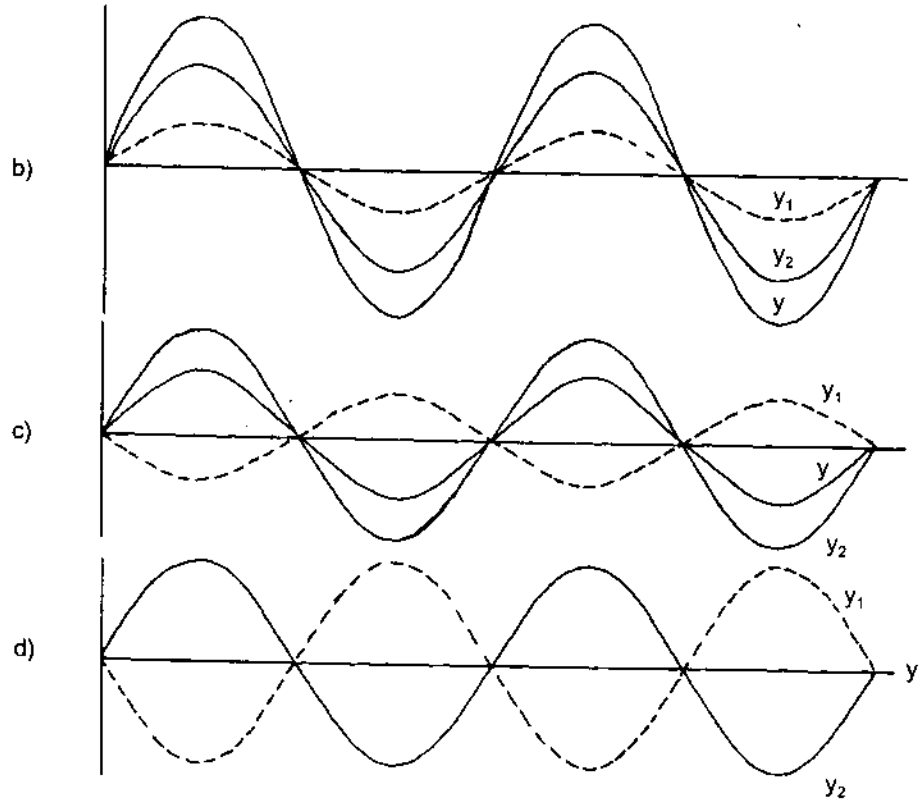
Dao động y gọi là dao động tổng hợp. Hình 4.5a cho ta đồ thị tổng hợp 2 dao động điều hoà khác tần số (khác chu kỳ), đó là dao động phức tạp.

Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng tần số cho ta một dao động điều hoà cũng có tần số đó. Trường hợp đặc biệt:



Hình 4.5

http://tieuluan.hopto.org



Hình 4.5

$$y_1 = a_1 \sin(\omega t + \alpha_1) \text{ và } y_2 = a_2 \sin(\omega t + \alpha_2)$$

– Nếu như $\alpha_1 = \alpha_2 + 2k\pi$ thì $\sin(\omega t + \alpha_1) = \sin(\omega t + \alpha_2)$ ta bảo 2 dao động cùng pha và có kết quả là dao động làm mạnh nhau lên (hình 4.5b)

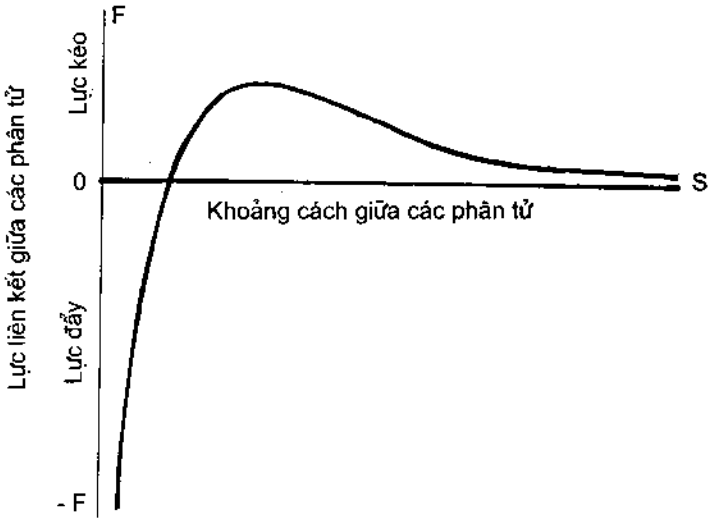
– Nếu như $\alpha_1 = \alpha_2 + (2k + 1)\pi$ thì $\sin(\omega t + \alpha_1) = -\sin(\omega t + \alpha_2)$ ta bảo 2 dao động ngược pha và kết quả là hai dao động làm yếu nhau đi (hình 4.5c) hoặc triệt tiêu hoàn toàn (hình 4.5d)

Ngược lại, một chất điểm dao động ở trạng thái y ta có thể phân tích thành hiện tượng chất điểm đồng thời tham gia 2 dao động y_1 và y_2 sao cho:

$$y_1 + y_2 = y \qquad (4.20')$$

Lý thuyết toán học cũng như thực nghiệm vật lý chứng minh cho ta biết: Bất kỳ một dao động phức tạp nào cũng có thể phân tích thành tổng của các dao động điều hoà, đặc biệt là có thể phân tích thành tổng của các dao động điều hoà mà tần số của chúng là bội số nguyên của một tần số cơ bản.

http://tieulun.hopto.org



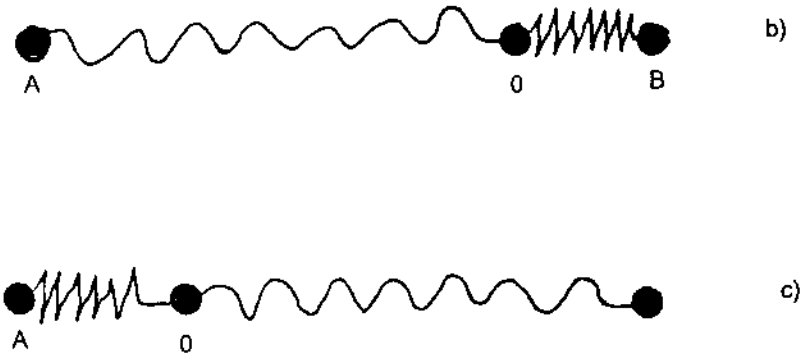
Hình 4.6

II. SÓNG CƠ HỌC TRONG MÔI TRƯỜNG ĐÀN HỒI

1. Môi trường đàn hồi

Môi trường đàn hồi là môi trường được cấu tạo bởi các phần tử (phân tử, nguyên tử) mà giữa chúng có lực liên kết. Trên hình 4.6 ta có đồ thị một dạng lực liên kết, ở đó lực liên kết phụ thuộc vào khoảng cách r giữa hai phần tử của môi trường. Khi $r < r_o$ lực liên kết là lực đẩy, đẩy chúng ra xa nhau; khi $r > r_o$ lực liên kết là lực hút kéo chúng lại gần nhau.

Giả sử do một lý do nào đấy, một phần tử O của môi trường đàn hồi bị lệch khỏi vị trí cân bằng thông thường của nó (hình 4.7b), phần tử A sẽ tác dụng lên O một lực kéo, còn phần tử B tác dụng lên lực O một lực đẩy, O sẽ dịch chuyển về phía bên trái; lúc tới trạng thái (c) thì A lại tác dụng lên O một lực đẩy, B tác dụng một lực kéo... Kết quả, phần tử O sẽ thực hiện một dao động động nào đấy. Do đặc điểm của môi trường đàn hồi, dao động này sẽ lan truyền trong môi trường tạo thành sóng cơ học. O được gọi là nguồn phát sóng.



Hình 4.7

http://tieulun.hopto.org

Thí dụ ta ném một hòn đá xuống mặt nước, miền nước dưới hòn đá chạm vào sẽ bắt đầu dao động; dao động này sẽ được truyền từ miền này đến các miền lân cận và chúng ta nhận được sóng trên mặt nước.

Ta cũng cần chú ý rằng khi truyền dao động, tức là sóng truyền đi, các phần tử của môi trường đàn hồi chỉ dao động quanh vị trí cân bằng mà không dịch chuyển theo sóng lan đến vùng khác; đồng thời với quá trình sóng truyền đi là năng lượng được truyền tới các phần tử môi trường mà sóng tới; phần tử này sẽ có trạng thái dao động y hệt như nguồn lúc ban đầu.

2. Sóng ngang và sóng dọc

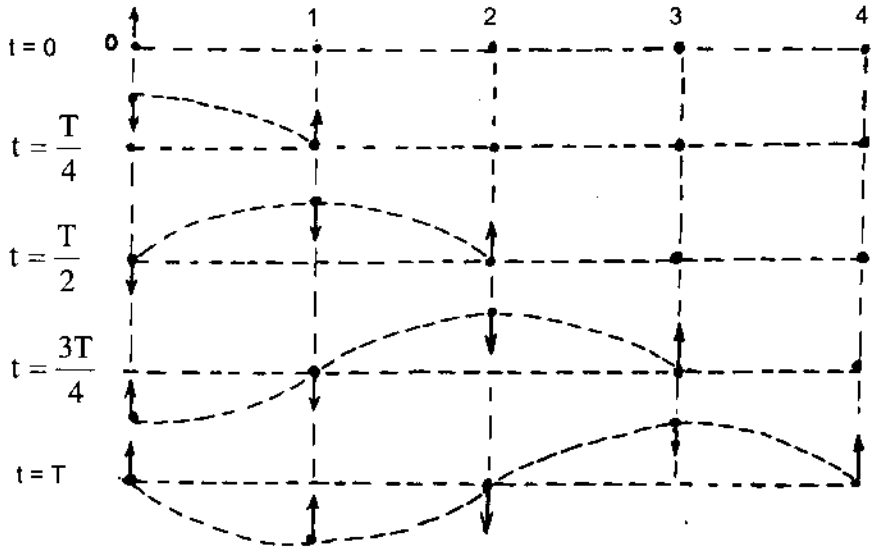
Trong chuyển động sóng, nếu các phần tử của môi trường dao động vuông góc với phương truyền sóng (truyền dao động) thì sóng được gọi là sóng ngang; nếu các phần tử của môi trường dao động song song phương truyền sóng thì sóng được gọi là sóng dọc.

2.1. Sóng ngang

Sự truyền sóng ngang trong môi trường đàn hồi được xét ở dạng mô hình 5 phần tử như hình 4.8:

– Tại thời điểm t = 0, các điểm ở vị trí cân bằng của nó, phần tử O có tốc độ chuyển động hướng lên (dòng 1)

– Tại thời điểm t = $\frac{T}{4}$($\frac{1}{4}$ chu kỳ) 0 sẽ ở vị trí cực đại phía trên. Do liên kết, 0 bị kéo quay xuống trở lại, còn phần tử 1 được kéo xuống kéo đi lên (dòng 2).



Hình 4.8

http://tieulun.hopto.org

– Tại thời điểm $t = \frac{T}{2}$, 0 quay về vị trí cân bằng và tiếp tục đi xuống dưới, 1 ở vị trí cực đại trên, 2 bắt đầu được kéo đi lên trên (dòng 3).

– Tại thời điểm $t = \frac{3T}{4}$, 0 ở cực đại dưới và bắt đầu quay về, 1 ở cân bằng và đang đi xuống, 2 ở cực đại trên và đang đi về, 3 bắt đầu đi lên.

– Tại thời điểm t = T, 0 về cân bằng, bắt đầu lại đầu kỳ thứ 2; 1 cực đại dưới và đi lên, 2 cân bằng và đi xuống, 3 cực đại trên và đi xuống, 4 bắt đầu đi lên.

Rõ ràng ta thấy ở đây do tồn tại lực đàn hồi mà dao động của phần tử 0 đã được truyền đi. Dao động (sóng) truyền tới phần tử nào thì phần tử ấy có trạng thái như nguồn lúc ban đầu.

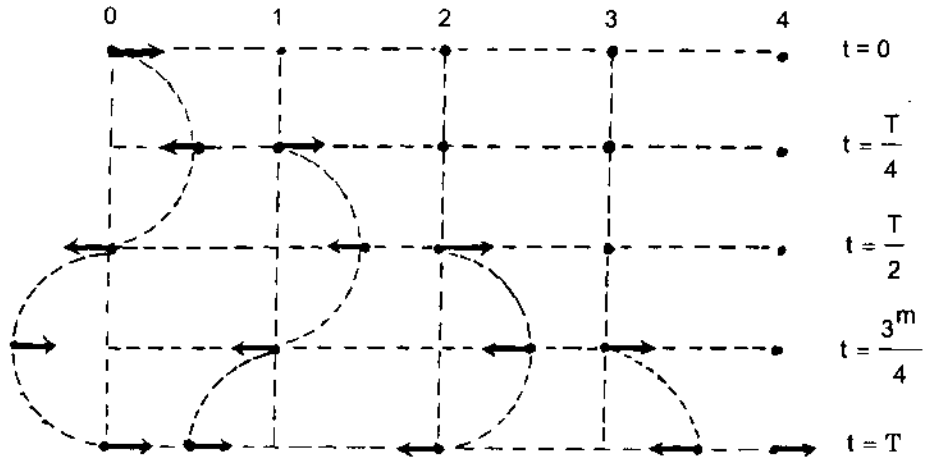
Giả sử không phải chỉ một phần tử 0 bị lệch so với vị trí của nó mà là một lớp môi trường (gồm rất nhiều phần tử tương tự 0) bị lệch so với lớp môi trường bên cạnh. Như vậy sẽ xuất hiện lực đàn hồi chống lại sự lệch này và tồn tại sóng ngang truyền từng lớp. Ở đây các phần tử của môi trường dao động theo phương thẳng đứng còn phương truyền của sóng là nằm ngang. Nếu không có lực đàn hồi chống lại sự lệch này thì sẽ không có sóng ngang. Do đó môi trường truyền sóng ngang là môi trường có lực đàn hồi chống lại sự lệch giữa các lớp của môi trường. Những môi trường này thường là vật rắn. Trừ mặt ngoài chất lỏng ra thì chất lỏng và khí không truyền được sóng ngang.

Gọi ρ là mật độ môi trường, N là hệ số đặc trưng cho khả năng chống lại sự lệch giữa các lớp của môi trường thì tốc độ truyền sóng ngang là:

$$v = \sqrt{\frac{N}{\rho}} \qquad (4.21)$$

2.2. Sóng dọc

Cũng dùng mô hình 5 phần tử ta khảo sát được quá trình truyền sóng dọc như hình 4.9:



Hình 4.9

http://tieulun.hopto.org

– Tại thời điểm t = 0 các phần tử ở vị trí cân bằng, riêng phần tử 0 được gia tốc đi về phía phần tử 1.

– Tại thời điểm $t = \frac{T}{4}$, 0 đi xa nhất về bên phải, gần 1, hai phần tử này đẩy nhau, do đó 0 đi về phía trái, 1 đi về phía phải.

– Tại thời điểm $t = \frac{T}{2}$, 0 tới vị trí cân bằng, tiếp tục đi về phía trái, 1 và 2 đẩy nhau.

– Tại thời điểm $t = \frac{3T}{4}$, 0 đi xa nhất do đẩy với điểm ở trái và hút của 1 mà quay về, 1 về cân bằng và tiếp tục sang trái 2 và 3 đẩy nhau.

– Tại t = T, 0 về cân bằng, tiếp tục đi về phải như ban đầu, 1 xa nhất bên trái bị 0 đẩy và 2 hút về phải, 2 đi về trái còn 3 và 4 đẩy nhau, 4 có trạng thái giống 0 lúc ban đầu.

Ta thấy ngay ở đây, các phần tử đã bị "nén dãn" và môi trường xuất hiện lực đàn hồi chống lại, do đó phát sinh sóng dọc. Ở đây phương truyền của sóng song song với phương dao động nằm ngang của các phần tử môi trường. Vậy môi trường truyền sóng dọc là môi trường xuất hiện lực đàn hồi chống lại sự nén dãn. Chất khí, lỏng, rắn đều có thể truyền được sóng dọc.

Nếu gọi ρ là mật độ môi trường, α là hệ số đàn hồi của môi trường thì tốc độ truyền sóng dọc là:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\alpha.\rho}} \qquad (4.22)$$

3. Đặc điểm của sóng cơ học

Giả sử điểm 0 thực hiện dao động mà độ dịch chuyển biểu diễn bằng hàm của thời gian f(t). Do có thể khai triển f(t) theo chuỗi Fourier (chuỗi của các hàm sin hoặc cosin), ta có thể xét trường hợp đơn giản nhất:

$$f(t) = a\cos(\omega t + \alpha)$$

a là biên độ dao động.

ω là tần số vòng.

ωt + α là pha, α là pha ban đầu.

Sau một khoảng thời gian T, điểm O thực hiện một chu kỳ dao động, ta có:

$$\omega(t + T) + \alpha = \omega t + \alpha + 2\pi$$

Do đó

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad (4.23)$$

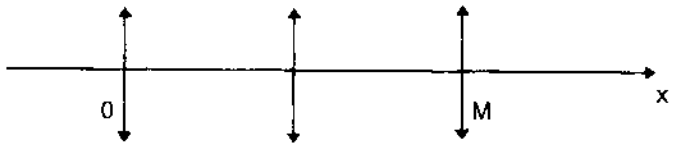
T gọi là chu kỳ, tính theo giây.

http://tieulun.hopto.org

Đại lượng

$$\upsilon = \frac{1}{T} \qquad (4.24)$$

là số chu kỳ trong 1 giây, gọi là tần số, đo bằng đơn vị Hertz (Hz)



Hình 4.10

– Giả sử dao động ở O được lan truyền với tốc độ v về phía tay phải; ở thời điểm t thì tới điểm M. M cách O một khoảng x (hình 4.10), điểm M này sẽ lặp lại dao động của O tại thời điểm trước đó là $(t - \frac{x}{v})$, ta có phương trình biểu diễn dao động xảy ra tại M là:

$$f_M(t) = a\cos[\omega(t - \left(\frac{x}{v}\right) + \alpha]$$

Ta viết được: $$a\cos(\omega t + \alpha - \frac{\omega}{v}x) = a\cos(\omega t + \alpha - kx) \qquad (4.25)$$

Đại lượng $k = \frac{\omega}{v}$ gọi là số sóng.

Giả sử λ là quãng đường sóng lan truyền trong một chu kỳ, ta có:

$$\frac{\lambda}{v} = T \rightarrow \lambda = v.T = \frac{\omega T}{k} = \frac{2\pi}{k} \qquad (4.26)$$

λ được gọi là chiều dài sóng hay bước sóng.

$\upsilon = \frac{1}{T} = \frac{v}{\lambda}$ được gọi là tần số sóng, là số bước sóng lan truyền trong 1 đơn vị thời gian.

Dao động của một điểm bất kỳ trong không gian có sóng truyền tới được biểu diễn bằng hàm:

$$f(t) = a\cos(\omega t - kx + \alpha)$$

Bằng cách lấy đạo hàm riêng theo x và t, ta thấy hàm số sóng này thoả mãn là nghiệm của phương trình sóng:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\cdot\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} \qquad (4.27)$$

v là tốc độ lan truyền sóng hay tốc độ pha.

http://tieulun.hopto.org

– Khi sóng lan truyền tới đâu thì năng lượng được chở từ nguồn tới đó, thể hiện bằng phần tử M của môi trường khi dao động sẽ có động năng và thế năng.

Phần tử M có khối lượng m, có độ dịch chuyển là $f(t) = a\cos(\omega t - kx + \alpha)$, sẽ có tốc độ dịch chuyển là $\frac{df}{dt}$:

Thì $$\left(\frac{df}{dt}\right)^2 = a^2\omega^2\sin^2(\omega t - kx + \alpha)$$

(Tốc độ dịch chuyển của phần tử M khác hẳn tốc độ lan truyền của sóng bởi vì phần tử M chỉ dao động quanh vị trí cân bằng của nó).

Với giá trị trung bình trong một chu kỳ, ta có động năng trung bình của phần tử M là:

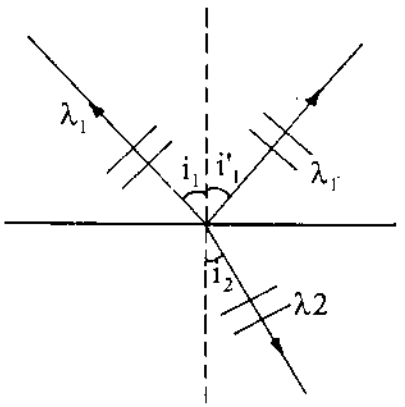
$$E_d = \frac{1}{2}m\left(\frac{df}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2}m.\frac{1}{2}a^2\omega^2$$

Từ đó có thể tính được cường độ sóng tại một điểm là công suất vận chuyển bởi sóng qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc phương truyền sóng tại điểm đó (đơn vị diện tích trên mặt sóng):

$$I = 2\pi^2\rho v.\upsilon^2.a^2 \qquad (4.28)$$

Trong đó ρ là mật độ môi trường, v là tốc độ sóng, υ là tần số sóng, a là biên độ dao động.

Ta thấy ở sóng cơ học thì cường độ sóng tỉ lệ thuận với bình phương biên độ dao động a và bình phương tần số υ. Người ta cũng gọi $Z = \rho.v$ là sóng trở, do sự tương đương với công thức tính công suất do dòng điện mang tới cho một dây điện trở R: $P = RI^2$. Đối với sóng âm, Z được gọi là âm trở.



Hình 4.11

– Khi sóng tới mặt phân giới giữa hai môi trường đàn hồi với biên độ a_t, và góc tới i_1 (xem hình 4.11) người ta thấy có sóng phản xạ với biên độ a_p và góc phản xạ i'_1 sóng truyền qua hay sóng khúc xạ với biên độ a_q và góc khúc xạ i_2, nhìn chung:

– Góc tới i_1 = góc phản xạ i'_1

– Các giá trị của biên độ phụ thuộc phức tạp vào sóng trở, còn bước sóng truyền qua λ_2 có thể thay đổi.

Trong trường hợp sóng tới vuông góc mặt phân giới, người ta thấy:

$$\frac{a_p}{a_t} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad (4.29)$$

http://tieulun.hopto.org

Do cường độ sóng tỉ lệ bình phương biên độ nên ta có:

$$\frac{I_p}{I_t} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \qquad (4.30)$$

$$\frac{I_p}{I_t} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \qquad (4.31)$$

Dễ dàng kiểm định lại được là:

$$I_t = I_p + I_q$$

4. Hiệu ứng Doppler

Có nguồn phát ra sóng với tần số υ. Sóng lan truyền với tốc độ v trong không gian tới máy thu. Nếu cả nguồn phát lẫn máy thu đều đứng yên, máy thu sẽ thu được sóng có tần số υ' = υ. Còn nếu nguồn hoặc máy thu hoặc cả hai chuyển động, nói chung máy thu sẽ thu được sóng có tần số υ' ≠ υ.

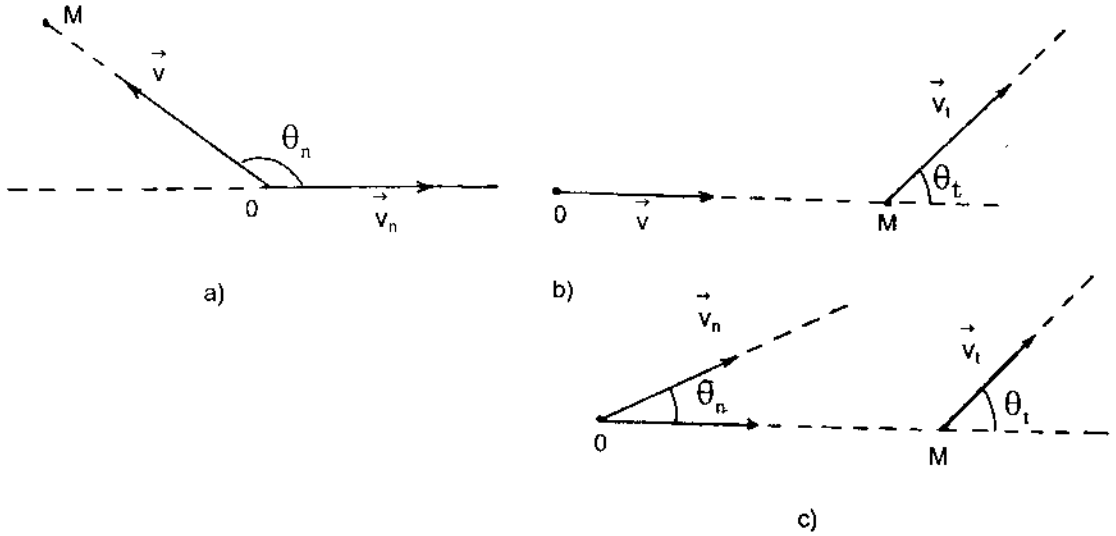
– Máy thu đứng yên, nguồn chuyển động với vận tốc $\vec{v}_n$ tạo với tốc độ lan truyền sóng tới máy thu $\vec{v}_n$ một góc θ_n (hình 4.12a) thì:

$$\upsilon' = \frac{\upsilon}{1 - \frac{\upsilon_n}{\upsilon}\cos\theta_n} \qquad (4.32)$$

Qua công thức này ta thấy:

+ Nguồn đi xa máy thu: υ' < υ.

+ Nguồn đi tới máy thu: υ' > υ.



Hình 4.12

http://tieulun.hopto.org

– Nguồn đứng yên, máy thu chuyển động với vận tốc $\vec{v}_t$ tạo với tốc độ sóng $\vec{v}_t$ góc θ_t (hình 4.12b):

Ta thấy:

Máy thu tới gần nguồn: $\upsilon' > \upsilon$.

Máy thu đi xa nguồn: $\upsilon' > \upsilon$

– Nguồn và máy thu đều chuyển động, tạo các góc θ_n và θ_t (hình 4.12c)

$$\upsilon' = \upsilon\left(\frac{1-\frac{v_t}{v}\cos\theta_t}{1-\frac{v_n}{v}\cos\theta_n}\right) \qquad (4.33)$$

Nhìn chung: Nguồn và máy thu xa nhau ra: $\upsilon' < v$

Nguồn và máy thu gần nhau lại: $\upsilon' > v$.

Hiện tượng đó gọi là hiệu ứng Doppler.

Hiệu ứng Doppler có nhiều ứng dụng trong thực tế đời sống, trong sử dụng siêu âm và chẩn đoán bệnh.

Thí dụ ứng dụng: Ta xét trường hợp nguồn (máy phát) đứng yên, phát ra sóng siêu âm tần số υ, gặp đối tượng đang chuyển động, phản xạ lại với tần số υ'. Lúc siêu âm quay về đến nguồn ban đầu, nguồn phát lại đóng vai trò máy thu, thu được sóng siêu âm tần số υ''. Cho rằng lúc đầu $\theta_t = 0^0$, lúc sau $\theta_n = 180^0$ (đường truyền sóng siêu âm song song với đường đối tượng di chuyển). Trường hợp này xảy ra lúc người cảnh sát giao thông đo tốc độ xe ô tô chạy trên đường phố hoặc người thầy thuốc đo tốc độ di chuyển của hồng cầu trong mạch máu.

Ta có theo (4.33)

$$\upsilon'' = \upsilon'\left(1-\frac{v_x}{v}\right)$$

Theo (4.32): $\upsilon' = \upsilon\cdot\frac{1}{1+\frac{v_x}{v}}$

$$\longrightarrow \quad \upsilon'' = \upsilon\cdot\frac{1}{1+\frac{v_x}{v}}\left(1-\frac{v_x}{v}\right) = \upsilon\frac{v-v_x}{v+v_x}$$

Hiệu số hai tần số phát và thu:

$$\Delta\upsilon = \upsilon - \upsilon' = \upsilon - \upsilon\frac{v-v_x}{v=v_x} = \upsilon.\frac{2v_x}{v+v_x}$$

Do $v_x < v$ (tốc độ hồng cầu trong mạch cỡ cm/s, còn tốc độ lan truyền siêu âm cỡ 340m/s nên có thể bỏ qua v_x trong tổng số $v + v_x$) cuối cùng ta có:

http://tieulun.hopto.org

$$\Delta\upsilon = \frac{2\upsilon}{v} \cdot v_x \qquad (4.35)$$

Biểu thức này cho thấy hiệu tần số trên máy thu phát tỷ lệ bậc nhất với tốc độ di chuyển của đối tượng khảo sát. Đó là cơ sở của việc ứng dụng hiệu ứng Doppler siêu âm và chẩn đoán các bệnh của tuần hoàn máu ở các mạch.

III. BẢN CHẤT VẬT LÝ CỦA ÂM VÀ SIÊU ÂM

1. Bản chất vật lý của âm và siêu âm

Âm là dao động của các phần tử trong môi trường đàn hồi, truyền đi theo loại sóng dọc, có tần số từ 16 Hz đến 20.000 Hz.

Nếu phần tử của môi trường đàn hồi dao động có tần số dưới 16 Hz, ta có hạ âm, tần số trên 20.000 Hz ta có siêu âm.

Nguồn phát âm thông thường là các vật thực hiện dao động do tác dụng của lực có tần số, do va chạm, do biến dạng đàn hồi... Chẳng hạn một cái âm thoa bị đập mạnh vào một vật rắn sẽ biến dạng đàn hồi gây dao động và dao động ấy được môi trường không khí truyền đến tai ta gây ra cảm giác âm.

Vì âm là sóng dọc trong môi trường đàn hồi nên nó có các đặc trưng như các sóng cơ học khác: bước sóng λ, tần số υ, chu kỳ T, tốc độ lan truyền v.

$$v = \lambda.\upsilon = \frac{\lambda}{T} \qquad (4.26)$$

Sóng âm có thể lan truyền qua tất cả các môi trường vật chất ở thể khí, lỏng, rắn mà không thể lan truyền trong chân không vì chân không không có những phần tử cụ thể để thực hiện dao động cơ học. Tốc độ truyền sóng âm phụ thuộc vào mật độ môi trường và tính chất đàn hồi của môi trường.

$$v = \sqrt{\frac{1}{\alpha\rho}} \qquad (4.36)$$

Trong đó: ρ là mật độ của môi trường.

α là hệ số đàn hồi của môi trường.

Ta thấy ngay rằng tốc độ truyền âm phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường vì hiển nhiên là khi thay đổi nhiệt độ thì tính chất đàn hồi cũng như mật độ môi trường cũng thay đổi. Chẳng hạn với không khí, ở 0°C thì v = 331,5m/s, khi tăng một độ thì tốc độ tăng khoảng 0,5m/s, ở 18°C thì v = 342m/s.

Tốc độ truyền âm trong các môi trường khác nhau thì khác nhau, ít phụ thuộc vào tần số dao động. Bảng 4.1 cho ta tốc độ truyền âm tính ra m/s của một số chất ở 0°C.

http://tieulun.hopto.org

Bảng 4.1

Môi trường	Tốc độ âm	Môi trường	Tốc độ âm
Không khí	331,5m/s	Thuỷ tinh	5600m/s
Nước	1450	Gỗ thông	4800
Đồng	3800	Lie	430 - 530
Sắt	4900	Cao su	50
		Cơ thể người	1500

Khi sóng âm truyền từ môi trường này tới môi trường khác (ta phân biệt hai môi trường đó chủ yếu dựa vào âm trở) thì ở mặt phân giới hai môi trường sẽ xảy ra hiện tượng khúc xạ, phản xạ ... giống như ánh sáng. Do bước sóng của âm dài nên hiện tượng nhiễu xạ thường hay gặp. Nhờ hiện tượng nhiễu xạ này âm có thể vòng qua vật cản nó một cách dễ dàng. Ta cũng có thể biết được sự phản xạ âm trước một vật cản (như bức tường, trái núi): sau một khoảng thời gian lại nghe thấy âm vừa phát ra dội trở lại (tiếng dội). Hiện tượng tiếng dội có thể làm cho khó nghe âm nguyên phát vì tiếng dội tiếp nối hoặc xen lẫn vào âm nguyên phát làm mờ âm đi và khó nghe. Tuy vậy đôi khi nếu được bố trí tốt, tiếng dội lại giúp cho việc nghe vì nó làm tăng được cường độ âm đến tai. Muốn vậy phải bố trí cho thích hợp để có khoảng cách thời gian giữa âm nguyên phát và tiếng dội là bé nhất. Thời gian đó phụ thuộc khoảng cách của nguồn phát âm và vật cản. Trong nhiều trường hợp khó đạt được thời gian đó thích hợp thì người ta tìm cách xóa bỏ tiếng dội.

Cùng với sự truyền sóng âm vào không gian, xảy ra hiện tượng truyền năng lượng của âm thanh. Năng lượng này là thế năng đàn hồi của môi trường truyền âm và năng lượng dao động của các phần tử môi trường.

Cường độ âm tại một điểm là đại lượng biểu thị bằng năng lượng truyền trong một đơn vị thời gian qua một đơn vị diện tích đặt ở điểm ấy và vuông góc với phương truyền của âm.

Người ta ký hiệu cường độ âm thanh bằng chữ I; đơn vị đo lường hợp pháp của nước ta về cường độ âm thanh là oát trên mét vuông (W/m^2), ngoài ra cũng hay dùng đơn vị microoat trên centimet vuông ($\mu W/cm^2$).

Trong quá trình truyền âm, cường độ âm càng đi xa nguồn càng giảm mau vì các lý do sau:

– Các phần tử của môi trường dao động, ma sát với môi trường do đó một phần năng lượng dao động phải dùng để thắng ma sát và biến thành nhiệt năng làm nóng môi trường.

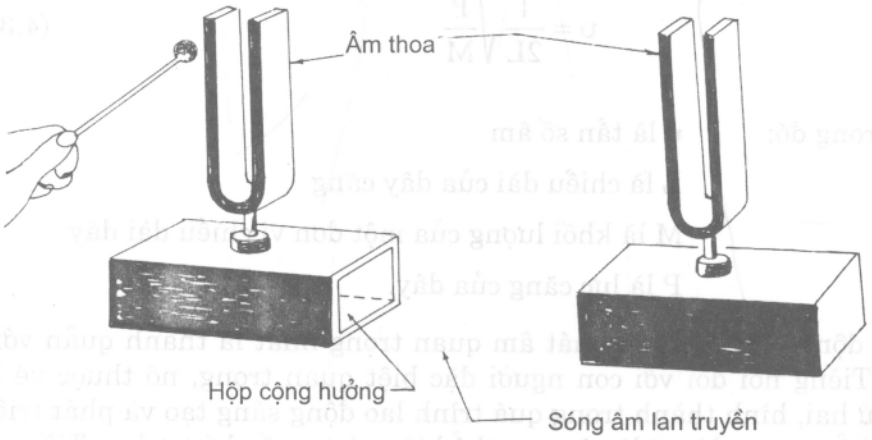
– Âm trong khi truyền gặp mặt phân cách 2 môi trường cũng phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ tương tự như ánh sáng. Chính hiện tượng phản xạ làm giảm rất nhiều cường độ sóng âm đi tới.

– Ngay trong điều kiện lý tưởng khi nguồn phát âm là một điểm, môi trường đồng nhất, cường độ âm cũng giảm, tỉ lệ nghịch bình phương khoảng cách tới nguồn vì sóng âm phải phân bố đều trên một diện tích mặt cầu tỉ lệ thuận bình phương

http://tieulun.hopto.org

khoảng cách. Tuỳ theo mức độ dẫn âm tốt hay xấu (hay là làm yếu âm ít hay nhiều) người ta chia ra vật dẫn âm (chẳng hạn như thép, bê tông) và vật hấp thụ âm (chẳng hạn như dạ, nỉ, lie, cao su, xốp ...) Trong cơ thể, xương dẫn âm tốt; mỡ dẫn âm xấu. Các chất dịch, mủ làm yếu âm khá nhiều.

Trong bất cứ môi trường nào, hiện tượng cộng hưởng là hiện tượng rất phổ biến đối với sóng âm. Nếu lấy hai âm thoa có tần số dao động riêng như nhau, đặt cách nhau một khoảng nào đó và kích thích làm một trong hai âm thoa đó dao động thì dao động cũng xuất hiện ở âm thoa kia với biên độ cực đại. Hiện tượng vừa mô tả là hiện tượng cộng hưởng âm. Có thể giải thích như sau: sóng âm phát từ âm thoa thứ thứ nhất tới âm thoa thứ hai bằng tần số của lực cưỡng bức (gây ra bởi âm thoa thứ nhất) nên có hiện tượng cộng hưởng âm (hình 4.13).



Hình 4.13

Riêng đối với siêu âm, người ta thấy trong quá trình truyền trong môi trường có một số đặc điểm sau:

– Sóng siêu âm có tần số lớn hay bước sóng ngắn nên với nguồn phát có kích thước nhỏ, chùm siêu âm phát ra có thể tiết diện hẹp, truyền thẳng do không bị nhiễu xạ. Bằng dạng hình học thích hợp của đầu phát, ta có thể hội tụ chùm siêu âm vào một vùng kích thước khá nhỏ giống như hội tụ một chùm sáng bằng thấu kính hội tụ.

– Khi truyền qua các môi trường, sóng siêu âm bị môi trường hấp thụ nên cường độ của nó sẽ giảm dần. Giả sử chùm siêu âm song song khi tới một môi trường nó có cường độ I_o khi xuyên vào chiều sâu x trong môi trường, cường độ chỉ còn là I. Ta cũng có:

$$I = I_o.e^{-\alpha x}$$

với e = 2,71828... còn α tỉ lệ với υ^2, $\frac{1}{\rho}$ và v^3. Không khí có ρ bé nên α lớn, nghĩa là I giảm nhanh, nói khác đi là chùm siêu âm bị hấp thụ nhiều.

http://tieulun.hopto.org

– Siêu âm là sóng dọc, có tác dụng nén giãn môi trường, ở vùng nén thì mật độ môi trường lớn, ở vùng giãn thì mật độ môi trường nhỏ, áp suất nén giãn tức thời có thể lên đến tới hàng vạn átmốtphe. Kết quả là liên kết của các phần tử môi trường ở vùng giãn có thể bị đứt, tạo thành các lỗ vi mô trong môi trường. Nước trong môi trường có thể bay hơi tạo thành các bọt nhỏ.

2. Nguồn phát âm

2.1. Nguồn phát âm thanh

Có nhiều phương pháp tạo nên âm thanh, nhưng phổ biến hơn cả là làm cho một vật rắn, một màng căng hoặc một dây căng thẳng thực hiện dao động đàn hồi. Tần số dao động âm tạo ra ở dây có thể tính theo công thức:

$$\upsilon = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{P}{M}} \qquad (4.38)$$

Trong đó: υ là tần số âm

L là chiều dài của dây căng

M là khối lượng của một đơn vị chiều dài dây

P là lực căng của dây.

Ở động vật, cơ quan phát âm quan trọng nhất là thanh quản với các dây âm thanh. Tiếng nói đối với con người đặc biệt quan trọng, nó thuộc về hệ thống tín hiệu thứ hai, hình thành trong quá trình lao động sáng tạo và phát triển về cấu tạo của cơ thể con người, nó là công cụ thể hiện và truyến bá tư duy. Tiếng nói từ âm do con người phát ra, tuy vậy con người còn hiểu biết quá ít về cơ chế phát âm của mình. Có các giả thuyết sau giải thích sự phát âm ở người:

– Thuyết cơ đàn hồi còn gọi là thuyết cơ học: hai dây âm thanh là bộ phận phát âm chủ yếu, chúng có cấu tạo đặc biệt và có thể điều hoà được độ căng. Hai dây có xu hướng nằm song song và khép kín vào nhau. Khi phát âm, không khí được đẩy từ dưới phổi lên với một áp suất nhất định. Luồng khí đi qua khe hẹp của dây âm thanh làm dây rung lên. Luồng thần kinh trung ương chỉ huy mức độ căng của dây và do đó chỉ huy tần số dao động của dây. Tần số sóng âm phát ra tính theo công thức (4.38).

Khá nhiều hiện tượng sinh lý liên quan đến sự phát âm không giải thích được bằng thuyết này.

– Giả thuyết luồng thần kinh của Housson: Dây âm thanh có khả năng dao động với các tần số khác nhau. Tuy vậy tần số dao động đó không phải tuỳ thuộc vào độ căng của dây và áp lực luồng khí mà do chính luồng thần kinh đến dây âm thanh quyết định. Nói một cách khác, dây âm thanh đáp ứng theo nhịp kích thích của luồng thần kinh trung ương, nhịp kích thích đó quyết định tần số dao động âm. Người ta thấy trung tâm phát ra các xung thần kinh tạo âm thanh có nhịp điệu (bài ca) là vùng đồi thị ở vỏ não, tạo tiếng nói là vùng trung não.

http://tieulun.hopto.org

Dựa vào lý thuyết này, người ta có thể đánh giá xếp loại giọng ca của một người theo khả năng đáp ứng kích thích của dây thần kinh quặt ngược của dây X, là dây thần kinh liên quan đến cơ quan phát âm. Khả năng đáp ứng kích thích thường được đánh giá bằng thời trị (crônacxi). Tần số tối đa của một người có thể phát ra được tính theo công thức:

$$\upsilon_M = \frac{1000}{k.c} \qquad (4.39)$$

Trong đó k là hệ số tỷ lệ

c là thời trị của dây thần kinh quặt ngược, đo được bằng thiết bị chuyên dụng.

υ_M là tần số tối đa của âm có thể phát ra

– Ngày nay người ta thấy rõ hơn là cấu tạo của dây âm thanh rất đặc biệt. Niêm mạc của nó rất loãng, lỏng lẻo và không dính chặt vào tổ chức dưới đó. Vì vậy một dao động có thể xuất hiện ở từng bộ phận dưới, trên và ngay ở dây âm thanh. Những tìm tòi này bổ sung cho hai quan điểm cơ học và thần kinh ở trên về cơ chế phát âm.

Ta cũng cần nhấn mạnh rằng các xoang cộng hưởng đóng vai trò khá quan trọng, chúng quyết định âm sắc của tiếng nói người. Khi phát nguyên âm (như a, o, u ...) thì xoang cộng hưởng chia ra hai phần tạo thành hai tần số cộng hưởng khác nhau. Khi phát phụ âm thì âm thanh sinh ra còn nhờ sự ma sát qua kẽ răng, các khe giữa lưỡi và vòm hầu. Nhiều khi các âm phát ra không phải do đây âm thanh rung động mà các hốc ở xương mặt đóng vai trò quan trọng ta gọi là giọng mũi (khi ngâm nga, khi nói thầm).

2.2. Nguồn phát siêu âm

Những nguồn âm thường dùng như loa, ống nghe không thể dùng để phát siêu âm được vì phải tác dụng một lực khá lớn lên chúng, lực này sẽ tỉ lệ với gia tốc của màng loa:

$$\gamma = \frac{d^2f}{dt^2} = -a\omega^2 \cos(\omega t + \alpha) = -4\pi^2 a^2 \upsilon^2 \cos(\omega t + \alpha)$$

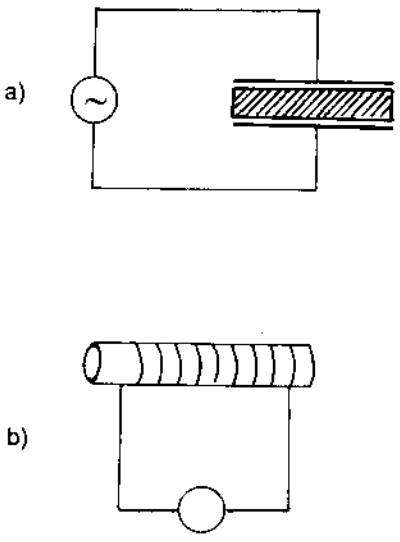
Thật vậy, vì υ của siêu âm > 20.000 Hz, gia tốc màng loa lớn, trong khi đó đàn hồi kém nên nó không dao động nổi.

Muốn phát được siêu âm người ta phải dùng một nguồn đặc biệt như tinh thể muối kền, tinh thể thạch anh ... Đặc điểm của các chất này là chúng có khả năng biến dạng lớn khi có tác dụng của ngoại lực, đồng thời có khả năng đàn hồi lớn. Nguyên tắc phát siêu âm là dựa vào hiệu ứng áp điện nghịch hoặc hiện tượng từ giảo. Còn thu (phát hiện) ghi nhận siêu âm dựa vào hiệu ứng áp điện thuận.

– Nguồn phát siêu âm dựa vào hiệu ứng áp điện nghịch: Một bản thạch anh được cắt song song với trục lục giác và vuông góc với quang trục tạo thành một bản thạch anh áp điện. Người ta mạ hai mặt của bản của một tụ điện hoặc kẹp nó vào

http://tieulun.hopto.org

giữa hai bản của một tụ điện phẳng (hình 4.14a). Khi tác dụng một hiệu điện thế U giữa hai bản tụ điện, bản thạch anh bị tác dụng một lực nén (hay giãn tuỳ dấu của điện tích) làm biến thiên độ dài của bản.



Hình 4.14

Thay đổi chiều của U gây sự nén (giãn) theo chiều ngược lại. Thay U bằng một nguồn xoay chiều tần số υ_1 bản thạch anh này bị dao động cưỡng bức bởi tần số này, phát ra siêu âm khi $\upsilon >$ 20.000 Hz. Siêu âm phát ra có cường độ mạnh nhất khi tần số dao động điện tác dụng vào bản thạch anh xấp xỉ tần số dao động riêng của bản. Ở đây năng lượng của nguồn điện đã biến thành năng lượng cơ học dưới dạng siêu âm lan truyền vào môi trường xung quanh với tần số có thể đến 50 MHz.

Nguồn phát siêu âm dựa vào hiện tượng từ giảo: Một thanh sắt từ hoặc một thanh kền khi bị từ hoá thì độ dài của nó sẽ ngắn đi chút ít, đó là hiện tượng từ giảo.

Đặt một thanh sắt từ vào trong lòng một cuộn dây đã nối với một nguồn điện xoay chiều tần số cao (hình 4.14b). Từ trường trong lòng cuộn dây biến thiên với tần số bằng tần số của dòng điện xoay chiều. Do hiện tượng từ giảo, thanh sắt từ có chiều dài dao động với tần số như tần số của nguồn điện, trở thành nguồn phát siêu âm khi $\upsilon >$ 20.000 Hz. Nguồn phát siêu âm loại này có thể đạt tới tần số 10^9Hz. Tức là 1000 MHz.

IV. CẢM GIÁC ÂM

1. Các đặc trưng của cảm giác âm

Các sóng âm tác dụng đến cơ quan thính giác có thể gây cho ta cảm giác âm thanh. Có thể chia âm đến tai ta ra làm hai loại: âm thanh và tiếng ồn. Ở đây âm thanh là từ để chỉ những loại âm phát ra từ một nguồn truyền đến tai ta, còn tiếng ồn để chỉ loại âm hỗn hợp do quá nhiều nguồn phát ra cùng một lúc, không mang đến những thông tin cần thiết về thế giới xung quanh ta.

Cảm giác âm chủ yếu gồm: độ cao, âm sắc, độ to.

1.1. Độ cao của âm

Cảm giác về độ cao của âm là do tần số của âm quyết định. Những dao động âm có tần số cao cho ta cảm giác thanh (trong). Những âm có tần số thấp cho ta có cảm giác trầm (đục). Tai người chỉ nghe được những âm thanh có tần số từ 16 đến 20.000Hz, nhưng giới hạn này cũng tuỳ theo lứa tuổi, người già chỉ nghe được những tần số dưới 6000 Hz. Một số súc vật có khả năng nghe được những âm có tần

http://tieulun.hopto.org

số cao hơn hoặc thấp hơn phạm vi nghe của người. Tuy nhiên, người bình thường chỉ phân biệt được độ cao của các âm trong phạm vi 40 – 4000Hz âm tần số cao hơn chỉ cho cảm giác tiếng rít. Chính vì vậy, các nhạc cụ thường được chế tạo ra để phát các âm thanh có tần số trong khoảng đó. Để phân biệt được độ cao của âm, thời gian âm tác động lên cơ quan thính giác ít nhất phải từ $\frac{1}{100}$ đến $\frac{1}{40}$s. Chẳng hạn với âm có tần số 40 Hz tồn tại trong thời gian $\frac{1}{40}$s, gây nên cảm giác ở tai ta. Như thế âm này thực hiện được $40 \times \frac{1}{40} = 1$ dao động toàn phần. Nếu âm có tần số 6000 thì trong thời gian ấy âm đã thực hiện được $6000 \times \frac{1}{40} = 150$ dao động toàn phần. Từ kết quả này có thể suy ra: ngưỡng của cảm giác độ cao là một dao động toàn phần của âm. Điều này cũng dễ dàng hiểu được: một dao động mà chưa thực hiện đầy đủ một dao động toàn phần thì không thể xác định chu kỳ hay tần số của nó.

Ngoài ra người ta thấy độ cao phụ thuộc phần nào vào cường độ âm. Trong một mức độ nhất định, âm thấy như cao lên khi cường độ tăng và trầm xuống khi cường độ giảm. Điều này có lẽ là kết quả của sự thay đổi đặc tính đàn hồi của màng nhĩ do cường độ của âm tác dụng lên màng.

Sóng siêu âm có tần số lớn hơn 20.000 Hz, không gây cảm giác âm thanh cho người. Sóng siêu âm khi lan truyền có đặc tính truyền thẳng thành chùm, mang theo năng lượng lớn, phản ánh nhiều đặc điểm của môi trường hấp thụ nên được sử dụng nhiều trong thực tế. Y học thường sử dụng các sóng siêu âm tần số từ 100.000 Hz đến 3.10^6 Hz. Người ta lợi dụng đặc tính truyền thẳng của siêu âm và độ hấp thụ, phản xạ phụ thuộc vào đặc tính môi trường để chẩn đoán định vị, xác định cấu trúc, lợi dụng năng lượng lớn của chùm siêu âm bị hấp thụ làm tăng nhiệt độ tại chỗ để làm giãn mạch, tăng cường tính thẩm thấu của các màng tế bào; lợi dụng hiện tượng siêu âm làm đứt liên kết môi trường, tạo các lỗ vi mô để tiêu diệt các tế bào bệnh, các vi sinh vật gây bệnh ...

1.2. Âm sắc

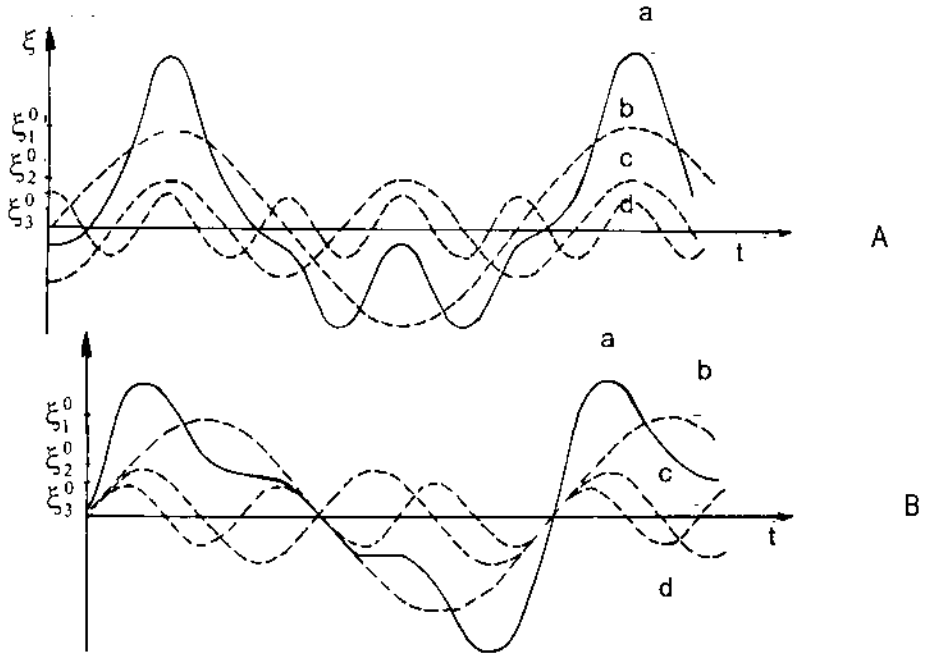
Những âm phát ra từ âm thoa cho ta một cảm giác đơn giản, chúng ứng với những dao động hình sin. Gọi p_o là biên độ áp suất âm gây tại màng nhĩ, t là thời gian, υ là tần số âm thì p là áp suất âm do âm thoa gây tại màng nhĩ có thể biểu diễn bằng phương trình:

$$p = p_o \sin 2\pi vt$$

Đại đa số các âm là những âm phức tạp, gây cho ta cảm giác phong phú hơn, chẳng hạn như âm của các dụng cụ âm nhạc, âm do người phát ra ... Dùng thiết bị phân tích âm có nhiều bộ phận cộng hưởng âm khác nhau có thể phân tích âm phức tạp ra thành nhiều âm đơn giản gọi là phổ điều hoà; đặc biệt có thể phân tích âm phức tạp thành những âm đơn giản mà tần số của chúng là bội số nguyên của một âm đơn giản có tần số nhỏ nhất. Trên hình 4.15A, B trình bày một dạng âm phức tạp (a) và các thành phần phân tích của nó (b), (c), (d). Âm có tần số nhỏ nhất, là

http://tieulun.hopto.org

âm cơ bản, các âm khác gọi là họa âm. Tai ta nhận được hai âm cùng độ cao của hai loại nhạc cụ khác nhau mà phân biệt được là vì mỗi âm đó đã gây cho chúng ta cảm giác âm nhạc khác nhau. Như vậy mỗi âm có một bản sắc riêng biệt hay nói khác đi mỗi âm có một âm sắc riêng biệt. Về phương diện vật lý, hai âm phức tạp khác nhau mà có cùng tần số thì khác nhau bởi thành phần dao động điều hoà hình sin đã tạo nên chúng; vì vậy âm sắc được đặc trưng bằng thành phần dao động điều hoà hình sin. Nếu như thực hiện vẽ đồ thị các dao động âm, ta thấy ngay âm sắc còn đặc trưng bằng dạng đồ thị dao động, chẳng hạn trên hình (4.16) trình bày đồ thị dao động của hai nốt nhạc cùng độ cao của đàn piano (a) và kèn clarinette (b)



Hình 4.15

Sự phân tích âm về độ cao và âm sắc, theo thuyết của Helmholtz liên quan chặt chẽ với những đặc tính của những sợi đàn hồi của màng nhĩ (chiều dài, chiều dầy và mức độ căng). Khi tác dụng lên màng nhĩ, dao động âm cơ bản hay phức tạp gây nên ở màng những dao động cộng hưởng của những sợi xác định mà tần số riêng của chúng tương ứng với tần số phổ điều hoà của dao động âm. Khi ấy những xung động thần kinh xuất hiện trong những tế bào sợi tương ứng sẽ đi vào phần trung ương của cơ quan phân tích âm và do đó gây nên cảm giác về độ cao và âm sắc.

Những nghiên cứu hiện đại khẳng định rằng những dao động âm khác nhau về tần số được tiếp nhận bằng những phần khác nhau của màng nhĩ giống như thuyết của Helmholz. Tuy nhiêu điều này không phải chỉ coi như những dao động cộng hưởng của các sợi của màng, mà là kết quả tác dụng đồng thời của nhiều dao động xuất hiện ở lympho nội dịch và sự biến dạng đàn hồi của những phần xác định của màng. Hiện tượng này được coi là khâu đầu tiên của quá trình sinh lý thụ cảm âm khá phức tạp.

http://tieulun.hopto.org

1.3. Độ to

Độ to của âm là đặc trưng cảm giác về sự mạnh hay yếu của dao động âm truyền tới tai ta. Hiển nhiên rằng âm có cường độ lớn sẽ gây nên "tiếng to", âm có cường độ bé gây "tiếng nhỏ". Như vậy sự thay đổi của cường độ âm gây nên một cảm giác thuận chiều. Người ta thấy rằng một âm có cường độ I khi thay đổi một lượng ΔI thì để nhận thức được rằng âm đó có thay đổi về độ to, cần phải có:

$$\frac{\Delta I}{I} > 0,1 \qquad (4.40)$$

Đây chính là biểu thức thể hiện ngưỡng của cảm giác thay đổi độ to.

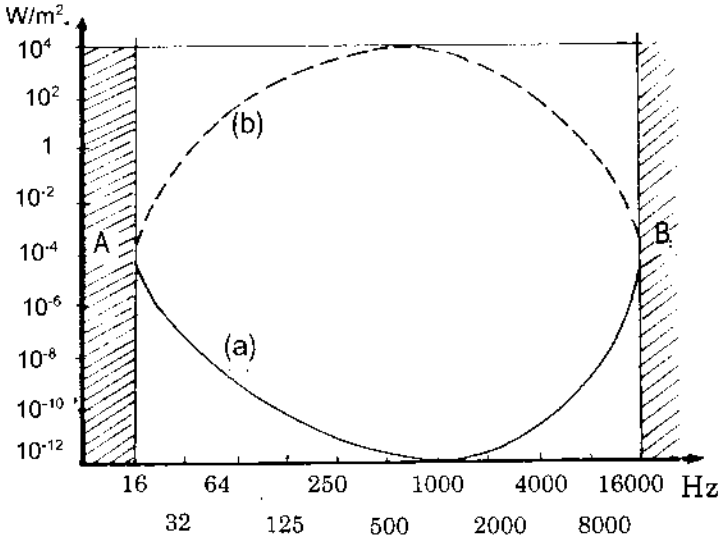
Những âm có tần số khác nhau tuy cùng cường độ nhưng gây nên những cảm giác to nhỏ khác nhau, điều đó cho ta thấy độ thính của tai tuỳ thuộc vào tần số âm. Thực tế cho ta biết tai thính nhất đối với những âm có tần số trong khoảng từ 1000 Hz đến 5000 Hz. Trong khoảng này có thể nghe thấy những âm có cường độ vào khoảng 10^{-12} W/m^2, ở cường độ âm ấy, các phần tử khí dao động âm với biên độ khoảng 10^{-11} m và tạo nên áp suất ở màng nhĩ vào khoảng 10^{-5} N/m^2.

Những âm có cường độ quá nhỏ thì tai không nhận thấy được. Nếu ta tăng dần cường độ âm lên, có một lúc bắt đầu từ đó trở đi, tai nhận thấy âm; tăng cường độ lớn lên nữa thì đến một lúc khác, tai bắt đầu đau chói;nếu tăng cường độ âm lên cao nữa có thể gây nên sự phá hoại cơ quan thính giác.

Nói khác đi, tồn tại những ngưỡng về cường độ âm để gây nên cảm giác. Dưới đây là định nghĩa về các ngưỡng đó:

– Cường độ âm nhỏ nhất đủ gây nên cảm giác âm ta lại gọi giới hạn nghe hay ngưỡng nghe.

– Cường độ âm lớn nhất mà nếu vượt quá cường độ đó sẽ gây nên cảm giác chói tai gọi là ngưỡng chói.



Hình 4.17

http://tieulun.hopto.org

Đối với mỗi người thì ngưỡng nghe, ngưỡng chói có giá trị riêng. Chung cho mọi người là ngưỡng nghe và ngưỡng chói phụ thuộc vào tần số âm. Qua khảo sát thực nghiệm người ta thu được đồ thị biểu diễn ngưỡng nghe và ngưỡng chói phụ thuộc vào tần số âm ở hình (4.17). Trên đồ thị này, đường (a) là ngưỡng nghe, đường (b) là ngưỡng chói; giữa hai đường đó là miền nghe. Một âm nào đó có các thông số không nằm trong miền nghe sẽ không nghe thấy được.

Trục toạ độ có trục tung là cường độ âm, trục hoành là tần số âm; độ chia trên trục tung theo thang lôgarit cơ số 10, độ chia trên trục hoành theo thang lôgarit cơ số 2. Qua đồ thị ta cũng thấy miền nghe rộng nhất ứng với các tần số trong khoảng từ 1000 Hz đến 2500 Hz, tức là tai thính nhất đối với khoảng tần số đó (trong khoảng này giá trị ngưỡng nghe lớn hơn giá trị ngưỡng chói đến 10^{14} lần).

Ta biết rằng khi cường độ âm thay đổi thì cảm giác về độ to cũng thay đổi theo. Định luật Weber - Fechner áp dụng cho quan hệ giữa cảm giác thay đổi độ to và cường độ âm như sau:

"Sự biến thiên độ to của âm tỷ lệ với logarit của tỷ số cường độ hai dao động âm gây ra cảm giác âm".

Gọi L_1 là độ to gây ra do âm có cường độ I_1, L_2 là độ to do âm có cường độ I_2 theo định luật trên thì:

$$L_2 - L_1 = k.\ell g \frac{I_2}{I_1} \qquad (4.41)$$

Để có đơn vị đo độ to một cách xác định người ta quy ước rằng: Lấy âm 1000 Hz, ở ngưỡng nghe cường độ I_o thì độ to $L_o = 0$

Khi ấy một âm bất kỳ với cường độ I sẽ có độ to là:

$$L - L_0 = k.\ell g \frac{I}{I_0} \qquad (4.41')$$

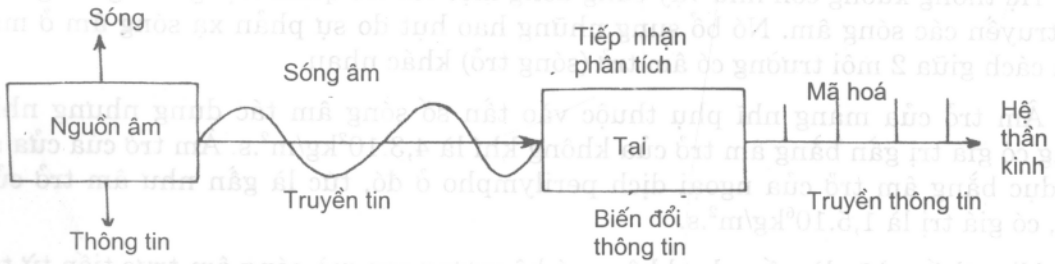
Nếu chọn k = 10 thì L sẽ đo ra đơn vị là phôn hay DeciBell độ to.

Bảng 4.2. Cho biết giá trị cường độ âm và độ to của cảm giác âm một số âm.

Bảng 4.2. Lấy theo giá trị trung bình

Loại âm thanh	Cường độ âm ($\mu W/cm^2$)	Độ to (fôn)
Ngưỡng nghe	10^{-10}	0
Tiếng tim đập (nghe trực tiếp)	10^{-9}	10
Nói thầm	10^{-6}	40
Nói to	10^{-4}	60
Radiô mở to trong phòng	10^{-2}	80
Động cơ mô tô	1	100
Ngưỡng chói	10^{2}	120
Mức gây chết vì âm	10^{8}	180

http://tieulun.hopto.org



Hình 4.18

2. Cơ chế của quá trình nghe (xem hình 4.18).

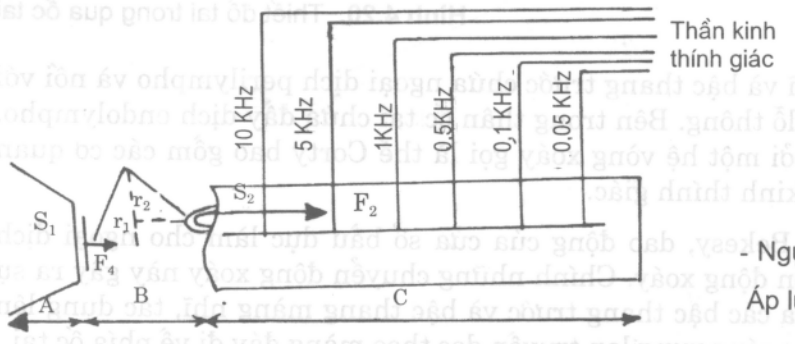
Khi sóng âm truyền đến tai ngoài, sự thay đổi áp suất do dao động làm cho các phần tử của màng nhĩ dao động theo. Dao động đó truyền đến cửa sổ bầu dục của tai giữa, thông qua hệ thống xương con ở đó. Dao động của các phần tử ở cửa sổ bầu dục làm chuyển động ngoại dịch perilympho chứa trong ốc tai. Khi sóng âm có cường độ lớn có thể gây ra những chuyển động xoáy ở ngoại dịch perilympho đó.

Trong quá trình lan truyền sóng âm, hệ thống xương con đóng một vai trò rất quan trọng. Nó vừa có tác dụng khuếch đại áp lực âm thanh vừa bảo vệ tai trong trước những âm có cường độ lớn.

Để khuếch đại được áp lực âm thanh, hệ xương con hoạt động như một đòn bẩy. Trên hình 4.19, ta thấy: tại cửa sổ bầu dục có lực tác dụng F_2 và lực F_1 tác dụng ở màng nhĩ. Cánh tay đòn ở hệ đòn bẩy này là $\frac{r_1}{r_2} = 1{,}3$

Ta biết $F_2 = \frac{r_1}{r_2} F_1$

Ngoài ra diện tích S_2 của cửa sổ bầu dục nhỏ hơn 17 lần so với diện tích S_1 của màng nhĩ. Vì vậy áp lực âm thanh tác dụng lên cửa sổ bầu dục sẽ lớn hơn 17 lần áp lực âm thanh tác dụng lên màng nhĩ. Tổng hợp lại ta có áp lực âm thanh ở phía sau hệ xương con (ở cửa sổ bầu dục) sẽ lớn hơn ở phía trước hệ xương con nơi tiếp giáp với màng nhĩ: 17 x 1,3 = 22 lần. Người ta cho rằng dù bị hao hụt năng lượng do ma sát sự khuếch đại đó cũng đạt được rất lớn, gần 20 lần.



Hình 4.19. Sơ đồ đơn giản hoá tai

http://tieulun.hopto.org

Hệ thống xương con như vậy cũng đóng một vai trò quan trọng trong công việc dẫn truyền các sóng âm. Nó bổ sung những hao hụt do sự phản xạ sóng âm ở mặt ngăn cách giữa 2 môi trường có âm trở (sóng trở) khác nhau.

Âm trở của màng nhĩ phụ thuộc vào tần số sóng âm tác dụng nhưng nhìn chung có giá trị gần bằng âm trở của không khí là $4{,}3.10^2 kg/m^2.s$. Âm trở của cửa sổ bầu dục bằng âm trở của ngoại dịch perilympho ở đó, tức là gần như âm trở của nước, có giá trị là $1{,}5.10^6 kg/m^2.s$.

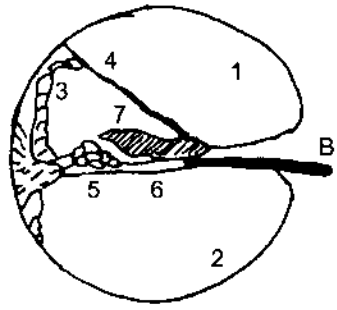
Như thế nghĩa là nếu như không có hệ xương con mà sóng âm trực tiếp từ tai ngoài tác dụng vào cửa sổ bầu dục thì 99,9% năng lượng sóng âm bị phản xạ mà chỉ còn khoảng 0,1% được lan truyền vào đến ngoại dịch perilympho (theo công thức 4.31).

Tác dụng bảo vệ tai trong của hệ xương con khi gặp những âm có cường độ lớn là sự chuyển đổi từ dao động sóng dọc sang chuyển động xoáy của ngoại dịch perilympho của hệ xương con.

Quá trình tiếp nhận và cảm thụ âm thanh ở tai trong xảy ra phức tạp hơn nhiều. Ở đây màng đáy đóng vai trò rất quan trọng. Những nghiên cứu về màng đáy của Helmholtz và nghiên cứu cơ chế cảm thụ âm thanh của Bekesy gần đây đã làm sáng tỏ hơn cơ chế lý sinh thính giác.

Cấu tạo chính của tai trong là ốc tai. Ốc tai có chiều dài khoảng 35 mm. Chiều dài có được ngăn thành 3 khung gọi là 3 bậc thang và được ngăn cách nhau bằng những màng (hình 4.20). Màng đáy ngăn cách giữa bậc thang màng nhĩ và bậc thang ốc tai. Màng trước ngăn cách bậc thang ốc tai và bậc thang trước.

1. Bậc thang trước
2. Bậc thang màng nhĩ
3. Bậc thang ốc tai
4. Màng trước
5. Màng đáy
6. Thể Corty
7. Màng phủ
8. Thần kinh thính giác



Hình 4.20. Thiết đồ tai trong qua ốc tai

Bậc thang màng nhĩ và bậc thang trước chứa ngoại dịch perilympho và nối với đỉnh của ốc tai bằng một lỗ thông. Bên trong thân ốc tai chứa đầy dịch endolympho. Màng đáy được cấu tạo bởi một hệ vòng xoáy gọi là thể Corty bao gồm các cơ quan cảm thụ của tế bào thần kinh thính giác.

Theo lý thuyết của Bekesy, dao động của cửa sổ bầu dục làm cho ngoại dịch perilympho dưới đó chuyển động xoáy. Chính những chuyển động xoáy này gây ra sự khác nhau về áp suất giữa các bậc thang trước và bậc thang màng nhĩ, tác dụng lên màng đáy. Từ đó tạo ra các sóng xung lan truyền dọc theo màng đáy đi về phía ốc tai.

http://tieulun.hopto.org

Mỗi sóng âm với một tần số nhất định tác dụng vào một vị trí xác định trên màng đáy và kích thích những receptor nhất định ở thể Corty. Âm tần số càng cao thì vị trí kích thích càng gần đỉnh tốc tai (cửa sổ bầu dục). Ở đó màng rất căng và hẹp. Âm càng có tần số thấp thì kích thích các vị trí càng ở gần với đầu đối diện.

Bằng cơ chế đó, tai phân tích tần số sóng âm tới kích thích. Các xung kích thích được mã hoá và truyền về một vị trí nhất định ở vỏ não bởi những tơ thần kinh xác định. Với những âm phức hợp thì tạo ra sự kích thích ở nhiều điểm hơn và do vậy gây ra cảm giác khác nhau về âm sắc.

Cường độ sóng âm ảnh hưởng đến biên độ dao động ở cửa sổ bầu dục và vận tốc của chuyển động xoáy của ngoại dịch perilympho.

Cho đến nay người ta chưa hiểu rõ hết bản chất của quá trình mã hoá các sóng xung kích thích của âm để dẫn truyền vào các tế bào thần kinh thính giác. Các nghiên cứu về điện sinh học ở cơ quan thính giác xác nhận rằng cơ chế của quá trình mã hoá thông tin ở đây cũng là làm xuất hiện điện thế hoạt động. Ở đây người ta gọi là các điện thế âm thanh. Điện thế âm thanh quyết định cả tần số và cường độ âm. Ngày nay bằng các vi điện cực người ta đã ghi đo được giá trị của các điện thế âm thanh đó. Điện thế âm thanh là kết quả của tất cả các quá trình xảy ra khi ốc tai tiếp nhận âm. Một điều đáng chú ý là điện thế giữa endolympho và perilympho có giá trị khoảng 80 mV. Điện thế đó thể hiện điện thế nghỉ ở tai trong. Khi màng đáy bị kích thích như đã giải thích ở trên, xuất hiện những sự thay đổi về điện trở và tính thấm của màng tế bào ở đây và làm xuất hiện hiệu điện thế hoạt động.

V. ỨNG DỤNG ÂM VÀ SIÊU ÂM TRONG Y SINH HỌC

1. Phương pháp âm trong chẩn đoán bệnh

1.1. Chẩn đoán gõ

Khi gõ vào các vị trí tương ứng của các tạng (tim, phổi, gan ...) trên lồng ngực hay trên thành bụng, các tạng này sẽ dao động và phát ra âm. Dựa vào âm phát ra chúng ta có thể xác định được vị trí, kích thước của chúng. Cũng có thể đánh giá chúng bình thường hay có bệnh do sự thay đổi về âm sắc và độ cao.

Ta có thể dùng ngón tay hay một dùi nhỏ gõ trực tiếp trên da bệnh nhân, ở vùng tương ứng với các phủ tạng cần chẩn đoán. Phương pháp này ít dùng vì những chấn động gõ thường bị tắt dần sau khi đi qua các lớp da, mô cơ ... do đó chúng chỉ làm cho các tạng đó dao động với biên độ nhỏ, âm phát ra quá nhỏ, khó nghe.

Chúng ta thường gõ qua ngón tay hoặc qua thanh gỗ mỏng đặt sát vào nơi muốn gõ. Tuỳ theo bệnh nhân và yêu cầu chẩn đoán, chúng ta phải gõ với mức độ mạnh nhẹ khác nhau: gõ mạnh đối với bệnh nhân quá béo, với trẻ em phải gõ nhẹ.

Thường chúng ta gõ với mức độ trung bình vì gõ như thế cũng đủ làm cho các tạng ở sâu dưới da 5 cm dao động và dao động này có thể lan truyền trên một diện tích từ 4 đến 6cm^2. Khi muốn tìm giới hạn của một tạng nào hay nghiên cứu một phần của tạng đó, cần phải gõ nhẹ.

http://tieulun.hopto.org

Âm phát ra khi gõ cần phải phân tích một cách tỉ mỉ về cường độ, độ cao, âm sắc ... Như thế mới nhận được các thay đổi nhỏ của âm, phân biệt được các trường hợp bệnh lý và bình thường. Thí dụ như âm phát ra khi gõ vào phổi của một người bình thường có tần số cao, âm sắc phong phú (có nhiều họa âm) cường độ lớn, thời gian dư âm dài. Âm phát ra khi gõ những tạng đặc hoặc phổi bị vôi hoá, màng phổi bị tràn dịch, ... có tần số thấp (tiếng nghe đục), cường độ nhỏ, thời gian dư âm ngắn, Còn âm ở ổ bụng, dạ dày phát ra có tần số cao song âm sắc nghèo nàn (hầu như không có hoạ âm).

1.2. Chẩn đoán nghe

Đó là phương pháp nghiên cứu những âm từ cơ thể phát ra như của tim, phổi để định bệnh.

Các âm từ cơ thể phát ra thường có tần số không vượt quá 1000 Hz. Âm ở phổi do không khí qua lại khí quản, cuống phổi và mô phổi sinh ra. Cường độ, của âm này mạnh hay yếu là do hô hấp nông hay sâu, độ cao của âm tỷ lệ nghịch với tiết diện khí quản, cuống phổi. Khi khí quản; cuống phổi hẹp hay chứa các dịch nhầy do một quá trình bị bệnh nào đấy thì âm phổi sẽ thay đổi; có thể dựa vào sự thay đổi đó mà chẩn bệnh.

Âm phát ra ở tim biến đổi do nhiều yếu tố: tình trạng các van tin, vận tốc của máu, độ nhớt của máu, miệng của các van (tức là các lỗ trong tim mà các van đó đậy lại ...)

Bảng 4.3 cho biết liên hệ giữa tần số và tỉ lệ năng lượng của âm phát ra từ một tim bình thường.

Bảng 4.3

Tần số	Năng lượng
50 - 60 Hz	56%
60 - 70	27%
70 - 80	10%
80 - 90	4%
90 - 100	2%
100 - 110	1%

Để nghe các âm phát ra từ trong cơ thể, người ta dùng ống nghe (stétoscope). Ống nghe gồm 2 dây cao su mềm hình trụ có tác dụng truyền âm, nối với một hộp bằng sắt hình trụ bẹt, mặt có căng một màng mỏng đóng vai trò một hộp cộng hưởng. Hộp cộng hưởng có khi là một loa hình phễu không có màng căng. Mặt của hộp cộng hưởng đặt áp sát da (nơi muốn nghe), dao động âm của cơ thể truyền tới được hộp này được khuếch đại, sau đó sẽ qua các dây truyền âm để tới tai.

Tần số dao động riêng của màng căng tỉ lệ thuận với độ căng của màng. Các dao động âm từ cơ thể tới màng sẽ làm màng dao động mạnh nhất (cộng hưởng) nếu tần số của chúng trùng với tần số dao động riêng của màng.

http://tieulun.hopto.org

Nếu dùng loa để nghe, thì chỗ da bệnh nhân bị loa ép vào sẽ căng ra và đóng vai trò của một màng căng. Chúng ta có thể điều chỉnh sức ép của loa vào da để độ căng của da đó có tần số dao động riêng trùng với tần số của âm muốn nghiên cứu, nhờ đó chúng ta có thể nghe âm này rõ hơn các âm khác, (thường còn dùng cách này khi âm muốn nghiên cứu bị các âm khác che lấp).

1.3. Phép thử Rinnơ (Rhinner)

Mục đích phép thử này để xác định tổn thương ở vùng nào của cơ quan thính giác: ở tai ngoài, tai giữa, tai trong hoặc não.

Phép thử này dựa vào nhận xét như sau: Những dao động âm có thể truyền qua xương sọ tới những tận cùng của thần kinh thính giác... và cho chúng ta cảm giác âm; do đó dù rằng tai ngoài và tai giữa hỏng âm rồi âm vẫn truyền qua xương và gây cảm giác được.

Nếu ta đặt một âm thoa đang dao động gần tai bệnh nhân sau đó để bệnh nhân cắn đuôi âm thoa đó (dao động của âm thoa lúc này cũng có biên độ giống lúc trước). Nếu lúc đầu bệnh nhân còn nghe được âm, lúc sau không được thì dấu hiệu Rhinner là dương, nếu ngược lại ta có dấu hiệu Rhinner âm.

Một chứng điếc có dấu hiệu Rhinner dương chứng tỏ một tổn thương ở tai trong hoặc não. Nếu dấu hiệu Rhinner âm thì tổn thương chỉ khu trú ở tai ngoài hay tai giữa.

2. Ứng dụng của siêu âm trong ngành y

2.1. Ứng dụng siêu âm trong điều trị

Do có tần số rất lớn (bước sóng bé) nên khi lan truyền ít bị nhiễu xạ, truyền tương đối thẳng và ta có thể làm chùm siêu âm hội tụ lên những vị trí cần thiết bằng các dạng đặc biệt của đầu phát siêu âm. Khi truyền qua môi trường, do môi trường có ma sát và hấp thu nhiệt nên cường độ của siêu âm giảm theo quy luật.

$$I = I_o e^{-\alpha x} \qquad (4.25)$$

trong đó I_o là cường độ lúc bắt đầu vào môi trường, I là cường độ lúc ra khỏi môi trường nếu môi trường có chiều dày x, còn α là hệ số hấp thụ của môi trường, e là cơ số lôgarit tự nhiên bằng 2,71828.

Qua thực nghiệm người ta thấy α tỉ lệ với bình phương tần số υ tỷ lệ nghịch mật độ trong môi trường và lập phương vận tốc nhỏ (4.37) nên siêu âm bị hấp thụ nhiều trong không khí, đồng thời do mặt phân giới giữa môi trường nào đó với môi trường không khí phản xạ nhiều sóng siêu âm nên khi điều trị hoặc chẩn đoán dùng siêu âm người ta để đầu phát siêu âm sát da và ở trên da phải bôi một lớp dầu, hoặc ngâm cả đầu phát siêu âm lẫn bộ phận cần điều trị vào nước. Sự hấp thụ năng lượng siêu âm của môi trường thể hiện bằng sự tăng nhiệt độ. Mức tăng của

http://tieulun.hopto.org

nhiệt độ phụ thuộc vào tỉ nhiệt môi trường, nhiệt độ môi trường ngoài... Lợi dụng đặc tính này người ta dùng siêu âm làm dãn các mạch máu ngoại biên để tăng cường tính thẩm thấu của tế bào biểu bì, do đó có tác dụng chống viêm.

Lúc qua mặt phân giới giữa hai môi trường, siêu âm tạo nên sức ép vào mặt này. Sức ép tỉ lệ thuận với năng lượng của luồng siêu âm đi tới, vào khoảng $1G/cm^2$. Vì vậy khi nhúng đầu phát siêu âm vào nước, siêu âm có thể làm nước bắn lên cao tới vài cm. Nhờ có sức ép này các tổ chức nông của cơ thể bị chấn động, đó là một cách xoa bóp tế vi, một tác dụng rất quí trong điều trị chứng viêm tế bào.

Siêu âm là sóng dọc, khi truyền nó làm biến dạng nén dãn môi trường: có vị trí mật độ môi trường lớn vì các phần tử bị ép lại; có vị trí mật độ môi trường nhỏ vì các phần tử dãn cách nhau xa. Khi công suất máy phát lớn, tại nơi mật độ môi trường lớn, áp suất nén có thể tới hàng vạn atmôphe; còn tại nơi mật độ nhỏ các phần tử bị dãn ra với "áp suất dãn" có trị số tương tự. Lực dãn các phân tử như vậy đủ lớn để thắng lực hút giữa các phân tử, môi trường khi ấy tự đứt và tạo thành lỗ vi mô. Nếu quá trình này xảy ra trong nước thì những lỗ này sẽ bị hơi nước hoặc các khí hoà tan choán đầy. Hiện tượng tạo thành lỗ đóng một vai trò quan trọng, gắn liền các hiện tượng điện, điện hoá... được áp dụng trong nhiều ngành. Do hiện tượng tạo thành lỗ, các tế bào sống đặc biệt là hồng cầu và trích trùng có thể bị vỡ. Trong y học dùng hiện tượng tạo thành lỗ để chống đông máu, diệt trùng.

Vì siêu âm truyền qua được các mô trong cơ thể, làm cho các tế bào bị chấn động, cơ thể hấp thu của siêu âm một nhiệt lượng đáng kể nên người ta dùng nó để chữa một số bệnh, chẳng những ở ngoài da mà còn cả ở trong sâu.

Những bệnh chữa bằng siêu âm có hiệu quả nhất là các chứng đau các dây thần kinh, đặc biệt là dây thần kinh toạ, thấp khớp...

Ta cần chú ý rằng siêu âm với tần số thường dùng cao (υ.>100.000 Hz) chỉ qua một lớp không khí mỏng đã bị ngăn lại, do đó người ta bôi dầu lên da để làm môi trường trung gian giữa da và đầu phát siêu âm thay cho không khí.

Lưu ý không dùng siêu âm điều trị cho những người đang có thai, đang bị lao, bị sốt và ở trẻ em.

Gần đây người ta đã bắt đầu dùng những sóng siêu âm có cường độ lớn ($1,4 \times 10^7$ W/m^2) để phá huỷ các tổ chức bệnh trong sâu như sỏi thận, u tuyến v. v...

2.2. Ứng dụng siêu âm vào chẩn đoán

Siêu âm được ứng dụng vào chẩn đoán bệnh là nhờ các đặc điểm sau:

– Có thể tạo ra chùm siêu âm song song hoặc hội tụ vào một khoảng nhỏ, hoặc phân kỳ.

– Chùm siêu âm song song truyền qua môi trường, bị môi trường hấp thụ, cường độ giảm theo qui luật:

$$I = I_o.e^{-\alpha x} \qquad (4.42)$$

http://tieulun.hopto.org

Chùm siêu âm gặp mặt phân giới giữa hai môi trường sẽ phản xạ. Khi hai môi trường có âm trở (Z = ρ.v) rất khác nhau thì sự phản xạ lại càng mạnh.

Thí dụ: Biểu thức :

$$\frac{a_p}{a_t} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad (4.29)$$

cho ta liên hệ biên độ sóng phản xạ, sóng tới (vuông góc mặt phân giới) với âm trở hai môi trường.

Sau đây là giá trị âm trở của một số vật chất hay gặp:

Không khí:	429 kg/cm^2.s
Nước:	1,48 x 106 kg/m^2.s
Mô mềm của cơ thể người:	1,6 x 10^{6}kg/m^2.s
Mô xương:	1,62.106kg/m^2.s
Máu và não:	1,56.106kg/m^2.s
Mô mỡ:	1,40.106 kg/m^2.s

Hệ số phản xạ ở mặt ngăn cách của sóng siêu âm giữa hai môi trường có âm trở Z_1 và Z_2 theo (4.29) sẽ là:

$$R = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Hệ số R đo giữa nước (mô mềm cơ thể...) và không khí là 0,99. Như thế nghĩa là hầu hết năng lượng (99%) của chìm siêu âm đã bị phản xạ và chỉ 1% được lan truyền tiếp tục. Hệ số R cũng khá lớn giữa xương và mô mềm, phổi và mô, v.v...

– Chùm siêu âm gặp vật di chuyển, có thể ứng dụng hiệu ứng Doppler để xác định vận tốc theo hiệu tần số phát và thu (cùng một đầu dò phát - thu) theo công thức (4.35).

– Tác động của siêu âm lên tế bào không gây nên các đột biến di truyền nên dùng cho phụ nữ có thai, thai nhi... đỡ nguy hiểm hơn tia X nhiều lần.

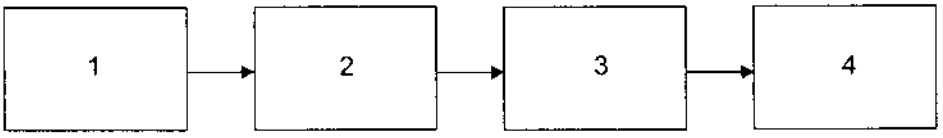
Trên thực tế dùng siêu âm trong chẩn đoán theo 2 hướng chính sau:

a) Chẩn đoán bằng hình ảnh siêu âm

Sơ đồ nguyên lý cách tạo hình ảnh siêu âm để chẩn đoán bệnh như sau:

- Hình ảnh tạo nên nhờ chùm siêu âm truyền qua tương tự như tạo ảnh X quang trong chẩn đoán.

http://tieulun.hopto.org



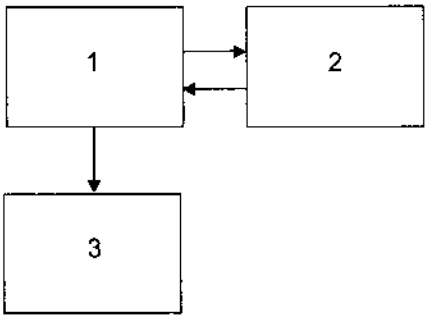
1. Đầu và máy phát siêu âm.

2. Đối tượng khảo sát.

3. Đầu và máy thu siêu âm đã truyền qua đối tượng.

4. Bộ biến đổi tín hiệu siêu âm thành hình ảnh.

• Hình ảnh tạo nên nhờ chùm siêu âm phản xạ từ các mặt phân giới đối tượng khảo sát với môi trường xung quanh.



1. Máy và đầu phát - thu siêu âm.

2. Đối tượng khảo sát.

3. Bộ biến đổi tín hiệu siêu âm thành hình ảnh và ghi lại.

Áp dụng nguyên lý này vào chẩn đoán, người ta còn chia ra các kiểu:

Sóng xung phản xạ kiểu A (A - Scope): Đó là phương pháp ghi đo sóng phản xạ trên một bình diện. Đầu phát sóng được hướng vào vùng đo. Khi gặp phải vật hoặc môi trường có âm trở khác sẽ phát sóng xung phản xạ. Các sóng xung đó được biến thành xung điện và được ghi lại hoặc hiện lên màn huỳnh quang.

Chúng được thể hiện thành từng dấu hiệu hình parabol ngược có độ cao, độ rộng hẹp khác nhau. Căn cứ vào các đặc điểm của sóng xung và thời gian (khoảng cách) xuất hiện mà ta chẩn đoán được bệnh. Phương pháp này đơn giản, rẻ nhưng khó phân tích, nếu trên đường đi của sóng âm có nhiều lớp vật chất có âm trở khác nhau.

Phương pháp này hay được dùng để tìm dị vật, các ổ áp xe, tụ máu trong não, trong khoa phụ sản.

– Sóng xung phản xạ kiểu B (B - scope): Đó là phương pháp xung phản xạ trên 2 bình diện, phức tạp hơn kiểu A nhiều. Các sóng xung phản xạ được thể hiện bằng những chấm có độ sáng khác nhau tuỳ thuộc cường độ sóng xung phản xạ kiểu B được áp dụng rộng rãi hơn kiểu A trong chẩn đoán các bệnh của gan, mật, mắt, sọ não, tim v.v...

http://tieulun.hopto.org

Ngoài ra còn siêu âm chẩn đoán kiểu TM (từ chữ Anh Time - Motion) hay còn gọi là kiểu M. Đây là những nghiên cứu cấu trúc các mô tạng ở trạng thái động (tim, mạch v.v...) là cơ sở của phương pháp chụp cắt lớp bằng siêu âm.

Trong việc dùng siêu âm vào chẩn đoán, để tránh cho chùm siêu âm bị không khí hấp thụ và gây phản xạ ngay trên mặt da, giữa đầu dò siêu âm (phát và thu) và da người bệnh, người ta hay bôi đệm một lớp dầu (ví dụ dầu paraphin lanolin có âm trở Z giống như của cơ thể, nên áp đầu dò vào da đầu, ta loại được lớp không khí len giữa, nên loại được phản xạ).

Việc chẩn đoán bằng hình ảnh siêu âm đã có nhiều tiến bộ vượt bậc trong thời gian gần đây đặc biệt tác dụng khi đối tượng rất khó phát hiện bằng hình ảnh do tia X tạo ra (thí dụ mảnh đạn bằng nhựa chứ không phải kim loại).

b) Chẩn đoán chức năng dựa vào hiệu ứng Doppler

Phương pháp này thường dùng để chẩn đoán các bệnh của tuần hoàn ngoại biên như viêm tắc động mạch, tĩnh mạch, xoang, rò động mạch... Thí dụ: có thể thăm khám các mạch máu lớn bằng hiệu ứng Doppler $\Delta\upsilon$ có thể biểu hiện bằng một đường cong phản ánh tốc độ tức thời của máu tại nơi thăm khám. Ở trạng thái bình thường mỗi mạch máu có một đường cong đặc trưng liên quan rõ rệt với đường kính cũng như vùng tưới máu của nó.

http://tieulun.hopto.org

CHƯƠNG 5

ÁNH SÁNG VÀ CƠ THỂ SỐNG

Nguyễn Hữu Trí
Nguyễn Văn Thiện
Nguyễn Thanh Thuỷ

Nguồn năng lượng chủ yếu của muôn vật trên trái đất là từ bức xạ mặt trời. Dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời, sự sống đã phát sinh, duy trì và phát triển.

Ánh sáng mang lại các thông tin từ môi trường sống cho sinh vật nói chung và con người nói riêng. Các quy luật quang hình học áp dụng khá chính xác cho việc giải thích sự tạo ảnh ở võng mạc.

Để tồn tại và tiến hoá, sinh vật thu nhận năng lượng từ ánh sáng mặt trời rồi chuyển hoá nó sang các dạng năng lượng khác cần thiết cho sự sống qua các phản ứng đặc hiệu. Các phản ứng này tạo thành một chuỗi trong cơ thể, dẫn tới những hiệu ứng sinh học. Những phản ứng có sự tham gia của ánh sáng được gọi là những phản ứng quang sinh. Cơ chế của những phản ứng quang sinh vô cùng phức tạp vì phần lớn xảy ra ở mức độ phân tử, nguyên tử.

Trong những năm gần đây nhờ ứng dụng rộng rãi những thành quả của cơ học lượng tử và hoá lượng tử, nhờ sự phát triển của những ngành khoa học kỹ thuật chính xác, chúng ta đã phần nào tìm hiểu được những cơ chế cơ bản của các phản ứng quang sinh.

I. QUANG HÌNH HỌC

Quang hình học là một phần quang học, sử dụng phương pháp gần đúng coi các tia sáng là riêng rẽ, độc lập với nhau và tuân theo các định luật phản xạ, khúc xạ để khảo sát sự tạo ảnh qua các hệ quang học.

Khái niệm về tia sáng hình thành từ một chùm sáng thực, truyền qua một lỗ hẹp. Ta cứ tưởng rằng nếu lỗ càng hẹp thì chùm sáng càng gần với tia sáng. Nhưng khi nghiên cứu hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng ta lại thấy rằng, lỗ hẹp đến một mức nào đó thì chùm sáng qua lỗ chẳng những không bị thu hẹp lại mà trở nên rộng ra. Vì vậy, không thể bằng cách giảm kích thước lỗ để tách riêng biệt một tia sáng, do đó tia sáng chỉ là một khái niệm toán học, không phải là một khái niệm vật lý. Tuy nhiên, một chùm sáng song song đủ hẹp có thể coi gần đúng là một tia sáng.

http://tieulun.hopto.org

1. Các định luật cơ bản của quang hình học

1.1. Định luật về sự truyền thẳng của ánh sáng

Định luật này phát biểu như sau: "Trong một môi trường trong suốt, đồng tính và đẳng hướng ánh sáng truyền theo đường thẳng".

Khi nghiên cứu hiện tượng nhiễu xạ ta sẽ thấy định luật này có phạm vi ứng dụng của nó. Lúc ánh sáng truyền qua những lỗ thật nhỏ hoặc gặp những chướng ngại vật kích thước nhỏ vào cỡ bước sóng ánh sáng thì định luật trên không đúng nữa.

1.2. Định luật về tác dụng độc lập của các chùm tia sáng

Định luật này được phát biểu: tác dụng của các chùm tia sáng khác nhau thì độc lập với nhau. Điều đó có nghĩa là tác dụng của một chùm tia sáng này không phụ thuộc vào sự có mặt của các chùm tia sáng khác.

Định luật này cũng chỉ gần đúng. Khi lỗ khá nhỏ, độ rọi ở một điểm trên màn có thể thay đổi rõ rệt tuỳ theo kích thước của lỗ vì các chùm sáng không còn độc lập với nhau mà có thể giao thoa với nhau, do đó tăng cường lẫn nhau hoặc làm yếu nhau. Tính độc lập của các chùm tia sáng còn bị phá vỡ khi có sự giao nhau, xảy ra sự giao thoa giữa hai chùm. Tuy nhiên, khi tạo ảnh nhờ các quang cụ, chúng ta thường sử dụng chùm sáng rộng vì khi tạo ảnh thì không có giao thoa hay đúng hơn là sự giao thoa khi đó cho ta ảnh điểm của từng vật. Vì vậy trong quang cụ ta hoàn toàn có thể áp dụng định luật về sự độc lập của các chùm tia.

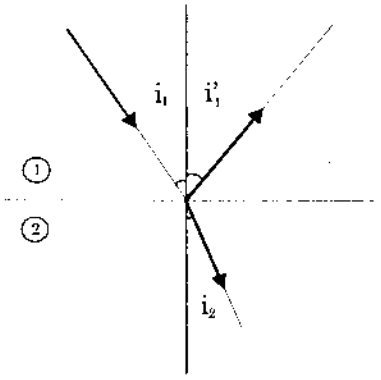
1.3. Định luật phản xạ ánh sáng

Nếu tia sáng truyền từ môi trường quang học này sang môi trường quang học khác thì tại mặt phân giới của hai môi trường, tia sáng bị phản hoàn toàn hay một phần và tuân theo định luật phản xạ ánh sáng sau đây:

– Tia tới và tia phản xạ cùng nằm trong mặt phẳng với pháp tuyến của mặt phản xạ vẽ từ điểm tới.

– Góc phản xạ bằng góc tới $i_1 = i'_1$

– Tia tới và tia phản xạ có tính thuận nghịch (hình 5.1).



Hình 5.1

1.4. Định luật khúc xạ ánh sáng

Nếu một tia sáng tới mặt phân giới của hai môi trường đẳng hướng mà truyền sang môi trường thứ hai thì nó tuân theo định luật khúc xạ ánh sáng sau đây:

– Tia tới và tia khúc xạ nằm trong cùng một mặt phẳng với pháp tuyến của mặt phân giới vẽ từ điểm tới.

http://tieulun.hopto.org

– Tỷ số giữa sin của góc tới và sin của góc khúc xạ là một đại lượng không đổi đối với hai môi trường quang học cho trước:

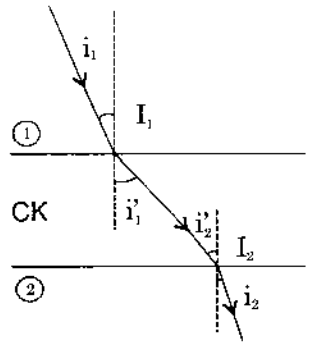
$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}$$

Đại lượng n_{21} được gọi là chiết suất tỷ đối của môi trường thứ hai đối với môi trường thứ nhất.

Nhận xét :

a) Chiết suất của môi trường so với chân không (ck) được gọi là chiết suất tuyệt đối của môi trường đó (thường đơn giản gọi là chiết suất).

Đặt $n_{10} = n_1$, $n_{20} = n_2$ ta có thể dễ dàng tìm mối liên hệ giữa chiết suất tỷ đối n_{21} của hai môi trường với chiết suất tuyệt đối n_1 và n_2 của chúng (hình 5.2).



Hình 5.2

$$\frac{\sin i'_1}{\sin i_1} = n_{10} = n_1$$

$$\frac{\sin i'_2}{\sin i_2} = n_{20} = n_2 \quad \text{hay} \quad \frac{\sin i'_1}{\sin i_2} = n_{20} = n_2$$

Chia 2 biểu thức trên cho nhau ta có:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \qquad (5.3)$$

Thực tế nếu đẩy môi trường 2 lại gần môi trường 1, khi tiếp sát nhau thì I_1 trùng I_2.

Vậy chiết suất tỷ đối của hai môi trường bằng tỷ số giữa các chiết suất tuyệt đối của chúng. Môi trường có chiết suất tuyệt đối lớn hơn gọi là môi trường chiết quang hơn.

Có thể viết biểu thức (5.3) dưới dạng đối xứng như sau:

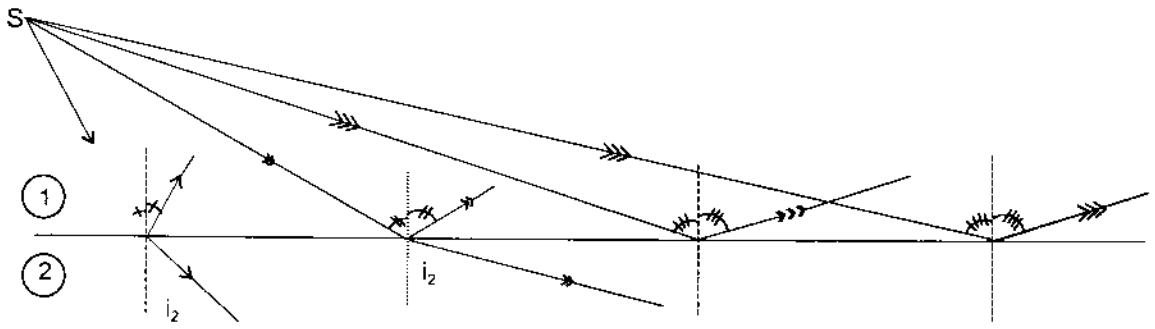
$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \qquad (5.4)$$

b) Từ công thức ta thấy rằng khi một tia sáng truyền từ một môi trường (1) chiết quang hơn vào môi trường (2) kém chiết quang hơn thì tia khúc xạ bị lệch xa pháp tuyến của mặt phân giới hơn (hình 5.3) càng tăng góc tới i_1, góc khúc xạ i_2 càng tăng nhanh và khi i_1 đạt đến giá trị:

$$i_{gh} = \arcsin\frac{n_2}{n_1}$$

Thì $i_2 = \pi/2$

http://tieulun.hopto.org



Hình 5.3

Góc i_{gh} được gọi là góc giới hạn. Theo định luật bảo toàn năng lượng, năng lượng của chùm tia tới được phân bố cho chùm tia phản xạ và chùm tia khúc xạ. Khi góc tới càng tăng thì cường độ của chùm tia phản xạ càng tăng và cường độ của chùm tia khúc xạ càng giảm và giảm đến O khi góc tới bằng góc giới hạn.

Khi góc tới lớn hơn góc giới hạn, ánh sáng không đi vào môi trường thứ hai, cường độ của chùm tia phản xạ bằng cường độ của chùm tia tới. Hiện tượng này được gọi là sự phản xạ toàn phần và nó được dùng rộng rãi trong các dụng cụ quang học để tạo ra tia phản xạ cần thiết và để làm ống dẫn ánh sáng.

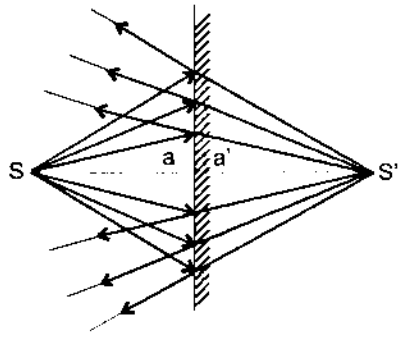
2. Các dụng cụ quang học

2.1. Gương phẳng

Là một phần mặt phẳng, phản xạ được hầu như hoàn toàn ánh sáng chiếu tới nó.

Chùm sáng phân kỳ từ nguồn sáng điểm S sau khi phản xạ trên gương phẳng (hình 5.4) vẫn là một chùm sáng phân kỳ.

Điểm S' là ảnh ảo của nguồn điểm S vì nó được tạo ra bởi phần kéo dài của chùm tia phản xạ chứ không phải chính chùm tia phản xạ. Đường SS' vuông góc với mặt phẳng gương và a = a' trong đó a và a' lần lượt là khoảng cách từ nguồn điểm S và ảnh S' của nó tới gương.



Hình 5.4

Kích thước hình học của nguồn sáng và ảnh của nó là như nhau vì ảnh của một vật đối xứng với vật qua gương.

2.2. Bản mặt song song

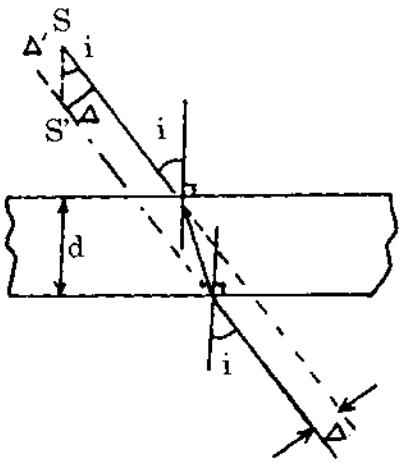
Đối với bản mặt song song (hình 5.5) góc tới và góc ló của các tia sáng là bằng nhau. Bản mặt song song làm dịch chuyển tia sáng song song với chính tia sáng đó một khoảng Δ.

http://tieulun.hopto.org

$$\Delta = d \sin i \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right) \qquad (5.6)$$

Trong đó d là chiều dày bản; i là góc tới của tia sáng đó, n là chiết suất tỉ đối của vật liệu làm bản đối với môi trường chứa bản.

Vì vậy khi nhìn qua bản mặt song song sẽ thấy điểm S của vật hình như nằm tại điểm S' (điểm S' chính là ảnh ảo của điểm S khi nhìn qua bản) tức S' có vẻ gần với bề mặt của bản hơn S một khoảng:



Hình 5.5

$$\Delta' = \frac{\Delta}{\sin i}$$

Hoặc

$$\Delta' = d \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i}{n^2 - \sin^2 i}} \right) \qquad (5.6)$$

Khi góc tới i ≈ 0 thì Δ ≈ 0 và $\Delta' \approx d\frac{n-1}{n}$. Tính đồng qui của chùm tia được bảo toàn khi chùm tia tới lệch với pháp tuyến của bản những góc nhỏ.

2.3. Lăng kính

Lăng kính ba mặt là một khối đồng nhất trong suốt được giới hạn bởi từng cặp mặt phẳng làm với nhau một góc nào đó. Các mặt phẳng này được gọi là mặt lăng kính. Góc giữa hai mặt lăng kính là góc chiết quang của lăng kính. Giao tuyến của hai mặt là cạnh lăng kính. Mặt đối diện với cạnh là đáy lăng kính.

Bây giờ ta sẽ dùng định luật khúc xạ ánh sáng để khảo sát sự truyền của tia sáng qua lăng kính.

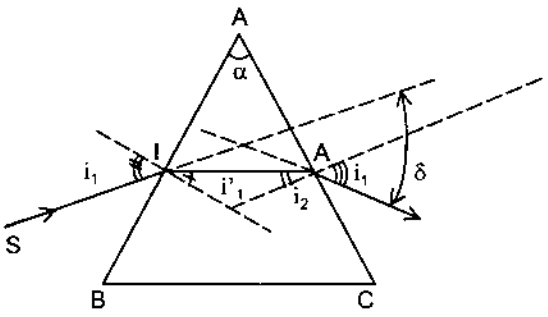
Giả sử tia SI đập vào mặt AB của lăng kính bị khúc xạ và truyền theo phương II' nằm trong tiết diện ABC của lăng kính. Đến I' tia sáng lại bị khúc xạ tại mặt AC và ra khỏi lăng kính.

Như vậy sau hai lần bị khúc xạ tại hai mặt AB và AC tia sáng đi ra khỏi lăng kính đã bị lệch so với phương của tia tới một góc δ nào đó, gọi là góc lệch (hình 5.6). Độ lớn của góc lệch δ có liên hệ với góc tới i_1, góc khúc xạ i_2 của tia ra khỏi lăng kính và góc chiết quang α bởi hệ thức:

$$\delta = i_1 + i_2 - \alpha \qquad (5.7)$$

http://tieulun.hopto.org

Nếu ta thay đổi góc tới i_1 dần dần cho đến khi tia tới và tia ra khỏi lăng kính đối xứng với nhau qua mặt phẳng phân giác của góc chiết quang A, thì góc lệch δ sẽ có giá trị cực tiểu ($\delta = \delta_{min}$). Khi đó trên hình 5.6 ta có AI = AI' và $i_1 = i_2 = i$.



Hình 5.6

Từ (5.7) ta có:

$$\sin i = \sin\frac{\delta_{min} + \alpha}{2}$$

Nhưng theo định luật khúc xạ ánh sáng thì sin i = n sin i';

trong đó $i' = i'_1 = i'_2$ do đó:

$$n \sin i' = \sin\frac{\delta_{min} + \alpha}{2} \qquad (5.8)$$

Theo hình vẽ thì $i' = \alpha/2$ cho nên (5.8) được viết lại là:

$$n \sin\frac{\alpha}{2} = \sin\frac{\delta_{min} + \alpha}{2} \qquad (5.9)$$

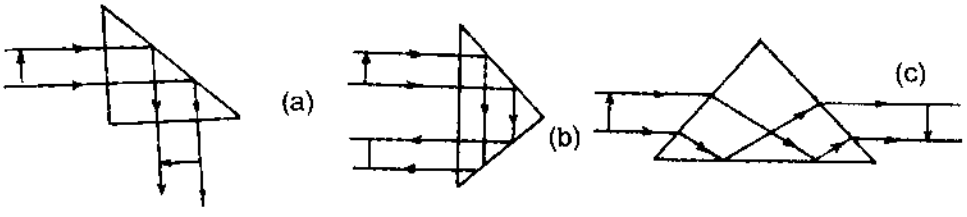
Với góc lệch cực tiểu δ_{min} thoả mãn điều kiện (5.9) lăng kính làm sai lệch chùm tia sáng truyền qua nó ít nhất, tức là ảnh quang học cho bởi lăng kính khi đó có chất lượng tốt nhất.

Nếu góc chiết quang α bé thì δ cũng bé, vì vậy có thể đặt $\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$ và

$\sin\frac{\delta_{min} + \alpha}{2} = \frac{\delta_{min} + \alpha}{2}$ và (5.9) trở thành: $\delta_{min} = (n - 1)\,\alpha$ (5.10).

Lăng lính có góc chiết quang α bé được gọi là nêm quang học.

Công thức (5.9) cho phép ta xác định chiết suất của chất tạo nên dạng lăng kính, khi biết góc chiết quang và đo được góc lệch δ_{min}. Để đo góc chiết quang α cũng như góc lệch δ người ta dùng giác kế.



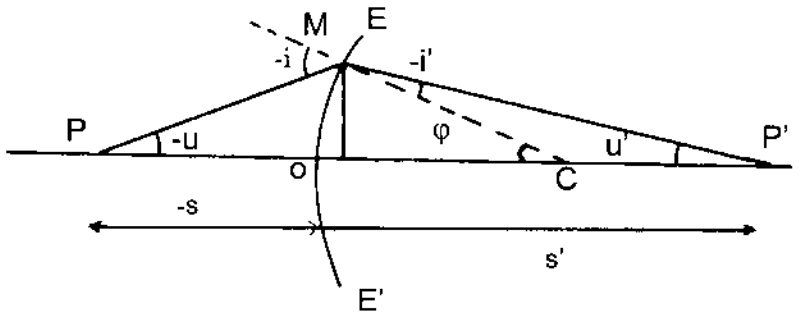
Hình 5.7

http://tieulun.hopto.org

Lăng kính được dùng rộng rãi trong các máy quang phổ để phân tích chùm bức xạ phức tạp thành các thành phần đơn sắc. Muốn thế lăng kính trong máy quang phổ phải được đặt sao cho phần giữa của quang phổ nghiên cứu đi qua lăng kính dưới góc lệch cực tiểu. Ngoài ra lăng kính còn được dùng để đổi phương tia sáng, đặc biệt là lăng kính phản xạ toàn phần. Hình 5.7 biểu diễn các lăng kính phản xạ toàn phần. Trong trường hợp (a) ảnh bị quay đi một góc 90 độ. Trong trường hợp (b) ảnh bị đổi chiều do hai lần phản xạ toàn phần trên hai mặt bên của lăng kính. Trong trường hợp (c) ảnh cũng bị đổi chiều do phản xạ toàn phần ở mặt đáy của lăng kính.

2.4. Mặt cầu khúc xạ

2.4.1. Định nghĩa: Mặt cầu khúc xạ là dạng quan trọng nhất trong tất cả các mặt giới hạn của thấu kính. Sự khúc xạ ánh sáng qua mặt cầu là hiện tượng cơ bản dẫn đến sự tạo ảnh của các hệ quang học.



Hình 5.8

Giả sử ta có mặt cầu khúc xạ bán kính R, tâm C ngăn cách hai môi trường có chiết suất n (bên trái) và n' (bên phải). Trục đối xứng của mặt cầu đi qua tâm C của nó là quang trục chính. Giao điểm của quang trục chính với mặt cầu là đỉnh O của mặt cầu khúc xạ. Đường thẳng bất kỳ đi qua C là quang trục phụ (hình 5.8).

Hệ các mặt cầu có tâm cùng nằm trên một đường thẳng tạo thành một hệ quang học đồng trục.

Để tiện lợi cho việc chứng minh công thức sau này, ta đưa vào khái niệm về chùm tia gần trục. Chùm tia gần trục được xem là một chùm đồng qui đi rất gần quang trục chính hay các tia trong chùm làm với quang trục chính những góc bé. Trong trường hợp này có thể coi sin của các góc giữa tia sáng và quang trục bằng tang của chúng và bằng chính các góc đó. Như vậy các công thức tìm được với điều kiện chùm tia gần trục sẽ có dạng toán học đơn giản.

2.4.2. Quy ước về dấu trong quang hình học

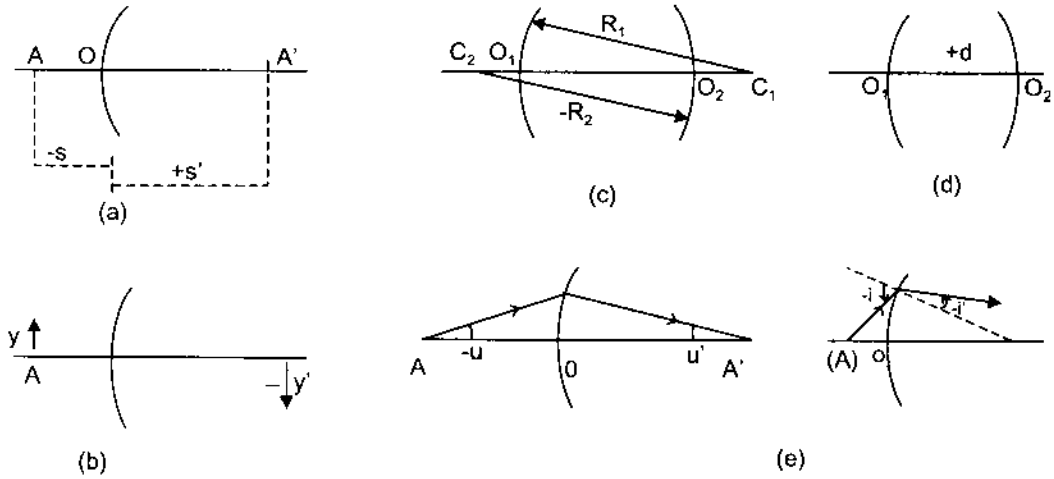
Trong quang hình học để tìm các công thức có tính chất tổng quát hơn, người ta thường dùng quy ước về dấu cho các đoạn thẳng và các góc.

http://tieulun.hopto.org

Nếu coi chiều dương là chiều truyền ánh sáng từ trái sang phải và chọn các góc tại đỉnh ta có quy ước về dấu sau đây:

– Độ dài của các đoạn thẳng theo quang trục chính được xem là dương nếu có chiều trùng với chiều truyền ánh sáng, nếu ngược lại là âm (hình 5.9a).

– Độ cao của vật và ảnh được xem là dương nếu chúng hướng lên phía trên quang trục chính; nếu chúng hướng xuống dưới là âm (hình 5.9b).



Hình 5.9

– Bán kính chính khúc của mặt cầu được xem là dương nếu tâm chính khúc ở bên phải mặt cầu, là âm nếu tâm chính khúc ở bên trái mặt cầu (hình 5.9c).

– Độ dầy của thấu kính và khoảng cách giữa hai mặt khúc xạ luôn được xem là dương (hình 5.9 d)

– Góc giữa tia sáng và quang trục chính hay pháp tuyến của mặt khúc xạ được xem là dương nếu ta quay quang trục hay đường pháp tuyến đến gặp tia sáng theo chiều quay kim đồng hồ, nếu theo chiều ngược lại là âm (hình 5.9e)

– Khi có sự phản xạ thì đổi dấu chiết suất n' và khoảng cách giữa mặt phản xạ với mặt tiếp sau.

Sau đây chúng ta sẽ dùng định luật khúc xạ ánh sáng và các qui ước về dấu để tìm công thức của mặt cầu khúc xạ đối với chùm tia gần trục.

2.4.3. Công thức của mặt cầu khúc xạ

Giả sử mặt cầu khúc xạ EE' có bán kính R ngăn cách 2 môi trường quang học có chiết suất n (bên trái) và n' (bên phải). Chúng ta hãy xét một tia sáng trong chùm tia gần trục phát ra từ một nguồn điểm P nằm trên quang trục chính CO, chẳng hạn tia PM. Tia này đến mặt cầu tại điểm M, dưới góc tới i, khúc xạ qua mặt cầu thep phương MP' dưới góc khúc xạ i' và cắt quang trục chính tại điểm P' (xem hình 5.8).

Ta hãy xác định vị trí của điểm P' đối với đỉnh O của mặt cầu.

http://tieulun.hopto.org

Ta hãy đặt OP = s, OP' = s', OC = R và góc MCO = φ . Trên hình ta ghi trị số số học của các đoạn thẳng và góc.

Theo định luật khúc xạ ánh sáng đối với chùm tia gần trục ta có:

$$ni = n'i' \qquad (5.11a)$$

Từ các ΔPMC và ΔP'MC ta có:

$$(-i) = (-u) + \varphi \text{ hay } i = u - \varphi$$

$$(-i') = \varphi - u' \text{ hay } i' = u' - \varphi$$

Thay các giá trị của i và i' vào (5.11a) ta được

$$n(u - \varphi) = n' (u' - \varphi) \qquad (5.11b)$$

Vẽ đường MH vuông góc với quang trục chính. Vì ta đang xét chùm tia gần trục nên có thể coi:

$$\overline{HP} = s \qquad \overline{HP'} = s' \qquad \text{và } \overline{HC} = R$$

Các góc u, u', φ đều bé nên ta có:

$$tg(-u) = (-u) = \frac{h}{-s} \text{ hay } u = \frac{h}{s} \qquad (5.12)$$

$$tgu' = u' = \frac{h}{s'} \qquad (5.13)$$

$$tg\varphi = \varphi = \frac{h}{R} \qquad (5.14)$$

Từ (5.12) – (5.13) thay các giá trị của u, u' và φ vào (5.11b) và đơn giản h, ta được:

$$n\left(\frac{1}{s} - \frac{1}{R}\right) = n'\left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{R'}\right)$$

Hay

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n'-n}{R} \qquad (5.15)$$

Các đại lượng s, s' và R trong công thức này đều là những độ dài đại số. Biểu thức (5.15) là công thức cơ bản của mặt cầu khúc xạ. Nó cho phép tìm được khoảng cách s' = $\overline{OP'}$ nếu cho biết s = $\overline{OP}$ tức là xác định được vị trí của điểm P' tuỳ theo vị trí của điểm P. Đối với hai môi trường và mặt cầu cho trước (n, n' và R cho trước) s' chỉ phụ thuộc vào s. Như vậy tất cả các tia trong chùm tia gần trục phát ra từ nguồn điểm P sau khi khúc xạ qua mặt cầu sẽ cắt nhau tại cùng một điểm P'. Do đó P' là ảnh điểm của nguồn điểm P.

Công thức (5.15) đúng với mặt cầu có bề lồi hướng về phía nào cũng được, miễn là trong đó phải chú ý đến dấu của R. Nếu là mặt cầu lồi (bề lồi hướng về bên trái) thì R>0 nếu là mặt cầu lõm (bề lồi hướng về bên phải) thì R<0.

http://tieulun.hopto.org

Công thức (5.15) còn cho thấy nếu như vật đặt tại P' thì ảnh của nó sẽ nằm tại P, nghĩa là có tính chất thuận nghịch.

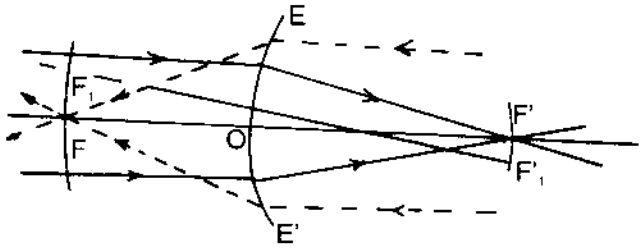
2.4.4. Độ tụ. Tiêu cự của mặt cầu khúc xạ

Từ công thức (5.15) ta suy ra:

$$\text{Khi } s = -\infty \text{ thì } \quad s' = f' = \frac{n'R}{n'-n} \tag{5.16}$$

$$\text{Khi } s' = \infty \text{ thì } \quad s = f = -\frac{nR}{n'-n} \tag{5.17}$$

Nghĩa là f ' và f chỉ phụ thuộc vào bán kính R của mặt cầu, chiết suất n và n'của hai môi trường. Nếu n, n' và R cho trước thì f và f ' là các đại lượng không đổi đặc trưng cho mặt cầu khúc xạ, f và f ' được gọi là hai tiêu cự chính của mặt cầu khúc xạ, f là tiêu cự chính thứ nhất, còn gọi là tiêu cự vật và f ' là tiêu cự chính thứ hai còn gọi là tiêu cự ảnh. Các điểm F và F' ($\overline{OF} = f$, $\overline{OF'} = f'$) được gọi là tiêu điểm chính thứ nhất và thứ hai tương ứng (hình 5.10).



Hình 5.10

Như vậy tiêu điểm chính của mặt cầu khúc xạ là điểm hội tụ của chùm tia tới song song với quang trục chính sau khi khúc xạ qua mặt cầu.

Nếu chùm tia tới không song song với quang trục chính mà song song với quang trục phụ, thì điểm hội tụ của nó là tiêu điểm phụ. Đối với chùm tia gần trục, thì mặt chứa các tiêu điểm chính thứ nhất có thể xem là mặt phẳng vuông góc với quang trục chính và đi qua tiêu điểm chính thứ nhất F. Mặt này được gọi là tiêu diện chính thứ nhất. Tương tự như thế mặt phẳng vuông góc với quang trục chính và đi qua tiêu điểm chính thứ hai F' được gọi là tiêu diện chính thứ hai của mặt cầu khúc xạ.

Nếu chia (5.16) cho (5.17) ta có:

$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n} \tag{5.18}$$

Vậy: hai tiêu cự của mặt cầu khúc xạ tỷ lệ với chiết suất tương ứng của hai môi trường và bao giờ hai tiêu điểm cũng nằm ở hai bên mặt cầu.

Khi n, n' và R cho trước thì biểu thức đứng ở vế phải của (5.15) là một đại lượng không đổi. Đại lượng này được gọi là độ tụ của mặt cầu khúc xạ.

http://tieulun.hopto.org

$$\phi = \frac{n'-n}{R}$$

Ta có:

$$\phi = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$$

Từ công thức của mặt cầu khúc xạ ta có thể suy ra công thức của gương cầu (mặt cầu phản xạ tốt ánh sáng) bằng cách thay đổi n' = -n trong (5.15).

Khi đó ta có: $$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \qquad (5.19)$$

Đó là công thức quen thuộc của gương cầu dùng được cho cả gương cầu lõm cũng như gương cầu lồi miễn là phải chú ý đến dấu của R (R<0 đối với gương cầu lõm, R > 0 gương cầu lồi).

Từ công thức của gương cầu (5.19) ta suy ra công thức của gương phẳng, bằng cách cho R = ∞. Khi đó ta có: s' = -s

Nghĩa là nếu vật đặt trước gương phẳng thì ảnh của nó sẽ nằm đối xứng với vật qua gương. Ảnh cho bởi gương phẳng là ảnh ảo. Tiêu cự của gương cầu được xác định từ (5.16) hay (5.17):

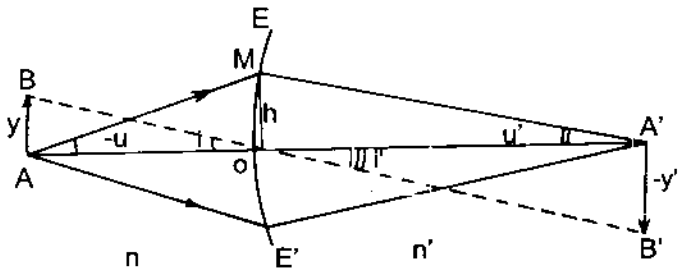
$$f = \frac{R}{2}$$

Do đó (5.19) có thể được viết lại:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \qquad (5.20)$$

2.4.5. Định lý Lagrange - Helmholtz

Trên đây chúng ta mới xét tới sự tạo ảnh của một điểm sáng nằm trên quang trục chính bởi mặt cầu khúc xạ. Bây giờ ta hãy khảo sát sự tạo ảnh của một đoạn thẳng ngắn AB vuông góc với quang trục chính (hình 5.11). Giả sử A'B' là ảnh dựng được của AB với chùm tia gần trục.



Hình 5.11

http://tieulun.hopto.org

Ký hiệu chiết suất của môi trường bên trái và bên phải của mặt cầu tương ứng là n và n'. Trên hình (5.11) ta ghi các trị số học của độ cao của vật AB = y, độ cao của ảnh A'B' = -y', OA = -s, OA' = s' góc tới và góc khúc xạ là i và i', góc mở cực đại của chùm tia tới mặt cầu là -u (khẩu độ) và góc mở của chùm tia khúc xạ tương ứng (chùm tia ảnh) là u'.

Bây giờ ta hãy tìm mối liên hệ giữa u, y, n và u', y', n'.

Từ ΔABO và ΔA'B'O ta có:

$$tgi = \frac{y}{-s} \qquad tgi' = \frac{-y'}{s'} \tag{5.21}$$

Với giả thiết y và y' đều bé và chú ý tới định luật khúc xạ ánh sáng ta có thể viết:

$$\frac{tgi}{tgi'} = \frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n'}{n} \tag{5.22}$$

Phối hợp (5.21) và (5.22) ta có:

$$\frac{ys'}{sy'} = \frac{n'}{n} \tag{5.23}$$

Mặt khác từ ΔAMO và ΔA'MO ta có:

$$tg(-u) = (-u) = \frac{h}{-s} \qquad tgu' = u' = \frac{h}{s'}$$

Do đó:
$$\frac{s'}{s} = \frac{u}{u'} \tag{5.24}$$

Từ (5.23) và (5.24) ta được:

$$ynu = y'n'u' \tag{5.25}$$

Hệ thức (5.25) biểu diễn định lý Lagrange – Helmholtz. Biểu thức này có dạng một đại lượng không đổi nên còn gọi là bất biến Lagrange – Helmholtz.

Công thức này có thể viết tổng quát cho một hệ quang học phức tạp gồm nhiều mặt cầu. Khi đó $y'_1 = y_2 \ldots y'_{k-1} = y_k$, $n'_1 = n_2, \ldots n'_{k-1} = n_k$ và $u'_1 = u'_2 \ldots u_{k-1} = u_k$ ta có:

$$y_1 n_1 u_1 = y_2 n_2 u_2 = \ldots = y_{k+1} n_{k+1} u_{k+1}$$

Các hệ thức (5.25) và (5.26) chỉ đúng với các tia gần trục.

Khi dùng chùm tia rộng và muốn có ảnh rõ nét thì phải thoả mãn điều kiện:

$$yn \sin u = y'n' \sin u'$$

http://tieulun.hopto.org

Hệ thức này được gọi là điều kiện sin Abbe. Bất biến Lagrange – Helmholtz và điều kiện sin Abbe giới hạn sự tự do biến đổi các chùm tia sáng bằng các hệ quang học. Chúng liên hệ khẩu độ và kích thước của vật với khẩu độ và kích thước của ảnh.

2.4.6. Độ phóng đại dài

Tỉ số giữa độ cao của ảnh và độ cao của vật được gọi là độ phóng đại dài β (hay độ phóng đại ngang):

$$\beta = \frac{y'}{y} \tag{5.28}$$

Từ định lý (5.25) ta có:

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{nu}{n'u'} \tag{5.29}$$

Thay u/u' (5.24) ta được:

$$\beta = \frac{ns'}{n's} \tag{5.30}$$

Bởi vì n và n' là những đại lượng dương, nên dấu của β được xác định bởi dấu của tỉ số s'/s. Nếu s<0 và s'>0, thì β <0, ta có ảnh thực và ngược chiều với vật. Nếu s và s' cùng dấu, thì β >0, ta có ảnh ảo và cùng chiều xét với vật. Đối với gương cầu thì n/n' = -1 do đó:

$$\beta = -\frac{s'}{s} \tag{5.31}$$

Trong trường hợp cho ảnh thực, s và s' cùng dấu do đó β<0 ảnh và vật ngược chiều nhau. Trong trường hợp cho ảnh ảo thì s<0 và s'>0 nên β >0 ảnh cùng chiều với vật.

Đối với gương phẳng s' = -s do đó β = 1 tức là ảnh ảo cùng chiều với vật và bằng vật.

2.5. Thấu kính mỏng

2.5.1. Định nghĩa

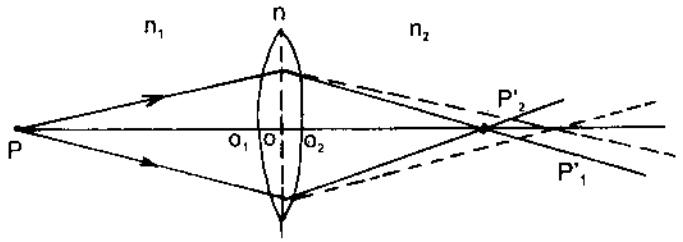
Thấu kính quang học là một khối trong suốt đồng chất bằng thuỷ tinh hay thạch anh được giới hạn bởi hai mặt trong đó có một mặt cầu, còn mặt kia có thể là mặt cầu hay mặt phẳng. Gọi O_1 và O_2 là đỉnh của hai mặt cầu có bán kính R_1 và R_2, thì khoảng cách $d = 0_1.0_2$ được gọi là độ dày của thấu kính. Nếu d rất nhỏ so với R_1 và R_2 thì thấu kính coi là mỏng. Khi đó có thể xem O_1 và O_2 trùng nhau và ký hiệu là O, điểm O được gọi là quang tâm của thấu kính. Đường thẳng đi qua quang tâm của thấu kính được gọi là quang trục. Nếu quang trục đi qua cả 2 tâm của 2 mặt cầu gọi là quang trục chính, các quang trục khác là quang trục phụ.

http://tieulun.hopto.org

Bây giờ ta sẽ khảo sát sự khúc xạ của ánh sáng qua thấu kính mỏng và cũng chỉ giới hạn xét những tia gần trục.

2.5.2. *Công thức của thấu kính mỏng*

Giả sử ta xét sự khúc xạ ánh sáng qua thấu kính mỏng 2 mặt lồi (hình 5.12). Ta dùng các ký hiệu sau đây: chiết suất của môi trường bên trái thấu kính là n_1 ở bên phải thấu kính là n_2, còn chiết suất chuất làm thấu kính là n; các khoảng cách từ vật và ảnh đến thấu kính là s và s' tương ứng (được tính từ quang tâm).



Hình 5.12

Muốn tìm công thức thấu kính mỏng ta áp dụng công thức (5.15) lần lượt cho 2 mặt cầu. Khi xét sự khúc xạ qua mặt cầu thứ nhất, ta coi như không có mặt cầu thứ hai, và khi đó coi chiết suất của môi trường thứ hai là n. Ảnh của nguồn điểm P là nằm trên quang trục chính cho bởi mặt cầu O_1 và P_1. Theo (5.15) thì s_1 và s'_1 là khoảng cách từ vật và ảnh đến đỉnh O_1 của mặt cầu thứ nhất liên hệ với nhau bởi hệ thức:

$$\frac{n}{s'_1} - \frac{n_1}{s_1} = \frac{n - n_1}{R_1} \qquad (5.32)$$

Chỉ số 1 chỉ các đại lượng thuộc mặt cầu thứ nhất.

Ảnh P'_1 sẽ là vật ảo đối với mặt cầu thứ hai O_2. Khi xét sự khúc xạ qua mặt cầu O_2 ta coi như không có mặt cầu thứ nhất, tức là coi chiết suất của môi trường trước mặt cầu O_2 là n, sau mặt cầu O_2 là n_2. Ảnh của P'_1 cho bởi mặt cầu O_2 là P'_2 nằm cách đỉnh O_2 một khoảng s'_2 có liên hệ với $s_2 = s'_1$ (vì thấu kính mỏng) bởi hệ thức:

$$\frac{n_2}{s'_2} - \frac{n}{s'_1} = \frac{n_2 - n}{R_2} \qquad (5.33)$$

Chỉ số 2 chỉ các đại lượng thuộc mặt cầu thứ 2. Cộng (5.32) và 5.33) ta được:

$$\frac{n_2}{s'_2} - \frac{n_1}{s_1} = \frac{n - n_1}{R_1} + \frac{n_2 - n}{R_2} \qquad (5.34)$$

http://tieulun.hopto.org

Nếu gọi khoảng cách từ nguồn điểm P đến quang tâm O của thấu kính là s ($s_1 = s$) và khoảng cách từ ảnh P'_2 đến O là s' ($s'_2 = s'$) thì (5.34) sẽ có dạng:

$$\frac{n_2}{s'} - \frac{n_1}{s} = \frac{n - n_1}{R_1} + \frac{n_2 - n}{R_2} \qquad (5.35)$$

Đây là công thức tổng quát của thấu kính mỏng. Thông thường thì thấu kính được đặt trong môi trường đồng tính tức là $n_1 = n_2$ cho nên ta có:

$$n_1\left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{s}\right) = (n - n_1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad (5.36)$$

Hay: $$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \left(\frac{n}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Nếu đưa vào chiết suất tỉ đối $N = \frac{n}{n_1}$ thì (5.36) được viết lại thành:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (N - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad (5.37)$$

Công thức (5.37) chỉ đúng với thấu kính mỏng có dạng bất kỳ và đặt trong môi trường đồng tình bất kỳ. Cần chú ý rằng các đại lượng s, s', R_1 và R_2 được tính từ quang tâm của thấu kính và tuân theo các qui ước về dấu. Nếu thấu kính được đặt trong môi trường không khí ($n_1 = 1$) thì N = n do đó (5.37) trở thành:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad (5.38)$$

2.5.3. Tiêu cự - Độ tụ của thấu kính mỏng

Từ (5.37) ta thấy:

Khi $s = -\infty$ thì:

$$s' = f' = \frac{1}{(N - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \qquad (5.39)$$

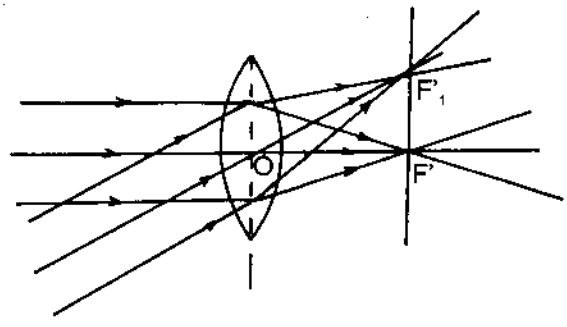
tức là khi nguồn điểm P ở vô cực, các tia sáng đến thấu kính là chùm song song với quang trục chính, thì ảnh của nó sẽ nằm tại điểm F' cách quang tâm của thấu kính một khoảng s' = f ' và f ' được gọi là tiêu cự chính thứ hai (tiêu cự ảnh) của thấu kính còn F' được gọi là tiêu điểm chính thứ hai (tiêu điểm ảnh) của thấu kính.

http://tieulun.hopto.org

Khi s' = ∞ thì:

$$s = f = -\frac{1}{(N-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)} \qquad (5.40)$$

được gọi là tiêu cự chính thứ nhất của thấu kính (tiêu cự vật). Điểm F cách quang tâm của thấu kính một khoảng s = f được gọi là tiêu điểm chính thứ nhất (tiêu điểm vật) của thấu kính (hình 5.13).



Hình 5.13

Các mặt phẳng vuông góc với quang trục chính và đi qua các tiêu điểm chính được gọi là tiêu diện (hay mặt phẳng tiêu) của thấu kính. Giao điểm của bất kỳ quang trục phụ nào với tiêu diện đều là tiêu điểm phụ. Từ (5.39) và (5.40) thấy:

$$f = -f' \qquad (5.41)$$

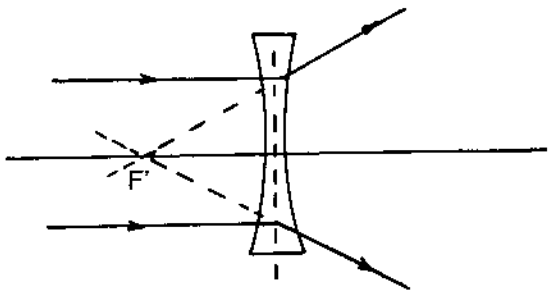
Vậy nếu thấu kính được đặt trong môi trường đồng tính sẽ có các tiêu cự bằng nhau về độ lớn nhưng ngược dấu nhau, tức là hai tiêu điểm F và F' nằm ở hai bên thấu kính.

Tuỳ thuộc vào dấu của R_1, R_2 và (N-1) mà tiêu cự f ' có thể dương hoặc âm, nếu tiêu điểm F' là thực, nghĩa là chùm song song sau khi khúc xạ qua thấu kính trở thành chùm hội tụ, thì thấu kính đó được gọi là thấu kính dương hay thấu kính hội tụ. Nếu tiêu điểm F' là ảo, nghĩa là chùm tia song song sau khi khúc xạ qua thấu kính trở thành chùm phân kỳ, thì thấu kính được gọi là thấu kính âm hay thấu kính phân kỳ (hình 5.14). Nếu chú ý đến (5.32) thì (5.33) có thể viết lại:

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

Công thức này gọi là công thức Gauss. Trong công thức này s và s' được tính từ quang tâm O.

Nếu khoảng cách từ vật và ảnh không phải được tính từ quang tâm O, mà từ các tiêu điểm F và F' (FP = x và F'P' = x') thì có thể chuyển công thức Gauss thành dạng khác, bằng cách thay s = x + f và s' = x' + f '.



Hình 5.14

http://tieulun.hopto.org

Ta có:

$$\frac{1}{x'+f'} - \frac{1}{x+f} = \frac{1}{f'} \qquad (5.42)$$

Chú ý rằng f = -f ' và sau khi đơn giản (5.42) ta được:

$$xx' = ff' = f'^2$$

Đó là công thức Newton.

Tuỳ bài toán cụ thể, có thể chọn công thức Gauss hay công thức Newton cho đơn giản tính toán.

Ta trở lại biểu thức (5.37). Nếu thấu kính cho trước (n, R_1 và R_2 cho trước) và môi trường đặt thấu kính cho trước (n_1 cho trước), thì biểu thức ở vế phải là một định luật không đổi và được gọi là độ tụ ϕ của thấu kính mỏng:

$$\phi = (N-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{f'} \qquad (5.44)$$

Vậy độ tụ của thấu kính có giá trị bằng nghịch đảo của tiêu cự.

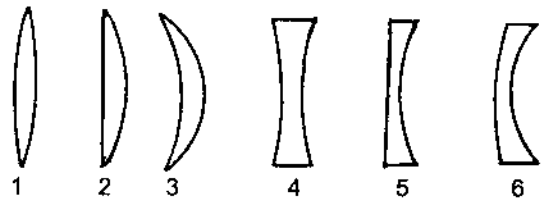
Đơn vị để đo độ là điop (D). Đi ốp là độ tụ của 1 thấu kính mỏng đặt trong không khí có tiêu cự bằng một mét.

$$1D = 1/m$$

2.5.4. Các dạng thấu kính

Trên hình (5.15) biểu diễn các dạng thấu kính hội tụ và phân kỳ khác nhau.

Các thấu kính có dạng 1, 2, 3 là các thấu kính hội tụ (thấu kính hai mặt lồi (1) thấu kính phẳng lồi (2) thấu kính lồi - lõm (3)). Các thấu kính có các dạng 4, 5, 6 là các thấu kính phân kỳ (thấu kính 2 mặt lõm (4), thấu kính phẳng – lõm (5), thấu kính lồi - lõm (6)). Ta thấy rằng thấu kính hội tụ có mép mỏng hơn khoảng giữa còn thấu kính phân kỳ có mép dày hơn khoảng giữa.



Hình 5.15

Nếu môi trường đặt thấu kính có chiết suất lớn hơn chiết suất của chất làm thấu kính ($n_1 > n$) thì các thấu kính 1, 2, 3 trở thành thấu kính phân kỳ còn các thấu kính có dạng 4, 5, 6 trở thành các thấu kính hội tụ.

http://tieulun.hopto.org

2.5.5. Cách dựng ảnh - Độ phóng đại dài

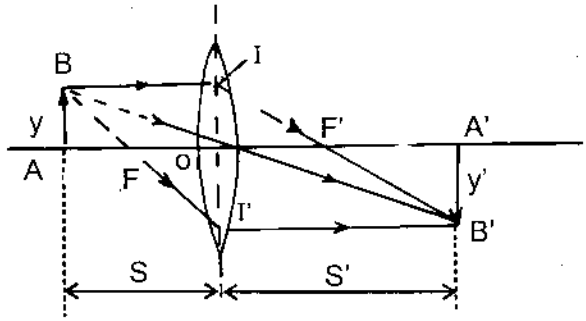
Giả sử ta dựng ảnh của một đoạn thẳng AB vuông góc với quang trục chính. Trong trường hợp đơn giản này ta chỉ cần dựng ảnh B' của điểm B.

Để dựng ảnh của điểm B ta thường chọn 2 trong 3 tia sau:

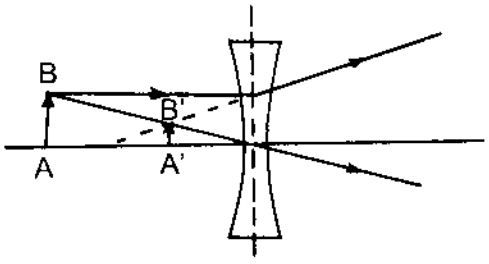
– Tia tới song song với quang trục chính sau khi khúc xạ qua thấu kính mỏng sẽ đi qua tiêu điểm chính thứ hai F'.

– Tia tới đi qua tiêu điểm chính thứ nhất F sau khi khúc xạ qua thấu kính mỏng sẽ đi theo phương song song với quang trục chính.

– Ngoài ra nếu thấu kính đặt trong môi trường đồng tính thì tia tới đi qua quang tâm O sẽ không bị khúc xạ.



Hình 5.16



Hình 5.17

Hình (5.16) và (5.17) biểu diễn cách dựng ảnh của vật AB cho bởi thấu kính hội tụ và phân kỳ, A'B' là ảnh của vật AB.

Ảnh A'B' có thể bé hơn, lớn hơn hay bằng vật AB tuỳ thuộc vào khoảng cách từ vật đến thấu kính và loại thấu kính. Để tính độ cao của ảnh ta tìm độ phóng đại dài.

Từ (hình 5.16) và (5.17) ta dễ dàng tìm được biểu thức của độ phóng đại dài β. Thật vậy từ các tam giác đồng dạng ABF và I'OF, IOF' và A'B'F' ta được:

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'} \qquad (5.45)$$

Xét hai tam giác đồng dạng ABO và A'B'O' thì có thể biểu diễn β theo s và s'

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{s'}{s} \qquad (5.46)$$

Dấu và độ lớn của β sẽ cho biết chiều và độ lớn của ảnh so với chiều và độ lớn của vật.

http://tieulun.hopto.org

II. MẮT VÀ DỤNG CỤ BỔ TRỢ

1. Quang hình học của mắt

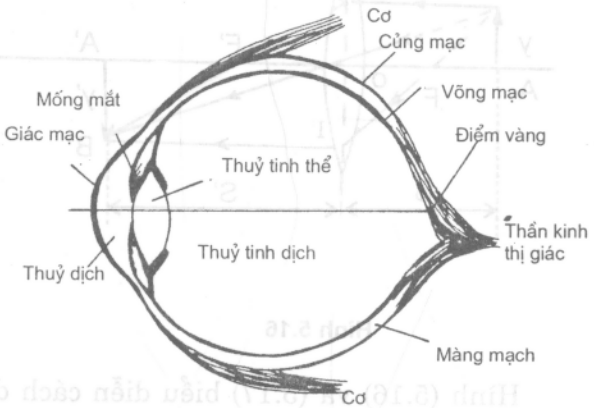
1.1. Sơ lược về cấu tạo của mắt

Mắt còn gọi là nhãn cầu, có dạng hình cầu, đường kính đo theo trục trước sau khoảng 22mm. Mặt ngoài của mắt có sáu bó cơ vận động bám vào để giúp cho mắt có thể quay được nhiều phía khác nhau và định hướng khi nhìn. Vỏ của con mắt được cấu tạo bởi các lớp màng đàn hồi, bao gồm ba loại, tính từ ngoài vào trong (hình 5.18) là:

– Củng mạc là màng ngoài cùng, bao kín 3/4 phía sau con mắt. Là lớp xơ dày, dai, trắng như sứ, ánh sáng không lọt qua được.

Ở 1/4 phía trước là lớp mô trong suốt, ánh sáng xuyên qua được gọi là giác mạc. Giác mạc có bán kính cong nhỏ hơn bán kính cong của củng mạc.

– Mạch mạc còn gọi là màng mạch, nằm trong củng mạc. Màng mạch chứa nhiều mạch máu để nuôi dưỡng mắt và có nhiều sắc tố đen giữ cho bên trong nhãn cầu như một buồng tối. Ngay phía sau giác mạc, màng mạch có một phần rủ xuống tạo thành màng chắn có màu đen hoặc nâu, màng chắn này có một lỗ hở hình tròn có đường kính thay đổi được, lỗ hở này gọi là đồng tử.



Hình 5.18

Ánh sáng sau khi xuyên qua giác mạc sẽ đi qua đồng tử vào phía trong.

Do đồng tử tự thay đổi được bán kính nên nó có khả năng tự điều chỉnh thông lượng của ánh sáng tác dụng vào con mắt. Với ánh sáng có độ dọi lớn tác dụng vào mắt thì đồng tử tự động co lại để làm giảm lượng ánh sáng tác dụng vào mắt, với ánh sáng có độ dọi nhỏ thì đồng tử tự giãn rộng ra, do đó thông lượng ánh sáng vào mắt sẽ tăng lên.

– Võng mạc: là lớp màng trong cùng, được cấu tạo bởi nhiều lớp tế bào nhưng quan trọng nhất là lớp tế bào thần kinh thị giác. Các tế bào này tập hợp thành các sợi thần kinh nhỏ nối liền với dây thần kinh thị giác. Có hai loại tế bào thần kinh cảm thụ được ánh sáng, đó là tế bào nón và tế bào que. Ở mắt người có chừng 7 triệu tế bào nón và 130 triệu tế bào que. Sự phân bố của hai loại tế bào thần kinh này trên võng mạc là khác nhau, tế bào nón tập trung vào vùng gần điểm vàng (phần võng mạc nằm gần giao điểm giữa trục chính của mắt với võng mạc). Ở điểm vàng võng mạc mỏng hơn chỗ khác do đó bị lõm xuống tạo nên hố trung tâm, ở đây mật độ tế bào nón rất cao (khoảng 150.000 tế bào/mm^2). Khi nhìn một vật thì ảnh

http://tieulun.hopto.org

của vật sẽ hiện lên ở hố trung tâm. Càng xa điểm vàng thì mật độ tế bào nón càng giảm và mật độ tế bào que tăng lên, ở vùng xa điểm vàng thì ở võng mạc chỉ còn tế bào que.

Đặc điểm và chức năng của hai loại tế bào thần kinh này không giống nhau. Tế bào nón cảm thụ được ánh sáng có độ dọi lớn và có khả năng phân biệt được hình thể, màu sắc, chi tiết các vật. Tế bào que cảm thụ ánh sáng có độ dọi nhỏ (có độ nhạy lớn hơn so với tế bào nón). Do vậy vùng xa điểm vàng ta chỉ có cảm giác sáng tối.

Môi trường bên trong nhãn cầu được chia làm hai phần ngăn cách nhau bởi thuỷ tinh thể. Thuỷ tinh thể trong suốt, hai mặt lồi, mặt cong phía trước có bán kính lớn hơn bán kính mặt cong phía sau. Nhờ sự thay đổi sức căng của dây chằng treo thuỷ tinh thể và tính đàn hồi của bản thân thuỷ tinh thể mà nó có khả năng thay đổi bán kính cong mặt trước, sau dẫn đến độ hội tụ của mắt thay đổi khi ta quan sát các vật ở xa hoặc gần. Thuỷ tinh thể có chiết suất 1,43 và độ tụ khoảng 12 ÷14 điôp.

Khoảng giữa giác mạc và thuỷ tinh thể chứa thuỷ dịch trong suốt. Khoảng giữa thuỷ tinh thể và võng mạc chứa thuỷ dịch hay còn gọi là dịch kính. Do các thể dịch trong mắt luôn lưu thông nên áp suất của mắt được giữ không đổi ở giá trị 12÷25 tor.

1.2. Quang hình học của mắt

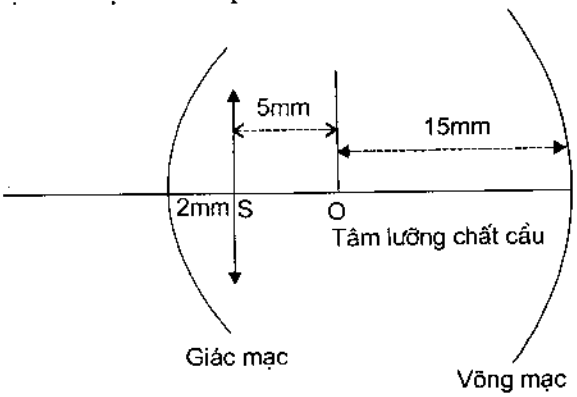
Theo cấu tạo của mắt, về phương diện quang hình thì mắt được cấu tạo bởi các môi trường chiết quang ngăn cách nhau bằng các mặt cầu khúc xạ tạo nên ba lưỡng chất cầu:

– *Lưỡng chất cầu giác mạc* là quang hệ tạo nên do giác mạc ngăn cách môi trường không khí với thuỷ dịch. Giác mạc có độ dày khoảng 1mm, bán kính cong 8mm, chiết suất thuỷ dịch 1,336 và độ tụ của quang hệ là 45 điôp.

– *Lưỡng chất cầu thuỷ tinh thể trước* do mặt cong trước thuỷ tinh thể ngăn cách thuỷ dịch với thuỷ tinh thể. Bán kính cong mặt trước thuỷ tinh thể khoảng 10mm, chiết suất trung bình 1,388 và độ tụ của hệ là 7 điôp.

– *Lưỡng chất cầu thuỷ tinh thể sau* do mặt cong phía sau thuỷ tinh thể ngăn cách thuỷ tinh thể với dịch thuỷ tinh. Bán kính cong mặt sau thuỷ tinh thể khoảng 8mm, chiết suất dịch thuỷ tinh là 1,36 và độ tụ của quang hệ khoảng 12 điôp.

Ba lưỡng chất cầu trên có cùng trục chính và hợp lại thành một hệ quang học. Hệ này coi như được ghép bởi 3 hệ quang học có chiết suất khác nhau. Ánh



Hình 5.19

http://tieulun.hopto.org

sáng xuyên vào mắt, nó sẽ bị khúc xạ khi truyền qua 3 lưỡng chất cầu và cuối cùng sẽ tác dụng lên các tế bào thần kinh ở võng mạc. Như vậy hệ quang học của mắt sẽ có một tâm điểm duy nhất. Do đặc điểm này mà chúng ta có thể thay thế hệ quang học gồm ba lưỡng chất cầu bằng một lưỡng chất cầu tổng hợp còn gọi là con mắt ước lược (hình 5.19).

Lưỡng chất cầu tổng hợp có mặt cầu ngăn cách môi trường không khí với môi trường bên trong của mắt. Mặt cầu khúc xạ có mặt lồi quay ra phía trước, bán kính cong 5mm, đỉnh cách giác mạc 2mm, quang tâm cách giác mạc 7mm và cách võng mạc 15mm, chiết suất của hệ là 1,333.

Do hệ quang học này có môi trường thứ nhất là không khí, môi trường thứ hai là môi trường bên trong mắt chiết suất xác định là n nên tiêu cự của lưỡng chất cầu tổng hợp được tính theo công thức sau:

$$f = \frac{n.R}{n-1} = \frac{1,333.5}{1,333-1} = 20mm \qquad (5.47)$$

f là tiêu cự, R là bán kính mặt cong của mặt cầu tổng hợp, n là chiết suất môi trường, chiết suất của không khí bằng 1.

Từ các thông số quang hình của lưỡng chất cầu tổng hợp và độ lớn của tiêu cự ta thấy võng mạc của mắt nằm trên mặt phẳng tiêu của lưỡng chất cầu tổng hợp. Đường thẳng đi qua đỉnh mặt cầu và quang tâm gọi là trục chính, đường thẳng qua quang tâm và điểm vàng gọi là đường nhìn thẳng. Khi nhìn một vật thì mắt hướng đường nhìn thẳng đi qua vật ấy. Nếu đường nhìn thẳng hướng vào một điểm cố định ở phía trước thì khoảng không gian mà một mắt nhìn thấy là một hình nón có góc mở ngang 160°, góc mở đứng 130°. Khoảng không gian này gọi là thị trường. Thực tế thị trường rộng hơn nhiều do mắt có thể xoay trong hốc mắt làm cho đường nhìn thẳng thay đổi. Mặt khác do luôn nhìn bằng hai mắt phối hợp với động tác quay đầu nên thị trường được mở rộng hơn. Việc vẽ ảnh của vật qua hệ 3 lưỡng chất cầu tổng hợp sẽ được trở nên đơn giản hơn nhiều.

1.3. Khả năng điều tiết của mắt

Các vật chúng ta quan sát có kích thước, vị trí khác nhau và trong nhiều trường hợp chúng là vật di động, trong khi đó mắt có kích thước hầu như không thay đổi. Muốn nhìn rõ vật thì ảnh của vật phải hiện lên trên võng mạc. Theo công thức tổng quát áp dụng cho thấu kính mỏng:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{a_1} + \frac{n}{a_2} \qquad (5.48)$$

D là độ tụ, f là tiêu cự, a_1 là khoảng cách từ vật đến quang tâm, a_2 là khoảng cách từ ảnh đến quang tâm của mắt.

Do a_2 không đổi, nếu a_1 thay đổi thì D phải thay đổi ảnh mới hiện đúng trên võng mạc. Khi quan sát vật ở xa vô cùng (cách mắt 5m) thì D = 60,7 điôp. Khi đưa vật lại gần cách mắt 20 cm thì độ tụ D = 71,6 điôp. Độ tụ của giác mạc là 45 điôp và

http://tieulun.hopto.org

hầu như không thay đổi. Do vậy độ tụ tăng lên khi quan sát vật ở gần là nhờ độ tụ của thuỷ tinh thể tăng lên bằng cách thủy tinh thể thay đổi bán kính cong.

Khả năng mắt tự tăng độ tụ để nhìn rõ các vật ở gần gọi là khả năng điều tiết. Khoảng cách từ vô cực đến vị trí cách mắt 20 cm gọi là quãng đường điều tiết, vị trí cách mắt 20cm gọi là cận điểm. Khi vật ở cận điểm thì khả năng điều tiết của mắt là tối đa, ở phía trong cận điểm mắt hết khả năng điều tiết. Điểm xa nhất khi mắt không điều tiết mà vẫn nhìn rõ vật gọi là viễn điểm, với mắt bình thường thì khoảng cách xa 5m đối với mắt được xem như ở vô cực.

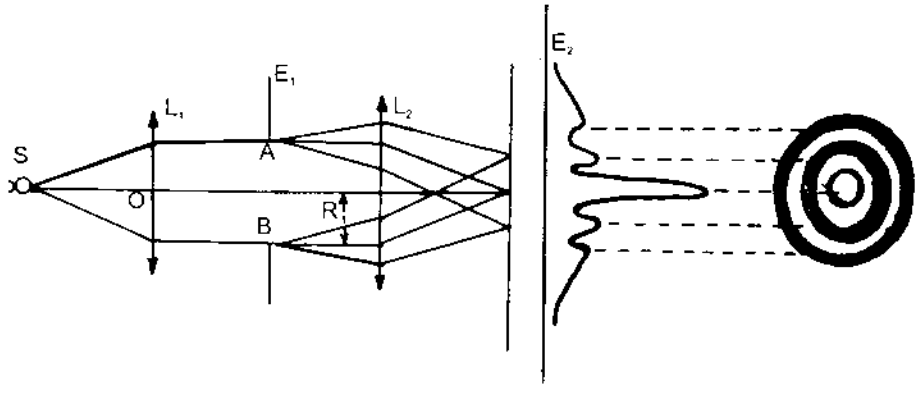
2. Khả năng phân ly của mắt

2.1. Hiện tượng nhiễu xạ của chùm tia sáng song song qua một lỗ tròn

Bố trí thí nghiệm như ở hình 5.20. Các tia sáng xuất phát từ nguồn sáng điểm S (đặt ở tiêu điểm của thấu kính hội tụ L_1), sau khi qua L_1 trở thành chùm tia song song và đi qua khe hở của màn chắn E_1, khe hở là lỗ tròn có đường kính AB = 2R. Sau E_1 đặt thấu kính hội tụ L_2, màn chắn E_2 đặt ở tiêu diện của L_2. Quan sát thấy:

+ Khi R lớn thì ánh sáng truyền qua lỗ mà không bị lệch phương, trên E_2 thu được một vòng tròn sáng.

+ Khi R khá bé trên E_2 thu được hình tròn gồm các hình vành khăn sáng, tối xen kẽ nhau. Hiện tượng này chứng tỏ ánh sáng khi truyền qua khe hẹp không hoàn toàn tuân theo định luật truyền thẳng của quang hình nữa, ngoài tia truyền thẳng còn có các tia bị lệch khỏi phương ban đầu. Hiện tượng này gọi là hiện tượng nhiễu xạ, ảnh thu được trên E_2 là ảnh nhiễu xạ, các vòng tròn sáng, tối xen kẽ nhau gọi là các vân nhiễu xạ, ở giữa là vân sáng trung tâm có cường độ lớn nhất, càng xa tâm vân sáng có cường độ giảm dần và bề rộng của vân cũng giảm dần. Ở khoảng cách khá xa vân trung tâm là bóng tối.



Hình 5.20

Nếu gọi λ là bước sóng của ánh sáng, R là bán kính lỗ hở, f là tiêu cự của L_2 thì bán kính vân sáng trung tâm được xác định theo công thức:

$$\rho = 0{,}61\frac{\lambda f}{R} \qquad (5.49)$$

http://tieulun.hopto.org

2.2. Khả năng phân ly của mắt

Giả sử ta có một điểm sáng A phía trước mắt ở khoảng cách nhìn rõ, qua mắt ta sẽ thu được ảnh A' của A trên võng mạc. Do đồng tử của mắt có bán kính khá bé nên A' sẽ là một ảnh nhiễu xạ và bán kính ρ của vân sáng trung tâm cũng được xác định theo công thức (5.49). Do ánh sáng vào mắt là ánh sáng hỗn hợp có bước sóng từ 0,40 ÷ 0,76μm nên thường cho bước sóng một giá trị trung bình λ = 0,50μm, tiêu cự của mắt là f = 20 mm, đồng tử có bán kính 2,5 mm, áp dụng công thức 5,49, ta có:

$$\rho = 0{,}61.\frac{0{,}5.20.10^{-3}}{2{,}5.10^{-3}}\mu m = 2{,}44\mu m \qquad (5.50)$$

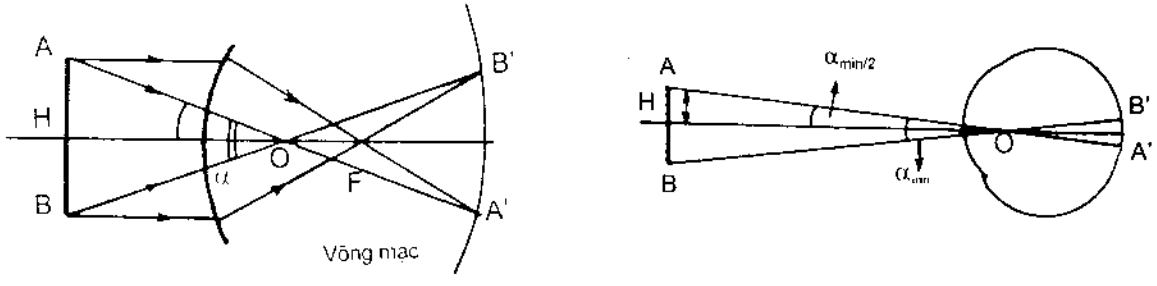
Giả sử khi ta quan sát một vật sáng có kích thước AB ở khoảng nhìn rõ của mắt thì trên võng mạc sẽ có ảnh A'B' của AB (hình 5.21) ngược chiều và nhỏ hơn AB nhiều lần. Do có sự tham gia của ý thức mà ta vẫn đánh giá đúng kích thước và cả vị trí của vật.

Góc AOB = α gọi là góc phân ly của mắt, kích thước A'B' cũng như độ lớn của α phụ thuộc vào kích thước AB và khoảng cách OH từ quang tâm đến vật sáng AB.

– Với OH xác định, kích thước AB nhỏ thì góc α nhỏ dẫn đến A'B' cũng nhỏ.

– AB có kích thước xác định, khi AB càng xa mắt thì α càng bé do vậy kích thước của A'B' sẽ càng nhỏ đi. Hai ảnh A', B' của A, B sẽ tiến đến gần nhau và đến một lúc nào đó A' sẽ trùng lên B', lúc đó mắt không còn phân biệt được khoảng cách giữa hai điểm A, B nữa. Muốn phân ly được hai điểm A, B thì góc nhìn α phải lớn hơn hoặc bằng một góc nhìn giới hạn nào đó gọi là góc phân ly tối thiểu α_{min}, α_{min} càng nhỏ thì khả năng phân ly của mắt càng tốt. Nghịch đảo của α_{min} đặc trưng cho khả năng phân ly của mắt được gọi là thị lực T của mắt:

$$T = \frac{1}{\alpha_{min}(\text{phút})} \qquad (5.51)$$



Hình 5.21

http://tieulun.hopto.org

Bảng 5.1: Thị lực của mắt phụ thuộc α_{min} (phút) được xác định theo bảng thị lực sau đây:

α_{min}	0,1'	0,2'	0,5'	1'	2'	5'	10'
T	$\frac{100}{10}$	$\frac{50}{10}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{10}{10}$	$\frac{5}{10}$	$\frac{2}{10}$	$\frac{1}{10}$

Vì α_{min} bé nên ta có thể xác định α_{min} theo độ dài của AB = d và khoảng cách OH = ℓ

$$\alpha_{min} \approx \frac{d}{\ell} \text{radian}$$

1 radian = 3394,28 phút nên $\alpha_{min} = 3394,28 \frac{d}{\ell}$ phút

vậy thị lực T được xác định như sau:

$$T = \frac{1}{3394,28} \cdot \frac{\ell}{d}$$

Từ công thức (5.52) chúng ta sẽ có hai phương pháp đánh giá thị lực của mắt:

- Cố định d, thay đổi ℓ
- Cố định ℓ, thay đổi d.

Phương pháp thứ nhất cho phép đánh giá chính xác thị lực của mắt kể cả trường hợp mắt có sự thay đổi nhỏ về thị lực, tuy nhiên phương pháp này không thuận lợi và nhanh chóng bằng phương pháp thứ hai. Khi không cần độ chính xác cao sẽ dùng phương pháp 2 để đánh giá thị lực của mắt, bằng cách dùng bảng chữ cái hay các mẫu vật có kích thước nhỏ dần khi đặt chúng cách mắt một khoảng không đổi OH = ℓ = 5m.

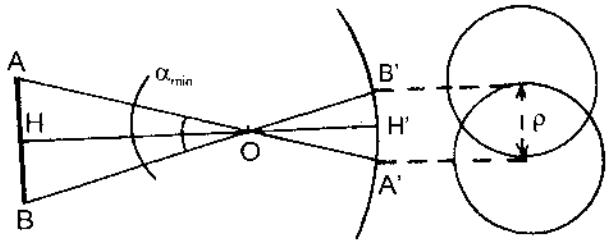
Khả năng phân li của mắt phụ thuộc vào trạng thái sinh lí, bệnh lí, tính chất của các tế bào thần kinh cảm thụ ánh sáng của mắt, vào độ dọi và bước sóng của ánh sáng. Nếu chúng ta chỉ quan tâm đến yếu tố nhiễu xạ của ánh sáng khi xuyên qua đồng tử thì theo Rayleigh ở điều kiện chiếu sáng với λ = 0,5μm, mắt còn phân biệt được khoảng cách giữa A và B khi khoảng cách ảnh A'B' lớn hơn hoặc bằng bán kính mỗi ảnh tức là A'B' ≥ ρ. ta có:

$$\alpha_{min} = \frac{\rho}{OH} = \frac{2,44}{15,3 10^3} \approx 1,6.10^{-4} \text{ radian} \approx \frac{33}{60} \text{ phút}$$

$$\alpha_{min} = \frac{33}{60} \text{ phút ứng với thị lực } T = \frac{18}{10}$$

Kết quả của nhiều phép đo cho thấy một mắt bình thường ở điều kiện chiếu sáng có bước sóng trung bình thì góc phân ly tối thiểu α_{min} = 1 phút. Khi ánh sáng có độ rọi nhỏ, lớn chiếu vào mắt và kiểm tra thị lực ở nhiều vùng khác nhau trên võng mạc người ta thấy rằng tế bào nón có khả năng phân li tốt hơn tế bào que.

http://tieulun.hopto.org



Hình 5.22

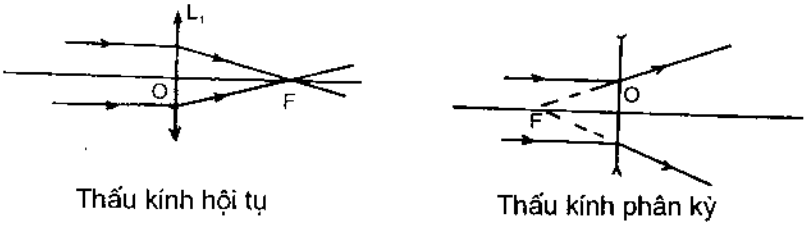
2.3. Các tật quang hình của mắt và dụng cụ bổ trợ

2.3.1. Sự khúc xạ ánh sáng qua thấu kính mỏng

a. Sự khúc xạ ánh sáng qua thấu kính cầu mỏng:

Thấu kính cầu mỏng là một môi trường trong suốt đồng tính và đẳng hướng được giới hạn bởi hai mặt cong hoặc một mặt cong và một mặt phẳng; môi trường thấu kính có chiết suất xác định.

Như trên đã mô tả có hai loại thấu kính cầu mỏng là thấu kính cầu hội tụ và thấu kính cầu phân kỳ (hình 5.23).



Hình 5.23

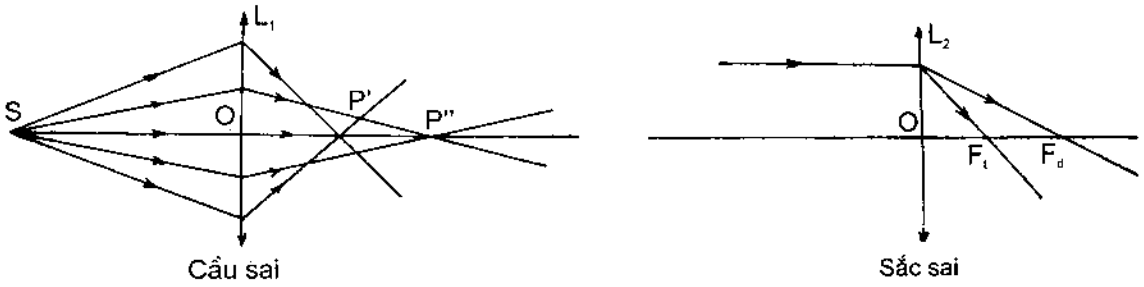
Các thấu kính cầu mỏng có tâm và đỉnh mặt cầu cùng nằm trên một đường thẳng. Từ công thức 5.44 ta có thể liên hệ giữa f với khoảng cách vật a_1, khoảng cách a_2 tới thấu kính như sau:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{(n-1)(R_2 - R_1)}{R_1 R_2}$$

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \qquad (5.53)$$

b. Hiện tượng quang sai: Nhược điểm cơ bản các loại thấu kính cầu mỏng là sự sai sót về quang hình khi chùm tia sáng song song đi qua thấu kính là chùm tia rộng, các tia gần trục chính sẽ hội tụ ở điểm xa quang tâm hơn các tia ở gần mép thấu kính. Hiện tượng này gọi là cầu sai.

http://tieulun.hopto.org

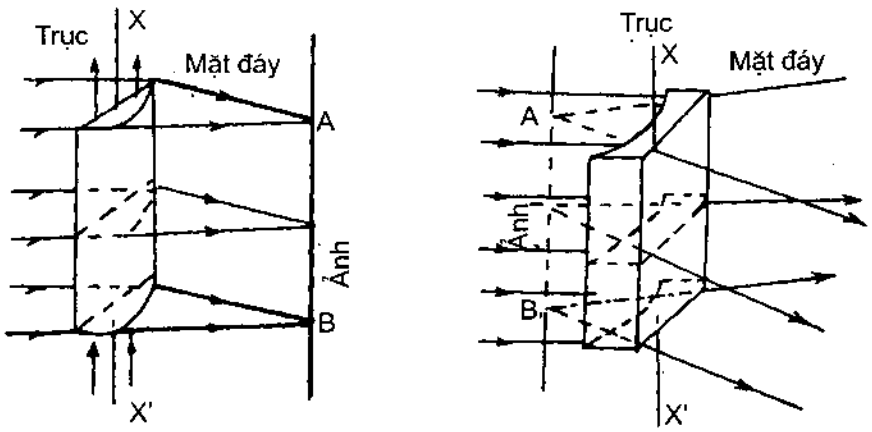


Hình 5.24

Vì ánh sáng trắng là ánh sáng hỗn hợp bao gồm các bước sóng từ 0,39 ÷ 0,76 μm, mặt khác n = f(λ), do đó khi qua thấu kính các tia sáng có bước sóng khác nhau sẽ hội tụ hoặc phân kỳ ở các điểm khác nhau trên trục chính của thấu kính do tán sắc ánh sáng (hình 5.24). Hiện tượng này gọi là sắc sai.

Để khử bỏ các sai sót về quang hình học này người ta thường sử dụng phương pháp ghép các thấu kính phân kỳ, hội tụ trên cùng một trục chính. Sau khi ghép thích hợp thì tất cả các tia sẽ hội tụ tại một điểm do đó ảnh sẽ phản ánh đúng tính chất của vật. Muốn khử bỏ sắc sai phải ghép các loại thấu kính khác nhau về bản chất.

c. Thấu kính trụ: Thấu kính trụ là tập hợp các thấu kính cầu mỏng giống nhau ghép chồng khít lên nhau (hình 5.25). Đường thẳng xx' thẳng góc với hai mặt đáy và đi qua quang tâm của các thấu kính cầu mỏng gọi là trục của thấu kính. Chùm tia sáng song song chiếu thẳng góc với mặt đáy không bị khúc xạ, chùm tia sáng song song chiếu theo phương vuông góc với trục thấu kính sẽ bị khúc xạ, sau khi qua thấu kính sẽ hội tụ trên đường thẳng song song với trục thấu kính (đối với thấu kính trụ hội tụ) hoặc sẽ phân kỳ sao cho đường kéo dài gặp nhau trên đường thẳng song song với trục ở phía trước thấu kính (đối với thấu kính trụ phân kỳ). Như vậy ảnh của một điểm qua thấu kính trụ sẽ là một đoạn thẳng nằm trên đường tiêu.



Hình 5.25

http://tieulun.hopto.org

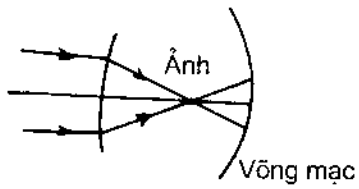
3.2. Các tật quang hình của mắt và dụng cụ bổ trợ

Với con mắt bình thường (không có tật) thì ảnh của vật luôn hiện đúng trên võng mạc ở vùng điểm vàng, ảnh rõ nét và phản ánh đúng bản chất của vật về cả kích thước, màu sắc, tính chất. Tuy nhiên cấu tạo của mắt có thể không bình thường do bẩm sinh, do bị chấn thương làm xuất hiện các sẹo trên giác mạc, do bệnh của hệ lưỡng chất cầu, do rối loạn khả năng điều tiết... làm cho ảnh không hiện rõ trên võng mạc, tạo nên các chứng cận thị, viễn thị và loạn thị. Để sửa các tật này phải dùng các dụng cụ bổ trợ cho mắt, đó là các thấu kính cầu mỏng bổ trợ cho mắt bị cận thị, viễn thị và thấu kính trụ cho trường hợp mắt bị tật loạn thị.

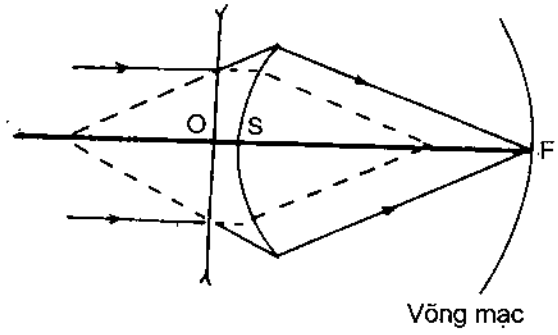
a. Cận thị và cách sửa:

Mắt cận thị ở trạng thái nghỉ (không điều tiết) có mặt phẳng tiêu nằm trước võng mạc do đó khi nhìn vật ở vô cực ảnh của vật sẽ hiện ở trước võng mạc (hình 5.26).

Viễn, cận điểm của mắt gần hơn so với mắt bình thường. Trong khoảng từ viễn điểm đến cận điểm mắt cận cũng điều tiết như mắt bình thường và khi vật ở sau cận điểm mắt cận không còn khả năng điều tiết. Để sửa tật cận thị phải dùng thấu kính mỏng phân kỳ làm dụng cụ bổ trợ.



Hình 5.26

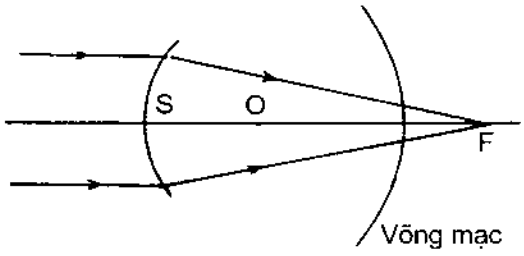


Hình 5.27. Tật cận thị đã được sửa

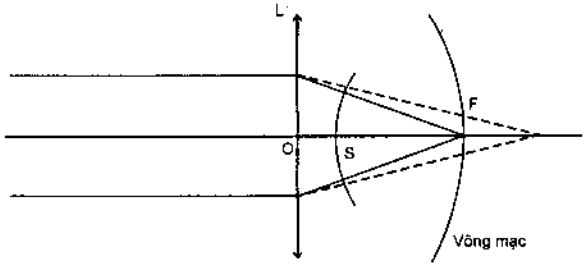
Khi đó ánh sáng qua hệ quang học gồm thấu kính phân kỳ ghép đồng trục với mắt sẽ tác dụng lên võng mạc và ảnh của vật sẽ hiện đúng trên võng mạc (hình 5.27). Tác dụng của thấu kính phân kỳ là làm giảm độ tụ của mắt cận.

b. Viễn thị và cách sửa: ở trạng thái nghỉ, mắt viễn thị có mặt phẳng tiêu nằm sau võng mạc nên khi nhìn vật mà không điều tiết thì ảnh của vật sẽ hiện ở sau võng mạc. Nếu tiêu điểm không ở xa võng mạc quá thì mắt tự điều tiết để làm tăng độ tụ sao cho ảnh của vật vẫn hiện rõ nét trên võng mạc. Trường hợp mắt viễn nặng (tiêu điểm ở xa võng mạc quá) thì dù có điều tiết cũng không nhìn được vật ở xa. Khi đưa vật lại gần thì ảnh càng lùi xa võng mạc. Như vậy mắt viễn nặng sẽ không nhìn rõ vật ở xa cũng như gần. Trong trường hợp các tia sáng có phương thích hợp vẫn hội tụ trên võng mạc lúc đó đường kéo dài của tia gặp trục chính ở điểm sau võng mạc, điểm này gọi là viễn điểm ảo.

http://tieulun.hopto.org



Hình 5.28



Hình 5.29. Tật viễn thị đã được sửa

Muốn sửa tật viễn thị phải dùng thấu kính mỏng hội tụ bổ trợ, thấu kính này sẽ làm tăng độ tụ của mắt làm cho ảnh của vật hiện trên võng mạc. Thấu kính sửa phải có độ tụ thích hợp để cho mặt phẳng tiêu của hệ trùng với võng mạc (hình 5.29).

Cận, viễn thị có thể do nhiều nguyên nhân gây nên nhưng về cơ bản chúng ta thấy nếu trục của mắt dài, ngắn hơn mắt bình thường, bán kính cong của các lưỡng chất cầu lớn, nhỏ hơn so với mắt bình thường và sự thay đổi chiết suất của môi trường ở mắt có thể làm cho mắt mắc các chứng cận thị hoặc viễn thị.

Khi bệnh đục thuỷ tinh thể mới phát sinh, môi trường tạo nên thuỷ tinh thể đặc lại, tỷ trọng, chiết suất tăng làm tăng độ tụ dẫn đến mắt bị cận. Sau khi cắt bỏ thuỷ tinh thể, độ tụ sẽ giảm đi nhiều dẫn đến mắt bị viễn rất nặng.

c. Mắt già: Khả năng điều tiết của mắt già kém hơn mắt bình thường, mắt già có cận điểm xa hơn và không nhìn rõ vật ở gần. Ở tuổi 45 ÷ 50 khi đọc sách phải để xa mắt từ 30 ÷ 50 cm mới nhìn rõ nhưng có nhược điểm là ảnh sẽ nhỏ đi. Để khắc phục, mắt già phải đeo thêm một thấu kính cầu hội tụ, độ tụ tổng cộng không quá 3,5 điôp, với tuổi 45 cần đeo thêm thấu kính có độ tụ + 1 điôp là vừa. Cứ già thêm 5 tuổi thì độ tụ của thấu kính bổ trợ tăng thêm +0,5 điôp. Với tuổi quá già (60 tuổi trở lên) thuỷ tinh thể có bán kính cong lớn do đó khi không điều tiết mặt phẳng tiêu ở sau võng mạc giống mắt viễn, do đó không nhìn được vật ở xa, muốn nhìn thấy vật phải đeo thêm một thấu kính hội tụ có độ tụ nhỏ. Tóm lại mắt già phải dùng hai thấu kính mỏng hội tụ bổ trợ, một thấu kính có độ tụ lớn để nhìn gần và một thấu kính có độ tụ nhỏ hơn để nhìn xa. Thường độ tụ của thấu kính nhìn gần gấp ba lần độ tụ của thấu kính nhìn xa, hai loại thấu kính có độ tụ khác nhau được ghép trên cùng một giá (khung kính).

Với mắt cận, khi về già bán kính cong của lưỡng chất cầu tăng lên, làm giảm độ tụ do vậy cân nhẹ đi và ở tuổi 45 ÷ 50 có thể không phải dùng kính nữa. Ngược lại mắt viễn càng già càng nặng hơn và mắt viễn già nhanh hơn mắt bình thường.

d. Loạn thị và cách sửa: Loạn thị là tật của mắt trong đó độ tụ không đều theo mọi phương do các mặt cầu khúc xạ trong mắt không phải hoàn toàn hình cầu, do vậy ảnh của vật hiện trên võng mạc là ảnh nhoè.

– Trường hợp độ cong của các mặt cầu khúc xạ thay đổi bất kỳ theo mọi phương thì mắt mắc chứng bệnh loạn thị không đều. Trường hợp này là do giác mạc có sẹo, do hậu quả của đau mắt hột hay bị chấn thương do dị vật bắn vào. Muốn

http://tieulun.hopto.org

sửa chỉ cần dùng chất dẻo trong suốt có chiết suất như của thuỷ tinh thể dán vào giác mạc.

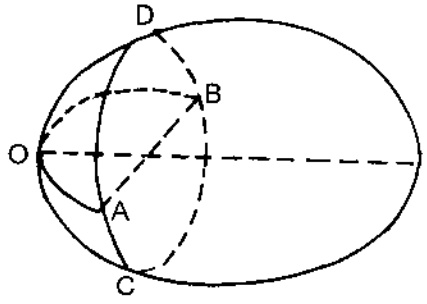
– Trường hợp độ cong của các mặt cầu khúc xạ thay đổi đều theo mọi phương thì mắt mắc chứng loạn thị đều. Lúc này mặt cong của lưỡng chất cầu tổng hợp không phải là chỏm cầu mà là một phần của mặt elipsoid tròn xoay (hình 5.30).

Bán kính cong thay đổi đều từ kinh tuyến AOB đến kinh tuyến COD.

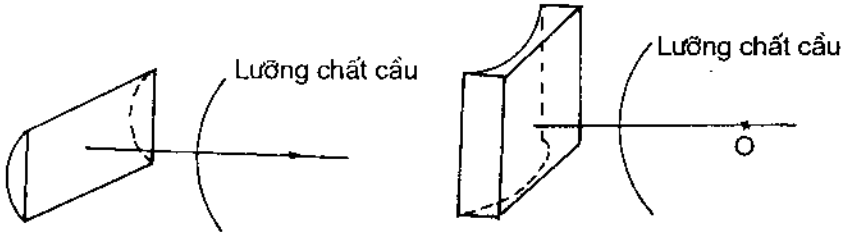
Loạn thị đều được chia làm hai loại:

* *Loạn thị đều theo quy tắc:*

Loạn thị đều theo quy tắc chiếm 85% tổng số trường hợp loạn thị. Ở tật này kinh tuyến ngang AOB có bán kính cong nhỏ hơn bán kính cong của kinh tuyến đứng COD. Do vậy độ tụ theo phương ngang lớn hơn độ tụ theo phương đứng. Mắt loạn thị theo quy tắc tương đương với hệ quang học gồm một lưỡng chất cầu ghép với một thấu kính trụ hội tụ có trục nằm ngang hoặc tương đương với hệ quang học gồm lưỡng chất cầu ghép với thấu kính trụ phân kỳ có trục thẳng đứng (hình 5.31).

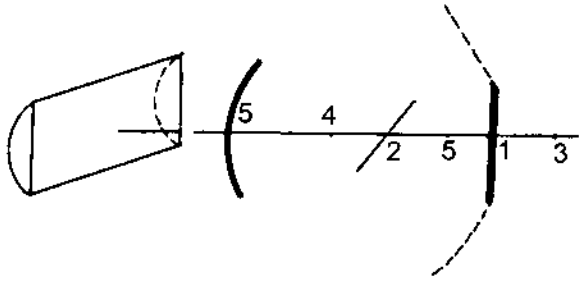


Hình 5.30



Hình 5.31: Mắt loạn thị theo quy tắc

Một chùm tia sáng song song, sau khi qua mắt sẽ hội tụ trên hai đoạn thẳng, đoạn nằm ngang ở phía trước đoạn thẳng đứng. Tuỳ theo vị trí của võng mạc mà mắt có thể nhìn rõ một trong hai đoạn thẳng đó, hoặc không nhìn rõ cả hai. Khi võng mạc ở vị trí 1 mắt mắc chứng loạn cận đơn, ở vị trí 2 là loạn viễn đơn, ở vị trí 3 là loạn cận kép, ở vị trí 4 là loạn viễn kép, ở vị trí số 5 là loạn hỗn hợp (hình 5.32).



Hình 5.32

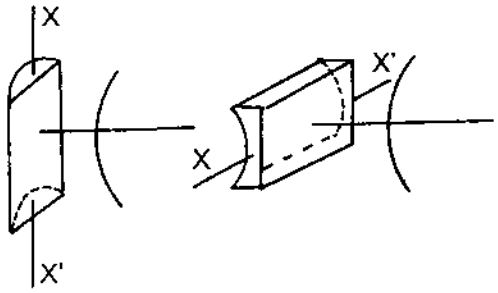
http://tieulun.hopto.org

** Loạn thị đều không theo qui tắc:*

Trường hợp này chỉ chiếm 15% tổng số trường hợp loạn thị đều. Ở trường hợp này kinh tuyến đứng COD có bán kính cong nhỏ hơn bán kính cong của kinh tuyến ngang AOB, do đó độ tụ theo phương đứng lớn hơn độ tụ theo phương ngang (hình 5.33).

Loạn thị đều không theo qui tắc tương đương với một lưỡng chất cầu ghép với một thấu kính trụ hội tụ có trục thẳng đứng, hoặc tương đương với hệ quang học gồm lưỡng chất cầu ghép với một thấu kính trụ phân kỳ có trục nằm ngang.

Một chùm tia sáng song song sau khi qua hệ quang học này sẽ hội tụ trên hai đoạn thẳng, đoạn thẳng đứng ở phía trước đoạn nằm ngang. Tuỳ theo vị trí của võng mạc mà ta cũng có các trường hợp sau (hình 5.34).



Hình 5.33

Võng mạc ở vị trí 1 là loạn cận đơn.

Võng mạc ở vị trí 2 là loạn viễn đơn.

Võng mạc ở vị trí 3 là loạn cận kép.

Võng mạc ở vị trí 4 là loạn viễn kép.

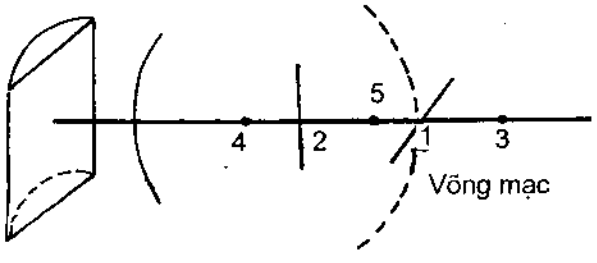
Võng mạc ở vị trí 5 là loạn hỗn hợp.

Cách sửa tật loạn thị :

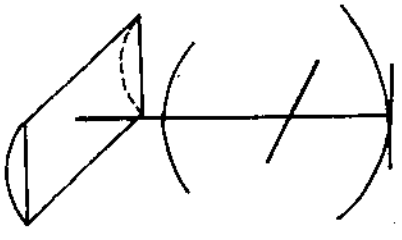
Tất cả các tật loạn thị đã nêu ở trên đều sửa được bằng cách phối hợp các thấu kính cầu và trụ thích hợp. Ta xét hai trường hợp cụ thể:

** Sửa loạn cận đơn theo qui tắc:*

Khi không điều tiết, ảnh của một điểm ở vô cực sẽ hiện trên hai đoạn thẳng (hình 5.34). Đoạn đứng ở võng mạc, đoạn ngang ở trước võng mạc. Muốn sửa tật này phải giảm độ tụ theo phương ngang để cho đoạn ngang lùi về võng mạc. Như vậy phải đeo cho mắt một thấu kính trụ phân kỳ có trục nằm ngang (hình 5.35).



Hình 5.34

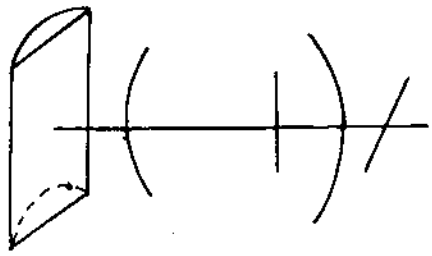


Hình 5.35. Loạn cận đơn theo quy tắc đã sửa

http://tieulun.hopto.org

**Sửa tật loạn hỗn hợp không theo qui tắc:*

Khi không điều tiết, ảnh của vật ở vô cực là hai đoạn thẳng, đoạn đứng ở phía trước võng mạc còn đoạn ngang ở phía sau võng mạc (hình 5.36).



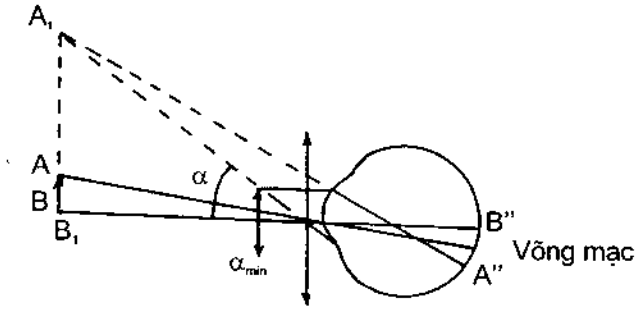
Hình 5.36

Ta có thể dùng thấu kính hội tụ có độ tụ thích hợp để đưa về trường hợp loạn cận đơn không theo qui tắc, sau đó dùng một thấu kính trụ phân kỳ có độ tụ thích hợp, trục thẳng đứng để sửa tật loạn cận đơn.

Trường hợp này cũng có thể dùng thấu kính cầu phân kỳ để đưa về loạn viễn đơn, sau đó dùng thấu kính trụ hội tụ để sửa tật loạn viễn đơn. Tất cả các trường hợp loạn hỗn hợp và loạn kép đều có thể dùng thấu kính cầu để về loạn đơn sau đó tiếp tục dùng thấu kính trụ để sửa tiếp tật loạn đơn. Thực tế thấu kính cầu và trụ được ghép chung thành một cái.

2.4. Phương pháp hiển vi

Chúng ta đã biết đối tượng nghiên cứu của lý sinh là các hệ thống sống và hoạt động của nó. Nhiệm vụ của lý - sinh là nghiên cứu không phải chỉ ở mức tế bào mà còn có kích thước nhỏ hơn, đó là các đại phân tử (ADN, ARN, acid amin, các phân tử đường...). Sự sắp xếp các phân tử này tạo nên các thành phần cấu trúc cơ bản của cấu trúc tế bào như protid, glucid, lipid... Các cấu trúc này có kích thước nhỏ bé.



Hình 5.37

Khi nghiên cứu phải quan sát, đo đạc, trong khi góc phân ly tối thiểu của mắt bình thường là α_{min} = 1 phút. Ứng với giá trị của góc này, ở khoảng cách nhìn thuận lợi l_o = 25 cm, còn phân biệt được hai điểm AB có khoảng cách d = $7{,}5.10^{-5}$ m. Với khoảng cách nhỏ hơn thì mắt không phân ly được nữa. Lúc đó A' và B' là ảnh của A, B sẽ trùng nhau và sẽ cùng kích thích lên một tế bào thần kinh thị giác, mắt không phân li được A và B. Muốn nhìn được vật có kích thước quá bé (μm) phải dùng dụng cụ bổ trợ cho mắt. Tác dụng của dụng cụ bổ trợ là làm tăng góc nhìn, mắt sẽ quan sát ảnh của vật dưới góc nhìn lớn hơn tức là làm tăng năng suất phân li của mắt.

http://tieulun.hopto.org

Thí dụ một vật AB có kích thước khá bé đặt cách mắt một khoảng bằng l_o = 25cm thì mắt không phân li được A, B hoặc nhìn thấy ảnh A', B' của A, B nhưng không rõ. Nếu đặt trước mắt một thấu kính hội tụ L sao cho AB nằm trong khoảng tiêu cự của L, lúc đó mắt sẽ quan sát ảnh A_1B_1 của AB dưới góc nhìn $\alpha > \alpha_{min}$. L đặt ở vị trí thích hợp để cho A_1B_1 có vị trí nằm trong khoảng cách nhìn thuận lợi l_o = 25cm (hình 5.37).

Các dụng cụ bổ trợ cho mắt trong nghiên cứu y học, sinh học là các loại kính hiển vi quang học và kính hiển vi điện tử.

2.4.1. Nguyên lý chung của các loại kính hiển vi

Nguyên lý chung của các dụng cụ hiển vi là sử dụng các loại thấu kính có khả năng làm thay đổi hướng truyền của tia sáng hoặc của chùm điện tử. Các thấu kính sử dụng với ánh sáng nhìn thấy thường làm bằng thuỷ tinh Flin hoặc Crao, với ánh sáng tử ngoại là thạch anh, với chùm điện tử là các "thấu kính điện tử". Nhờ khả năng làm thay đổi hướng truyền tia sáng, chùm điện tử của thấu kính người ta chế tạo ra các kính hiển vi có khả năng phóng đại vật lên tới 1500 - 2500 lần, kính hiển vi điện tử có thể phóng đại vật lên tới 600.000 lần.

Các loại thấu kính cầu mỏng đã mô tả rõ ở mục 2.5. Ở đây ta nói thêm về các loại thấu kính điện tử.

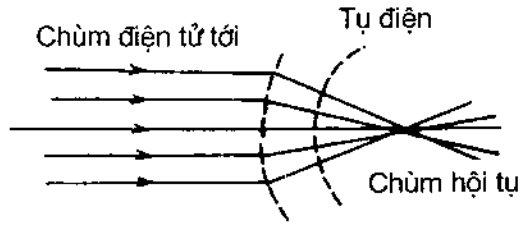
Louis De Broglie đã nêu lên rằng: một chùm điện tử có cùng vận tốc sẽ được gắn với sóng liên kết có bước sóng xác định theo công thức:

$$\lambda = \frac{h}{m.v} \qquad (5.54)$$

h = 6,625. 10^{-34} J.s là hằng số Plăng, p = mv là động lượng của vi hạt. Biểu thức cho biết các hạt khi chuyển động có lưỡng tính sóng, hạt. Tính chất này được thể hiện rõ khi thấy chùm điện tử cũng bị nhiễu xạ, tán xạ khi truyền qua một khe hẹp và ở màn chắn sau khe cũng thu được ảnh nhiễu xạ giống như trường hợp nhiễu xạ của ánh sáng nhìn thấy.

Các thấu kính điện tử có khả năng làm lệch hướng truyền của chùm tia điện tử, có hai loại thấu kính điện tử.

– *Thấu kính tĩnh điện:* đó là một tụ điện mà hai bản cực là hai lưới kim loại tạo thành hai mặt cong đồng tâm (hình 5.38) sau khi xuyên qua các lỗ của lưới, điện tử sẽ đi vào vùng có tác dụng của điện trường, điện trường sẽ làm thay đổi hướng truyền của điện tử làm cho các tia điện tử song song trục chính sẽ hội tụ lại tại tiêu điểm. Với điện tử có vận tốc nhỏ thì quĩ đạo của nó trùng với đường sức của điện trường.



Hình 5.38

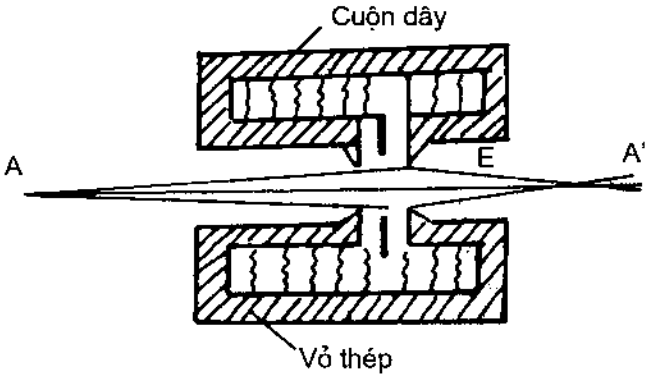
http://tieulun.hopto.org

Thấu kính từ: Đó là cuộn dây hình Solenoid được bọc trong một vỏ thép (hình 5.39). Cuộn dây có cấu tạo để cho từ trường chỉ xuất hiện trong vùng E. Khi có dòng điện chạy qua cuộn dây thì ở vùng E xuất hiện từ trường có cường độ H. Chùm điện tử phát ra từ nguồn xạ phát điện tử A sau khi qua thấu kính sẽ hội tụ tại A' do tác dụng của từ trường H.

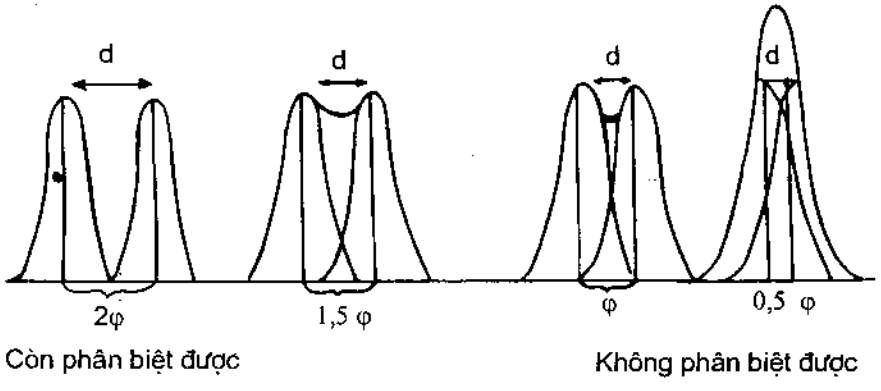
2.4.2. Năng suất phân ly của kính hiển vi

Chúng ta đã biết các tia sáng cũng như chùm điện tử có cùng vận tốc khi đi qua một khe hẹp đều bị thay đổi phương truyền do hiện tượng nhiễu xạ. Nhờ có hiện tượng nhiễu xạ và vận dụng tiêu chuẩn Rayleigh người ta đã xác định được khả năng phân ly của các dụng cụ hiển vi.

Năng suất phân ly của dụng cụ hiển vi là một đại lượng cho biết khả năng phân ly hai điểm có khoảng cách nhỏ nhất (cỡ μm). Năng suất phân li càng lớn thì khả năng phân giải càng cao.



Hình 5.39



Hình 5.40

Thí dụ hai điểm sáng có khoảng cách là ℓ qua kính hiển vi cho hai ảnh nhiễu xạ có cực đại trung tâm với cường độ phân bố trên hình 5.40. Các đường đậm nét là cường độ sáng tổng hợp. Từ đây dễ dàng thấy khả năng phân ly hai điểm sáng khi khoảng cách d giữa hai đỉnh của hai cực đại trung tâm phải lớn hơn bán kính vân sáng trung tâm tức là d>ρ, khi d<ρ thì không có khả năng phây ly nữa. Như vậy phải có d_{min} để cho KHV còn có khả năng phân ly. Chúng ta đã biết:

$$\rho = \theta.f = 1{,}22\frac{\lambda}{2r}f \qquad (5.55)$$

http://tieulun.hopto.org

nên

$$d \geq 1{,}22\frac{\lambda}{2r}f$$

Người ta đã chứng minh được với điều kiện trên thì:

$$\ell = 0{,}61\frac{\lambda}{n.\sin\theta} \qquad (5.56)$$

ℓ là khoảng cách giữa hai điểm sáng mà mắt còn phân biệt được. Nếu gọi năng suất phân ly của kính hiển vi là S thì nó là đại lượng nghịch đảo của ℓ_{min} (khoảng cách nhỏ nhất giữa 2 điểm sáng):

$$S = \frac{1'}{\ell' min} \quad \text{với} \quad \ell_{min} = 0{,}61\frac{\lambda}{n.\sin\theta}$$

$$S = \frac{n\sin\theta}{0{,}61\lambda} \qquad (5.57)$$

n: chiết suất môi trường đặt vật quan sát.

θ: góc lệch của tia sáng hoặc chùm điện tử với trục chính.

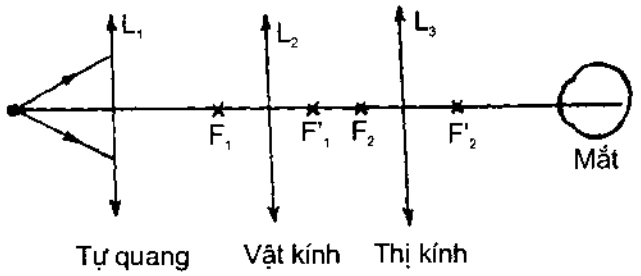
λ: bước sóng.

Từ (5.57) chúng ta thấy muốn có S lớn thì ℓ_{min} phải nhỏ, ℓ_{min} nhỏ khi n, θ là lớn và λ càng bé càng tốt. Chính vì vậy chùm điện tử có bước sóng liên kết rất nhỏ nên KHV điện tử có khả năng phóng đại lớn hơn (10^5 lần) kính hiển vi quang học.

2.4.3. Kính hiển vi quang học

a. Nguyên lý và cấu tạo của kính hiển vi quang học: Hiện nay chúng ta có nhiều loại kính hiển vi quang học để sử dụng trong nghiên cứu y sinh học. Tuỳ theo yêu cầu nghiên cứu, tính chất và đặc điểm của từng đối tượng nghiên cứu người ta đã chế tạo các loại như kính hiển vi trường sáng, kính hiển vi trường tối, kính hiển vi tử ngoại, kính hiển vi phân cực, kính hiển vi huỳnh quang, v.v...

Tất cả các loại kính hiển vi quang học này về nguyên lý, cấu tạo cơ bản giống nhau là dùng các hệ thấu kính quang học đã khử hết hiện tượng quang sai và các hệ được đặt trên cùng một trục chính. Đặc điểm cơ bản của hệ quang học này là phải có tiêu cự ngắn để nâng các hệ số phóng đại. Hệ quang



Hình 5.41

http://tieulun.hopto.org

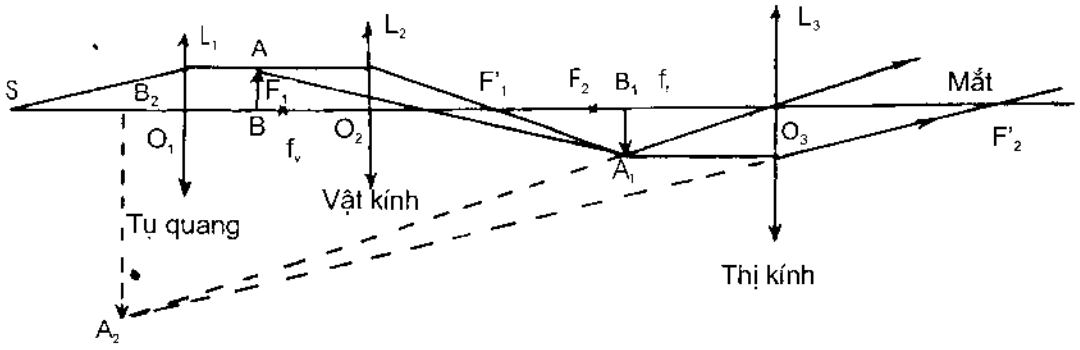
học gồm kính tụ quang L_1, vật kính L_2 (đặt gần vật quan sát), thị kính L_3 (đặt gần mắt) như hình 5.41.

Tuỳ theo đối tượng nghiên cứu người ta sử dụng nguồn sáng S khác nhau và cũng tuỳ thuộc S người ta dùng các loại thấu kính làm bằng các chất liệu khác nhau như thuỷ tinh Flin, Crao, thạch anh. Trong giáo trình này chúng ta nghiên cứu các loại kính hiển vi trường sáng, kính hiển vi trường tối, kính hiển vi tử ngoại, kính hiển vi huỳnh quang. Trong đó chủ yếu là kính hiển vi trường sáng được sử dụng rộng rãi trong y, sinh học.

b. Kính hiển vi quang học trường sáng:

– *Cấu tạo:* S là nguồn phát ánh sáng trắng và thấu kính làm bằng thuỷ tinh trong suốt.

– *Nguyên tắc tạo ảnh:* Nguyên tắc chung về dựng ảnh là sử dụng các định luật quang hình như định luật truyền thẳng của ánh sáng, định luật khúc xạ ánh sáng khi đi vào thấu kính. A_1B_1 là ảnh của vật AB qua vật kính (ảnh thật) và A_2B_2 là ảnh của A_1B_1 qua thị kính (ảnh ảo). Để cho A_2B_2 là ảnh ảo thì A_1B_1 phải nằm trong khoảng tiêu cự của thị kính. A_3B_3 là ảnh hiện trên võng mạc của mắt khi quan sát ảnh A_2B_2 của vật AB qua quang hệ. Để cho không mỏi mắt khi quan sát người ta thường phải di chuyển ống kính (chứa vật kính và thị kính) sao cho vật kính cách vật AB một khoảng cách thích hợp để A_1B_1 nằm đúng tiêu điểm F_2 của thị kính, lúc đó mắt như quan sát ở vô cực (xem hình 5.42).



Hình 5.42. Cấu tạo quang học kính hiển vi trường sáng

– *Độ phóng đại:*

Gọi khoảng cách giữa tiêu điểm chính thứ hai của vật kính và tiêu điểm chính thứ nhất của thị kính là Δ; Δ là độ dài quang học của kính hiển vi.

f'_1 tiêu cự thứ 2 của vật kính.

f'_2 tiêu cự thứ 2 của thị kính.

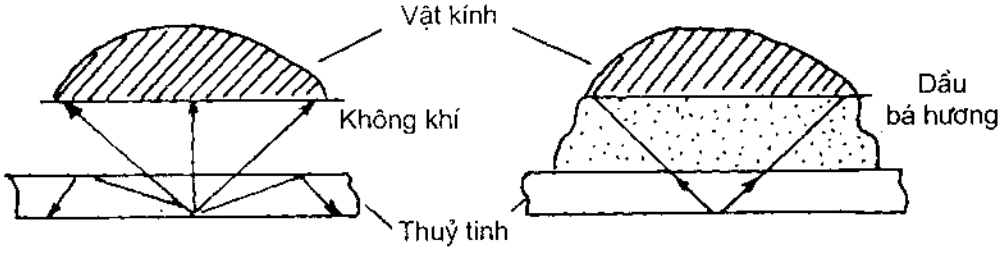
Người ta đã chứng minh được độ phóng đại của kính hiển vi xác định theo công thức sau:

$$K = K_V.K_T = \frac{\Delta}{f'_1}.\frac{\ell_o}{f'_2}\left(\ell_o = 25cm\right) \qquad (5.58)$$

http://tieulun.hopto.org

Công thức 5.58 cho biết với Δ, ℓ_o cố định thì các hệ quang học có tiêu cự càng ngắn độ phóng đại càng lớn. Tuy nhiên việc giảm tiêu cự của vật kính và thị kính cũng bị giới hạn do hiện tượng nhiễu xạ của ánh sáng trong kính hiển vi, bởi vì với tiêu cự f_1 và f_2 quá bé sẽ không còn khả năng phân biệt được hai điểm sáng nằm gần nhau.

Nhưng dựa vào điều kiện $\ell_{min} = 0{,}61\dfrac{\lambda}{n.\sin\theta}$ chúng ta có thể làm tăng năng suất phân ly kính hiển vi trường sáng bằng cách tăng n của môi trường chứa vật quan sát hoặc tăng góc θ (góc mở của vật kính). Việc tăng θ cũng chỉ có một giới hạn nhất định vì góc θ quá lớn sẽ làm xuất hiện hiện tượng quang sai. Biện pháp tốt nhất là tăng n của môi trường chứa vật, để thực hiện điều đó người ta thường để vật kính chìm trong môi trường có chiết suất lớn như dầu bá hương (n = 1,4). Sử dụng vật kính chìm còn khắc phục được hiện tượng quang sai và hiện tượng phản xạ toàn phần giữa tấm thuỷ tinh và không khí (hình 5.43). Chiết suất của dầu được chọn bằng chiết suất của thuỷ tinh, khi đó góc mở θ có thể ≈ 90°. Với n = 1,5 thì giá trị nsinθ = 1,4 và khả năng phân giải có thể tăng lên tới 4,5 lần so với khi không dùng vật kính chìm. Từ công thức $\ell_{min} = 0{,}61\ \lambda/n.\sin\theta$ chúng ta thấy khi chiếu sáng kính hiển vi bằng ánh sáng có bước sóng λ chỉ có thể phân giải được các điểm cách nhau một khoảng λ. Do đó lúc này những vật có kích thước < λ dùng kính hiển vi có tinh xảo đến đâu cũng không phân giải được.



Hình 5.43

– *Độ tương phản:* Độ tương phản là sự khác nhau giữa cường độ sáng trên ảnh của vật và môi trường xung quanh hoặc giữa các phần khác nhau trên ảnh. Độ tương phản càng lớn thì ảnh càng rõ nét. Khi cho ánh sáng có bước sóng xác định chiếu vào vật cần quan sát thì độ tương phản thể hiện ở sự hấp thụ khác nhau giữa phần cần nghiên cứu với môi trường xung quanh. Muốn quan sát nhân và bào tương của tế bào thì cường độ sáng đi qua nhân và qua bào tương phải khác nhau, do đặc điểm riêng của các cấu trúc, khả năng hấp thụ năng lượng của chúng sẽ khác nhau. Tuy nhiên trong thực tế có những đối tượng sống có mức độ hấp thụ năng lượng ánh sáng giống với môi trường xung quanh, do đó độ tương phản của ảnh kém và ảnh không rõ. Để giải quyết vấn đề này người ta nhuộm vật nghiên cứu, vật sẽ hấp thụ thuốc nhuộm khác nhau và độ tương phản của ảnh sẽ được tăng lên. Nhưng việc nhuộm tiêu bản có một nhược điểm cơ bản là làm chết tế bào nên không thể quan sát trực tiếp các hoạt động sống của tế bào.

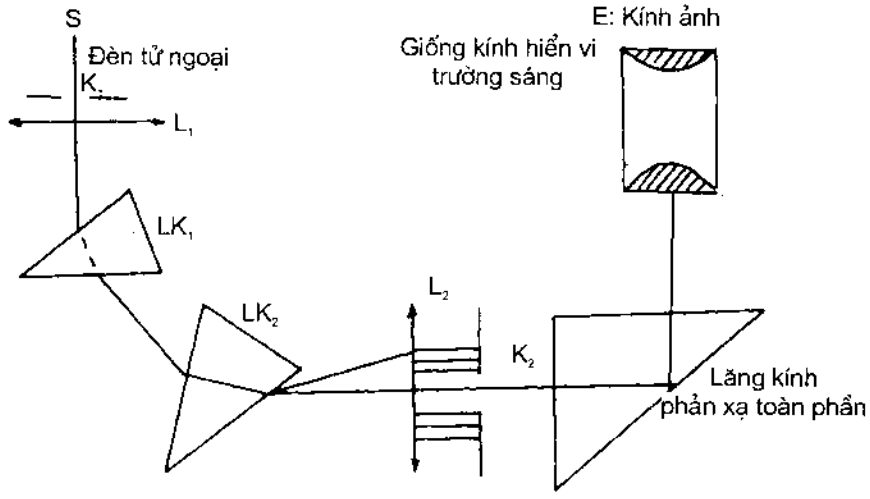
http://tieulun.hopto.org

2.4.4. Các loại tính hiển vi khác

a. Kính hiển vi tử ngoại: Nguyên lý và cấu tạo cơ bản giống kính hiển vi trường sáng, chỉ khác ở các điểm sau đây:

– Soi tiêu bản bằng ánh sáng tử ngoại (đèn thuỷ ngân).

– Các thấu kính làm bằng thạch anh bởi vì thuỷ tinh thường hấp thụ mạnh tia tử ngoại còn thạch anh không hấp thụ tia tử ngoại.



Hình 5.44

– Có bộ lọc tia tử ngoại để tạo ra chùm tia đơn sắc bao gồm lăng kính phân tích, khe lọc và lăng kính phản xạ toàn phần (hình 5.44). Cần chú ý không quan sát trên kính hiển vi tử ngoại bằng mắt thường vì tia tử ngoại có tác hại lớn tới mắt. Vì vậy khi nghiên cứu bằng kính hiển vi tử ngoại phải chụp bằng phim ảnh hoặc kính ảnh.

Ưu điểm chính của kính hiển vi tử ngoại là tia tử ngoại có bước sóng ngắn do đó (theo công thức 5.57) làm tăng năng suất phân ly của kính (có thể tăng gấp đôi so với kính hiển vi trường sáng), đồng thời cũng là tăng độ tương phản của ảnh vì các thành phần cấu trúc của tế bào như protein, acid nucleic hấp thụ mạnh tia tử ngoại.

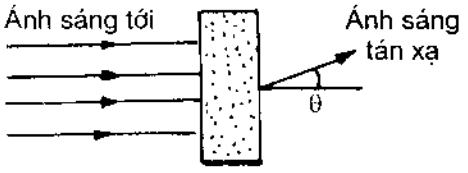
b. Kính hiển vi huỳnh quang: Nguyên lý của kính hiển vi huỳnh quang là dựa vào hiện tượng một số chất khi bị tia tử ngoại kích thích sẽ phát ra ánh sáng có bước sóng đặc trưng cho chính nó. Thí dụ diệp lục sẽ phát quang màu đỏ tươi. Sự phát quang của chính vật cần nghiên cứu do tác dụng của tia tử ngoại tạo nên ánh sáng huỳnh quang, ánh sáng huỳnh quang sẽ tạo ảnh của vật qua kính hiển vi huỳnh quang có những phần giống kính hiển vi trường sáng và kính hiển vi tử ngoại) chỉ thêm một bộ phận ngăn tia tử ngoại để nó không có trong thành phần tạo

http://tieulun.hopto.org

ảnh của vật. Có một số thành phần trong cấu trúc tế bào như protein, acid nucleic... không có khả năng phát quang do đó phải nhuộm các đối tượng đó bằng các chất có khả năng phát quang.

c. Kính hiển vi trường tối:

Một số đối tượng ở dạng dung dịch không đồng nhất về mặt quang học do đó khi chịu tác dụng của ánh sáng sẽ xuất hiện hiện tượng giống như tán xạ Tyndall đối với môi trường dung dịch có chứa các hạt lạ (hình 5.45).



Hình 5.45

Hiện tượng tán xạ chính là hiện tượng các tia sáng khi đi qua môi trường dung dịch có chứa hạt lạ sẽ bị đổi phương so với phương truyền ban đầu. Cường độ của ánh sáng tán xạ phụ thuộc vào kích thước của hạt lạ, bước sóng của ánh sáng kích thích λ, góc lệch θ, số hạt lạ N và thể tích của hạt V.

$$J_{TX} = kI_o \frac{NV^2}{r^2\lambda^4}\left(1+\cos^2\theta\right) \qquad (5.59)$$

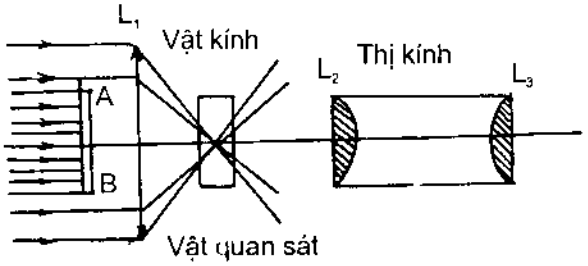
(J_{TX} là cường độ tán xạ: Io là cường độ sáng ban đầu và r là khoảng cách tại điểm xét cường độ sáng đến nguồn. Khi hạt lạ có kích thước khá bé thì:

$$J_{TX} = k\frac{1}{\lambda^2} \qquad (5.60)$$

Lúc này J_{TX} chỉ phụ thuộc vào bước sóng và tỷ lệ nghịch với bình phương của bước sóng ánh sáng tán xạ. Dựa vào hiện tượng tán xạ người ta đã tạo ra kính hiển vi trường tối.

Về cấu tạo cơ bản giống kính hiển vi trường sáng chỉ thêm màn chắn AB đặt dưới kính tụ quang để ngăn các tia sáng gần trục và cho các tia xạ trục chính đi qua thấu kính (5.46). Các tia sáng đi qua mép thấu kính bị khúc xạ với góc lớn, do đó sau khi đi qua tiêu bản sẽ không tác dụng vào thị kính. Các hạt nhỏ có trong tiêu bản khi bị chiếu sáng sẽ trở thành nguồn thứ cấp phát ra ánh sáng truyền đi theo mọi hướng và đi vào thị kính, nhờ đó mà ta quan sát được tiêu bản.

Kính hiển vi trường tối làm tăng độ tương phản nhưng lại làm giảm khả năng phân ly so với các kính hiển vi khác. Vì thế nó chỉ được ứng dụng để quan sát sự di chuyển (hoạt động) của đối tượng sống, không sử dụng trong nghiên cứu về cấu trúc được.



Hình 5.46

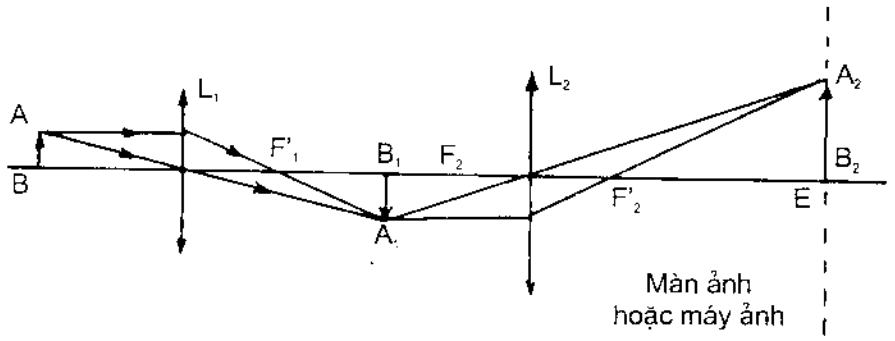
http://tieulun.hopto.org

2.4.5. Phương pháp chiếu và chụp bằng hiển vi

Nguyên lý chung của phương pháp này là qua quang hệ của kính hiển vi phải tạo ra được ảnh thật của vật quan sát. Muốn có ảnh thật phải bố trí thị kính hoặc vật kính sao cho ảnh của vật tạo bởi vật kính phải nằm ngoài tiêu điểm chính thứ nhất của thị kính.

– Muốn chiếu ảnh ta chỉ cần đặt màn ảnh tại vị trí của ảnh thật, vị trí của màn ảnh phải được đặt thích hợp để cho ảnh rõ nét.

– Muốn chụp hoặc quay phim chỉ việc đặt máy ảnh hay máy quay phim vào vị trí của mắt quan sát và điều chỉnh để ảnh thật của quang hệ hiện lên phim ảnh giống như ảnh hiện lên võng mạc của mắt khi quan sát (hình 5.47).



Hình 5.47

2.4.6. Kính hiển vi điện tử

Theo giả thuyết của Louis de Broglie thì một chùm điện tử có cùng vận tốc được gắn với một sóng liên kết bước sóng được xác định theo công thức:

$$\lambda = \frac{h}{m.v} \tag{5.61}$$

Trị số của bước sóng liên kết của các vi hạt nói chung và của điện tử nói riêng rất nhỏ so với bước sóng của tia tử ngoại. Theo công thức (5.57) cho biết trong những yếu tố làm tăng khả năng phân giải của kính hiển vi có thể chiếu mẫu vật bằng chùm điện tử. Lúc đó khả năng phân giải của kính sẽ lớn hơn rất nhiều so với những kính dùng nguồn chiếu là tia tử ngoại hoặc tia X. Từ đó người ta đã chế tạo ra kính hiển vi điện tử với nguồn chiếu là nguồn phát điện tử. Điện tử trước khi chiếu vào mẫu vật phải được gia tốc trong một điện trường rất mạnh tạo bởi một điện áp khoảng 60 kV.

Chúng ta biết $$eU = \frac{1}{2} m v_e^2 \tag{5.62}$$

Từ (5.61) và (5.62) chúng ta suy ra:

$$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2meU}} \tag{5.63}$$

http://tieulun.hopto.org

m: khối lượng của điện tử

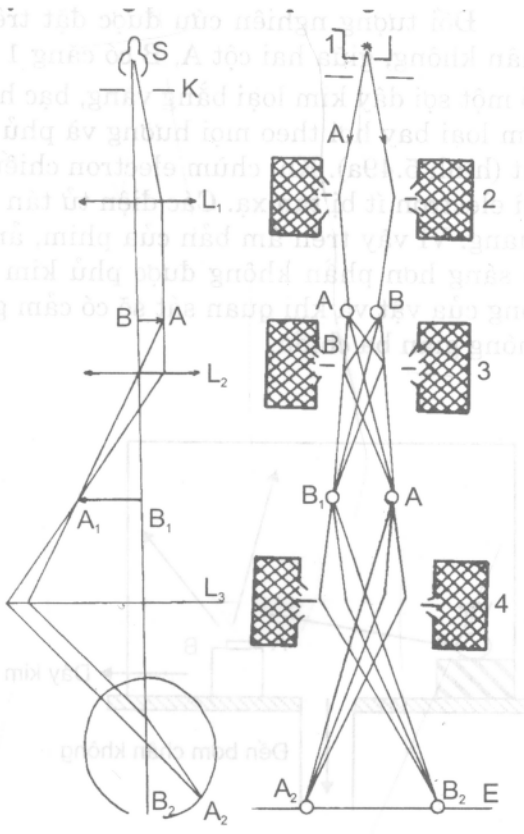
e: điện tích của điện tử

U: điện áp tăng tốc điện tử

Từ (5.63) chúng ta thấy muốn làm giảm λ_e. để tăng khả năng phân giải chỉ cần tăng U. Với U = 60 kV thì λ = 5 pm, U = 100 kV thì λ_e. = 3 pm (1 pm = 10^{-12}m). Như vậy về phương diện lý thuyết chúng ta có thể phân giải được hai điểm có khoảng cách nhỏ tới 3 ÷ 2 pm.

a. Cấu tạo kính và sự tạo ảnh

Về nguyên tắc chung giống kính hiển vi quang học, song khác ở chỗ nguồn phát bức xạ chiếu vào mẫu vật là nguồn phát điện tử và phải có các thấu kính để làm lệch hướng chùm điện tử. Ngoài ra còn có thêm một số bộ phận đặc biệt phù hợp với tính chất tạo ảnh của chùm điện tử. Mẫu vật được đặt trong chân không để tránh hiện tượng tán xạ của electron trong không khí và làm tăng độ tương phản. Hình 5.48 là sơ đồ cấu tạo và nguyên tắc tạo ảnh của kính hiển vi điện tử.



Hình 5.48. Sơ đồ cấu tạo và cách vẽ ảnh của kính hiển vi quang học trường sáng và kính hiển vi điện tử

Chùm electron được phát ra từ sợi đốt (1) bằng kim loại trước khi đi vào thấu kính từ hội tụ (2), các electron được gia tốc ở vùng A có điện trường U = 60 kV. Sau khi qua thấu kinh từ (2) chùm điện tử chiếu vào mẫu vật đặt trong chân không (B). Sau khi qua mẫu vật, chùm electron đi vào thấu kinh từ (3) (có vai trò như vật kính ở kính hiển vi quang học) và tạo nên ảnh thứ nhất A_1B_1. Thấu kính từ (4) sẽ tạo ảnh A_2B_2 của A_1B_1. Vai trò của thấu kính này giống thị kính ở kính hiển vi quang học. Màn huỳnh quang E sẽ ghi ảnh A_2B_2.

Để đảm bảo không có sự tán xạ điện tử trong không khí người ta dùng hệ thống bơm ("bơm khuyếch tán", hay "bơm phân tử") để tạo ra khoảng chân không bên trong thấu kính và có một cửa sổ đặc biệt để đưa mẫu vật vào mà không làm ảnh hưởng đến độ chân không đó. Chúng ta cần lưu ý không phải tất cả electron do nguồn phát ra đều tham gia tạo ảnh bởi vì khi chiếu vào mẫu vật, do ảnh hưởng của mật độ electron có trong mẫu một số electron bị tán xạ, bị quay ngược lại hoặc bị nhiễu xạ với góc lớn. Chỉ có điện tử nhiễu xạ với góc bé đi vào thấu kính từ vật kính mới tham gia tạo ảnh của vật.

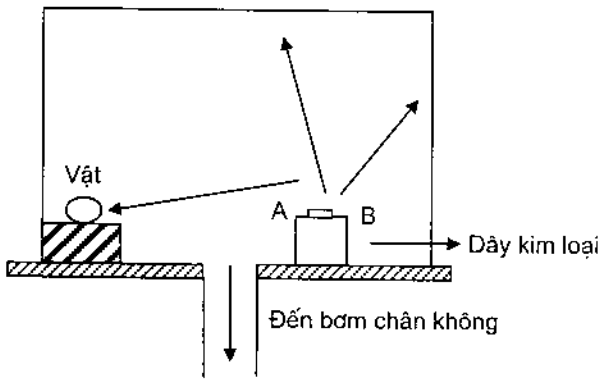
http://tieulun.hopto.org

b. Nguyên tắc và kỹ thuật làm việc với kính hiển vi điện tử

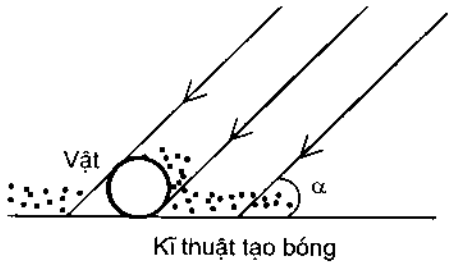
• Quan sát trực tiếp: Vật cần quan sát được đặt lên giá đỡ đủ mỏng để cho chùm điện tử đi qua mà ít hao tổn năng lượng. Giá đỡ là các phim Colodion. Phim Colodion được chế tạo bằng cách nhỏ một giọt colodion (đã được hoà tan trong acetat etyl) lên mặt nước colodion sẽ dàn ra trên mặt nước thành một lớp mỏng gọi là phim Colodion. Muốn quan sát các đối tượng như vi khuẩn thì chỉ cần nhỏ 1 giọt dung dịch nuôi cấy vi khuẩn lên mặt phim colodion rồi để cho khô đi.

• Kỹ thuật tạo bóng để làm tăng độ tương phản

Đối tượng nghiên cứu được đặt trên một giá đỡ trong một chuông thuỷ tinh chân không, giữa hai cột A, B có căng 1 sợi dây kim loại bằng Tungsten và gác lên đó một sợi dây kim loại bằng vàng, bạc hay kền. Ở độ chân không cao các nguyên tử kim loại bay hơi theo mọi hướng và phủ lên giá đỡ trừ vùng phía sau vật cần quan sát (hình 5.49a). Khi chùm electron chiếu vào vật thì những chỗ có phủ lớp kim loại thì electron ít bị tán xạ. Các điện tử tán xạ đến tác dụng lên phim hoặc màn huỳnh quang. Vì vậy trên âm bản của phim, ảnh của vật ứng với phần được phủ kim loại sẽ sáng hơn phần không được phủ kim loại (hình 5.49b). Như vậy là đã ghi được bóng của vật và khi quan sát sẽ có cảm giác nổi tức là thấy được chiều thứ ba trong không gian ba chiều.



Hình 5.49a



Hình 5.49b

• Kỹ thuật chế tạo các bản sao bề mặt

Có một số đối tượng nghiên cứu có kích thước dày và đặc không cho electron lọt qua hoặc một số đối tượng bị bỏng trong môi trường chân không của kính. Do đó muốn quan sát được các vật đó phải chế tạo các bản sao bề mặt của vật. Kỹ thuật chế tạo bản sao bề mặt như sau:

Phủ một lớp chất dẻo như Polystyvil hoặc chất lỏng trong suốt như Polyvinil lên bề mặt của vật. Các chất này sẽ lắng vào tất cả các chi tiết "lồi - lõm" của bề mặt vật. Sau khi để khô, người ta tách lớp chất dẻo ra khỏi bề mặt vật và sẽ có một bản sao tất cả các chi tiết trên bề mặt. Bản sao này sẽ được đưa lên kính để quan sát.

http://tieulun.hopto.org

- Kỹ thuật tổ chức học

Khi quan sát các mô và tế bào bằng kính hiển vi điện tử chúng ta phải làm tiêu bản với kỹ thuật tổ chức học cổ điển: mô quan sát phải được cố định, khử nước và cuộn vào một chất dẻo, cắt thành những khoanh mỏng bằng dao cắt siêu mỏng rồi nhuộm để làm tăng độ tương phản của ảnh. Các khoanh mỏng thường được cắt với bề dày chừng 5nm (= 5.10^{-9}m). Chiều dày 20nm tương đương với kích thước của 100 nguyên tử và khoảng cách phân ly của kính hiển vi tương đương với 10 nguyên tử. Thực tế khả năng phân ly còn kém hơn vì độ tương phản của một số tế bào, mô so với môi trường xung quanh không đủ lớn. Để khắc phục nhược điểm này người ta tiến hành nhuộm electron, nghĩa là đưa một số chất phản ứng như crôm, chì, bạc... vào kết hợp với chất cấu tạo nên vật quan sát để làm tăng khả năng tán xạ của điện tử.

c. Vai trò của kính hiển vi điện tử trong sinh học và y học

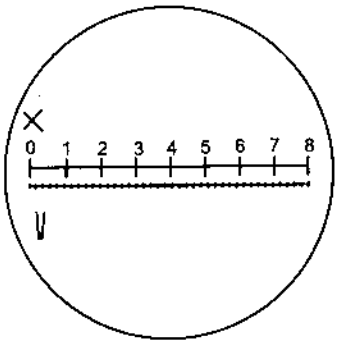
Do có khả năng phân ly lớn hơn rất nhiều lần so với các loại kính hiển vi quang học nên kính hiển vi điện tử được dùng để nghiên cứu các đối tượng vi mô không những ở mức tế bào mà còn ở mức phân tử như các acid nucleic, acid amin, protein... Nhờ kính hiển vi điện tử chúng ta cũng quan sát được một số đại phân tử cấu tạo nên các tế bào như collagen trong tổ chức liên kết, phân tử actin, myosin trong tế bào cơ, một số vi rút mà kính hiển vi quang học không quan sát được. Phương pháp nghiên cứu bằng kính hiển vi điện tử kết hợp với tự chụp hình phóng xạ có thể khảo sát mối liên quan giữa cấu trúc và chức năng một số tế bào sống.

2.5. Cách đo kích thước các vật nhỏ bằng kính hiển vi

2.5.1. Thước trắc vi

Trong y học và sinh học nhiều lúc phải quan sát và đo lường kích thước các tế bào, các vi sinh vật mà với mắt bình thường không có khả năng nhìn thấy được. Để quan sát và đo lường được đối tượng đó phải sử dụng kính hiển vi quang học trường sáng có thêm bộ phận đo độ dài, đó là thước trắc vi vật kính (TVVK) và trắc vi thị kính (TVTK).

– Thước trắc vi vật kính: là thước đo độ dài có độ chia nhỏ nhất 10µm. Thước này được vạch trên một tấm kính nhỏ (26 x 76mm). Toàn bộ chiều dài của thước 1mm được chia thành 100 phần bằng nhau. Thước TVVK có giá trị độ chia phù hợp với kích thước của đối tượng cần đo và không thấy rõ bằng mắt thường được nên phải đo qua kính hiển vi.



Hình 5.50

– Trắc vi thị kính: là 1 bộ phận gồm có thị kính và một thước chia độ. Thước có độ dài xác định, được chia đều thành 8 vạch từ 0-8. Thước được vạch trên tấm kính trong suốt có mặt phẳng là K_1 giá trị mỗi độ chia chưa được biết cụ thể như ở thước TVVK, mà mỗi độ chia

http://tieulun.hopto.org

này được đánh giá qua sự di chuyển của vạch chuẩn nằm trên một tấm kính phẳng K_2 trong suốt, song song và gần tiếp xúc với K_1 (Hình 5.50).

Sự di chuyển vị trí của vạch chuẩn thực hiện với một ốc làm chuyển động mặt phẳng K_2 (chứa vạch chuẩn). Núm xoáy ốc hình tròn, trên vành núm ốc được chia thành 100 phần bằng nhau từ 0 - 100. Điều chỉnh số "0" ở núm ốc về vị trí sao cho vạch chuẩn trùng với số "0" ở thước chia độ. Khi núm ốc quay tròn một vòng thì ốc dịch chuyển được một "bước ốc" tương ứng với độ dài 1mm. Khi đó vạch chuẩn ở K_2 dịch chuyển được một khoảng bằng một độ chia của thước chia độ. Vậy mỗi độ chia ở thước ứng với 1mm độ dài. Giá trị mỗi độ chia của thước ở TVTK chỉ được đánh giá gián tiếp, giá trị này phù hợp với kích thước ảnh của vật qua kính hiển vi.

2.5.2. Phương pháp đo

a. Làm tiêu bản: cố định đối tượng nghiên cứu trên một lam kính sao cho độ tương phản giữa đối tượng đo và môi trường chứa nó là lớn nhất.

b. Xác định giá trị độ chia của thước TVTK theo giá trị độ chia đã biết của thước TVTVK. Cách tiến hành như sau:

Đặt TVVK lên mâm kính tại vị trí của đối tượng cần đo, điều chỉnh kính sao cho ảnh của hai thước cùng hiện rõ trong thị trường, điều chỉnh hai thước song song và gần trùng lên nhau, tìm các vạch trùng nhau của hai thước sau đó đếm số vạch trong khoảng giới hạn của hai vị trí có vạch trùng. Ta có:

$$S = 10.\left(\frac{n}{N}\right)\mu m \qquad (5.64)$$

N: là số vạch ở thước TVTK.

n: là số vạch ở thước TVVK.

S: là giá trị một độ chia của thước TVTK.

c. Đo kích thước vật: Đặt đối tượng đo vào vị trí của TVVK, sau đó dùng vạch chuẩn để xác định giới hạn của kích thước đối tượng là L ta có:

$$L = S\left[N + \frac{d}{100}\right]\mu m \qquad (5.65)$$

L: độ dài kích thước đối tượng đo

N: Số vạch chẵn của TVTK

d: phần lẻ của vạch, phần này được đọc ở số độ chia trên núm ốc bên ngoài.

III. BẢN CHẤT CỦA ÁNH SÁNG

1. Thuyết sóng điện từ về bản chất của ánh sáng

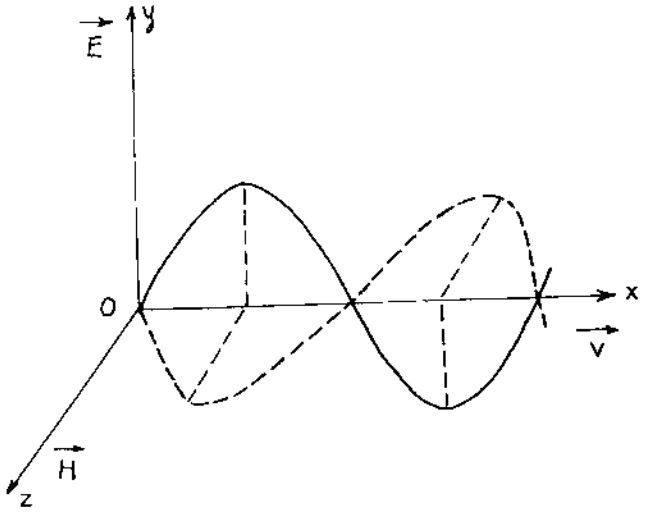
Từ năm 1865, Maxwell đã kết luận rằng ánh sáng là sóng điện từ. Kết luận này được thực nghiệm chứng minh là đúng.

http://tieulun.hopto.org

Theo thuyết sóng điện từ, ánh sáng truyền đến một điểm được đặc trưng bằng hai vectơ tại điểm đó: vectơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và vectơ cường độ từ trường $\vec{H}$. Hai vectơ này vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền ánh sáng, chúng có giá trị thay đổi theo thời gian. Trường hợp đơn giản nhất có thể coi:

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_0}\cos(\omega t + \alpha) \qquad (5.67)$$

$$\vec{H} = \overrightarrow{H_0}\cos(\omega t + \alpha)$$



Hình 5.51

Giả sử trên trục toạ độ Oxyz tại 0 có ánh sáng truyền tới và ở đó vectơ $\vec{E}$, $\vec{H}$ thay đổi theo quy luật trên, ánh sáng truyền đi tiếp theo phương Ox, biểu diễn sự biến thiên của $\vec{E}$ trong mặt phẳng xOy, $\vec{H}$ trong mặt phẳng xOz, ta có hình 5.51. E_0 và H_0 là biên độ dao động của các vectơ cường độ điện trường và từ trường, ω là tần số góc, α là pha ban đầu. Khi ánh sáng truyền đến điểm M nào đó cách O một khoảng x thì tại đó cường độ điện trường $\vec{E}$ và cường độ từ trường $\vec{H}$ thay đổi theo quy luật:

$$\vec{E} = \overrightarrow{E_0}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha\right] \qquad (5.68)$$

$$\vec{H} = \overrightarrow{H_0}\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha\right]$$

v là tốc độ lan truyền ánh sáng của môi trường chứa hai điểm O và M.

Khi ánh sáng truyền đến mắt ta chỉ có thành phần điện trường gây cảm giác sáng, còn thành phần từ trường không gây cảm giác sáng, nên khi ta xét tương tác

http://tieulun.hopto.org

của ánh sáng với nguyên tử, phân tử vật chất ta chỉ cần quan tâm đến thành phần điện trường. Biểu thức:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right) + \alpha\right]$$

Trong đó: υ - tần số ánh sáng

$\omega = 2\pi\upsilon$

λ - bước sóng

$$\lambda\upsilon = v \qquad (5.69)$$

$\vec{E}$ khi ấy gọi là vectơ sáng.

Khi ánh sáng truyền trong chân không, nó có tốc độ cực đại, ký hiệu là c (c = 300.000 km/s). Gọi bước sóng ánh sáng trong chân không là λ_0 ta có:

$$\lambda_0\upsilon = c \qquad (5.70)$$

Biểu thức (5.69) và (5.79) cho ta thấy là ánh sáng có tần số càng lớn thì bước sóng càng nhỏ và ngược lại. Đem chia (5.69) cho (5.70) ta có:

$$\frac{\lambda_0\upsilon}{\lambda\upsilon} = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda} = n \qquad (5.71)$$

n gọi là chiết suất của môi trường. Biểu thức này cho ta thấy bản chất của chiết suất môi trường. Để đơn giản, sau này khi nói đến bước sóng, ta hiểu đó là bước sóng trong chân không.

Người ta cũng có:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$$

Với ε_0 là hằng số điện môi còn μ_0 là độ từ thẩm của chân không.

$$\varepsilon_0 = 8{,}84.10^{-12}.SI; \qquad \mu_0 = 1{,}26.10^{-6}.SI$$

Cường độ trung bình tại 1 điểm của sóng điện từ (hoặc ánh sáng) được tính theo công thức:

$$I = \frac{1}{2}\varepsilon_0.c.E_0^2$$

Người ta thường dùng các đơn vị sau để đo bước sóng ánh sáng trong phạm vi từ tia hồng ngoại đến tia Rơnghen.

Micromet (μm) = 10^{-6}m = 10^{-3}mm

Nanomet (nm) = 10^{-9}m = 10^{-6} mm

http://tieulun.hopto.org

Angstrom (Å) = 10^{-10} m = 10^{-1} nm

Thí dụ hơi Natri cháy sáng phát ra ánh sáng vàng có

$$\lambda = 5895 \text{ Å} = 589{,}5 \text{ nm} = 0{,}5895 \text{ μm}$$

Đơn vị đo tần số là Héc (Hz); đối với các tần số lớn người ta thường dùng đơn vị Fresnen (Fr), 1 Fr = 10^{12} Hz

Trong quang phổ học, đặc biệt là quang phổ miền hồng ngoại người ta còn dùng một đại lượng khác đó là số sóng, ký hiệu là υ.

$$\bar{\upsilon} = \frac{1}{c} = \frac{1}{\lambda} \qquad (5.72)$$

Dựa vào số đo của λ người ta quy ước sóng điện từ chia thành thang sóng như sau: (Bảng 5.2)

Bảng 5.2

Loại sóng	λ (tính trong chân không)
Sóng vô tuyến điện	3.10^{6} cm - 10^{-1} cm
Tia hồng ngoại	10^{-1} cm - 0,76 μm
Ánh sáng nhìn thấy	0,76 μm - 0,39 μm
Tia tử ngoại	0,39 μm - 10^{-2} μm
Tia Rơnghen	10^{-2} μm - 10^{-5} μm
Tia gama	10^{-5} μm - trở xuống

Đối với miền ánh sáng nhìn thấy, mỗi chùm ánh sáng có bước sóng xác định gây nên một cảm giác màu sắc nhất định, ngược lại mỗi mầu đơn sắc ứng với một vùng bước sóng hẹp. Bảng 5.3 cho ta quan hệ tương đối giữa màu đơn sắc và bước sóng.

Bảng 5.3

Màu sắc	Bước sóng (μm)
Đỏ	0,76 - 0,63
Da cam	0,63 - 0,60
Vàng	0,60 - 0,57
Lục (xanh lá cây)	0,57 - 0,50
Lam (xanh da trời)	0,50 - 045
Chàm (xanh biển đậm)	0,45 - 0,43
Tím	0,43 - 0,39

http://tieulun.hopto.org

2. Thuyết lượng tử ánh sáng

Thuyết lượng tử do Planck nêu lên lần đầu tiên, sau đó Einsteine, Dirac, De Broglie bổ sung khẳng định rằng năng lượng ánh sáng không nhận các giá trị tuỳ ý (liên tục) mà nhận các giá trị gián đoạn, xác định. Phần nhỏ nhất của năng lượng ánh sáng:

$$\varepsilon = h.\upsilon \qquad (5.73)$$

được gọi là photon (hạt ánh sáng) là lượng tử ánh sáng hay lượng tử năng lượng. Ở đây h là hằng số Planck, v là tần số ánh sáng. Biểu thức (5.75) có thể viết cách khác:

$$\varepsilon = h.\upsilon = h\frac{c}{\lambda} = hc\frac{1}{\lambda} = h.c\bar{\upsilon}$$

Photon không có khối lượng tĩnh, trong chân không có vận tốc c. Dựa vào biểu thức tương đương giữa năng lượng và khối lượng của Eistein:

$$\varepsilon = m.c^2 \qquad (5.74)$$

trong đó m là khối lượng động (phụ thuộc vào vận tốc) ta có thể suy ra xung lượng (động lượng) của photon là:

$$p = mc = \frac{h}{\lambda} \qquad (5.75)$$

Biểu thức (5.75) diễn tả mối quan hệ giữa tính chất hạt (có khối lượng, động lượng) và tính chất sóng (có bước sóng) của photon.

3. Các mức năng lượng của điện tử trong nguyên tử

Dựa vào thuyết lượng tử của Planck, Niels Bohr đã đưa ra các định đề sau để giải quyết khó khăn của mẫu hành tinh nguyên tử:

Điện tử chỉ quay quanh hạt nhân trên các quĩ đạo xác định ứng với những giá trị có thể của năng lượng nguyên tử. Khi quay trên những quỹ đạo này, điện tử không bức xạ hoặc hấp thụ năng lượng và nguyên tử nằm ở trạng thái dừng. Năng lượng của nguyên tử ở những trạng thái dừng khác nhau thay đổi một cách không liên tục. Nếu điện tử chuyển từ quỹ đạo xa nhân sang quỹ đạo gần nhân thì nó phát ra một lượng tử năng lượng hυ. Khi hấp thu lượng từ năng lượng, điện tử chuyển sang quỹ đạo xa nhân hơn, còn nguyên tử chuyển sang trạng thái kích thích.

Năng lượng phát xạ hay hấp thụ khi điện tử chuyển từ quỹ đạo này sang quỹ đạo khác, bằng hiệu số giữa 2 mức năng lượng ban đầu và cuối:

$$\varepsilon = E_1 - E_2 = h.\upsilon \qquad (5.76)$$

υ là tần số ánh sáng bức xạ hay hấp thụ do sự chuyển quỹ đạo của điện tử.

http://tieulun.hopto.org

Những thành tựu hiện nay của thuyết lượng tử về cấu tạo nguyên tử cho biết trạng thái của điện tử trong nguyên tử hoặc phân tử được đặc trưng bằng các mức năng lượng và được xác định bằng 4 số lượng tử.

– Số lượng tử chính n, nhận các giá trị nguyên, dương 1,2,3,4... xác định năng lượng của điện tử ứng với quỹ đạo của nó.

– Số lượng tử phụ ℓ có thể nhận các giá trị nguyên, dương từ 0 đến (n -1) (với n là số lượng tử chính), đặc trưng cho momen cơ học quỹ đạo.

– Số lượng tử từ m đặc trưng cho momen từ quỹ đạo của điện tử, nhận các giá trị nguyên từ $-\ell$ đến $+\ell$ kể cả giá trị 0.

– Số lượng tử spin đặc trưng cho sự quay của điện tử quanh trục riêng của nó. Spin chỉ có thể nhận 2 giá trị. $+\frac{1}{2}$ và $-\frac{1}{2}$. Hai điện tử quay quanh trục của mình theo 2 hướng ngược nhau tạo thành một cặp có spin đối song song.

Lớp vỏ điện tử của nguyên tử được tạo nên theo quy luật xác định và chặt chẽ. Trong tất cả những trạng thái có thể ở nguyên tử, điện tử luôn chiếm trạng thái sao cho năng lượng của nó là cực tiểu. Đồng thời không thể có 2 điện tử trong cùng một nguyên tử có 4 số lượng tử hoàn toàn giống nhau (nguyên lý Pauli). Dựa vào những điều kiện đó người ta đã mô tả được đám mây điện tử của nguyên tử. Trạng thái của phân tử, nguyên tử sẽ thay đổi khi có ít nhất một số lượng tử của một điện tử thay đổi.

Khi chiếu ánh sáng vào các phân tử, do hấp thụ lượng tử ánh sáng, điện tử thay đổi trạng thái, do đó xuất hiện những nguyên tử ở trạng thái kích thích, vì thế mà các phân tử có khả năng tham gia vào các phản ứng. Điện tử bị kích thích không tạo thành cặp, bởi thế giữa hai nguyên tử bị kích thích cùng có những điện tử không tạo cặp, nếu chúng ở khoảng cách vừa đủ, thì các quỹ đạo của chúng giao nhau dẫn đến sự tạo nên liên kết.

Năng lượng toàn phần của phân tử có thể coi gồm có 3 thành phần: E_e năng lượng điện tử tuỳ thuộc vào sự phân bố điện tử. E_{dd} - năng lượng do sự dao động của các nguyên tử trong phân tử xung quanh vị trí cân bằng, E_q - là năng lượng tạo nên do phân tử quay xung quanh trục của phân tử:

$$E_{pt} = E_e + E_{dd} + E_q \qquad (5.77)$$

Khi phân tử hấp thụ hay phát ra lượng tử năng lượng, năng lượng của phân tử thay đổi một lượng ΔE mà:

$$\Delta E = \Delta E_e + \Delta E_{dd} + \Delta E_q \qquad (5.78)$$

Thực tế cho thấy $\Delta E_e >> \Delta E_{dd} >> \Delta E_q$. Khi có ΔE_e là có sự thay đổi trạng thái điện tử ta sẽ có phổ miền tử ngoại, nhìn thấy. Tương ứng với ΔE_{dd} và ΔE_q là phổ hồng ngoại.

http://tieulun.hopto.org

Trong tế bào sống luôn luôn có sự trao đổi vật chất và năng lượng ở mức độ cao nhờ các quá trình hoá học và vật lý khác nhau. Giai đoạn đầu tiên của bất kỳ quá trình hoá học nào cũng mang đặc tính vật lý, đó là sự phân phối lại các điện tử ở nguyên tử, phân tử, tạo nên một trạng thái mới so với trạng thái trước khi xảy ra phản ứng. Sự phân bố lại các điện tử xảy ra, theo thuyết lượng tử là do có sự xuất hiện những liên kết trung gian trong dạng các ion hay các gốc tự do ở tất cả những chất có khả năng tham gia phản ứng. Những liên kết này gây nên bước chuyển các nguyên tử sang trạng thái kích thích. Những phản ứng hoá sinh xảy ra trong cơ thể là nhờ có các men, chúng có khả năng chuyển các điện tử lên mức năng lượng cao hơn, tức là tạm thời nâng mức thế năng của toàn hệ. Sau khi kết thúc phản ứng thì phần năng lượng dư thừa thải ra ở dạng nhiệt.

Sự trao đổi cấu hình điện tử của phân tử phụ thuộc vào năng lượng mà phân tử hấp thụ. Nếu năng lượng đó đủ lớn để bứt điện tử ra khỏi nguyên tử thì tạo nên các gốc ion dương. Thường thường nguyên tử nhận một phần năng lượng nhỏ nên điện tử chỉ chuyển lên mức năng lượng cao hơn.

Khi hấp thụ một năng lượng lớn, các nguyên tử chuyển sang trạng thái kích thích, tạo nên những phân tử có khả năng hoạt động hoá học cao hơn. Việc tạo nên những hợp chất này hay khác còn phụ thuộc vào những điều kiện cụ thể của quá trình phản ứng hoá học.

4. Hấp thụ ánh sáng và phát sáng

Một chùm photon trên đường đi trong chân không, gặp môi trường vật chất nào đó, tùy theo năng lượng của photon và bản chất của môi trường có thể xảy ra nhiều hiệu ứng khác nhau.

– Có những photon bị phản xạ: chùm tia sáng sẽ tuân theo định luật phản xạ ánh sáng.

– Có những photon bị khúc xạ: chùm tia sáng tuân theo định luật khúc xạ ánh sáng.

– Có những photon bị tán xạ: có thể nhận được photon theo hướng bất kỳ.

– Có những photon xuyên qua vật chất.

– Có những photon bị môi trường vật chất hấp thụ.

Trong trường hợp này tuỳ theo năng lượng của photon và bản chất của các nguyên tử của môi trường mà có thể xảy ra nhiều kết quả khác nhau: tác dụng nhiệt, tác dụng kích thích nguyên tử, ion hoá (thông qua 3 hiệu ứng quang điện tử, compton, tạo cặp).

4.1. Sự hấp thụ ánh sáng

Khi hấp thụ ánh sáng, điện tử sẽ chuyển từ quỹ đạo trong ứng với mức năng lượng thấp (trạng thái cơ bản) sang quỹ đạo ngoài ứng với năng lượng cao hơn (trạng thái kích thích).

http://tieulun.hopto.org

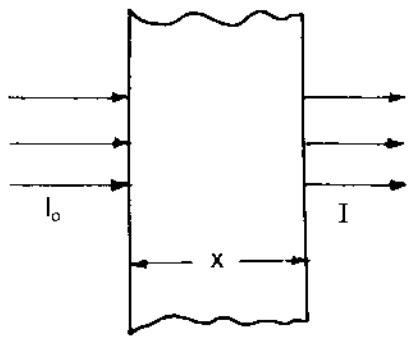
Sự hấp thụ ánh sáng của những vật chất khác nhau thì khác nhau: những chất hấp thụ ánh sáng ở miền nhìn thấy của phổ thì sẽ có mầu sắc (hồng cầu, diệp lục...). Nếu có lượng tử ánh sáng tới xuyên vào phân tử mà năng lượng của nó không phù hợp để chuyển điện tử từ mức thấp hơn lên mức cao hơn, lượng tử ánh sáng không bị hấp thụ, nghĩa là đối với nó thì nguyên tử trong suốt. Điều này giải thích màu sắc của những vật khác nhau. Chẳng hạn sắc tố đỏ của máu là hemoglobin có cực đại hấp thụ ở miền xanh da trời - lá cây của phổ ánh sáng, còn tia đỏ đi qua, bởi vậy nó có màu đỏ. Khi ánh sáng xuyên qua lá cây xanh thì có 2 cực đại hấp thụ: ở vùng đỏ và xanh da trời. Một số chất có cực đại hấp thụ ở vùng tử ngoại của phổ chẳng hạn acid nucleic hấp thụ ở 260nm, protid ở 280nm, một số chất chiết ra từ khối u ác tính ở vùng 340nm.

Dựa vào phổ hấp thụ (sự phụ thuộc của cường độ hấp thụ vào bước sóng λ) có thể xác định bước sóng mà ở đó sự hấp thụ là cực đại và màu sắc của chất đó. Vì bước sóng tỷ lệ nghịch với năng lượng của lượng tử nên dựa vào phổ hấp thụ có thể xác định năng lượng bị hấp thụ hay là sự phân bố các mức năng lượng trong phân tử.

Chùm photon sau khi đi qua một lớp vật chất thì bị giảm bớt số lượng vì có một số photon bị hấp thụ. Số lượng photon bị hấp thụ tỷ lệ với số lần "va chạm" với các phân tử vật chất và dĩ nhiên số lượng photon bị hấp thụ phụ thuộc vào số photon tới, vào năng lượng của photon tới, vào bản chất và chiều dày lớp vật chất mà chùm ánh sáng xuyên qua. Dựa vào lý luận này, người ta xác lập định luật hấp thụ cho chùm tia sáng song song:

$$I(x) = I_0.e^{-\mu x} \qquad (5.79)$$

Trong đó x là chiều dày lớp vật chất hấp thụ; I_0 cường độ chùm tia tới, I(x) là cường độ chùm tia sáng ló ra khỏi chiều dày lớp vật chất x; μ- hệ số hấp thụ phụ thuộc vào bản chất lớp vật chất hấp thụ, vào mật độ lớp vật chất và vào tần số ánh sáng tới (hình 5.52).



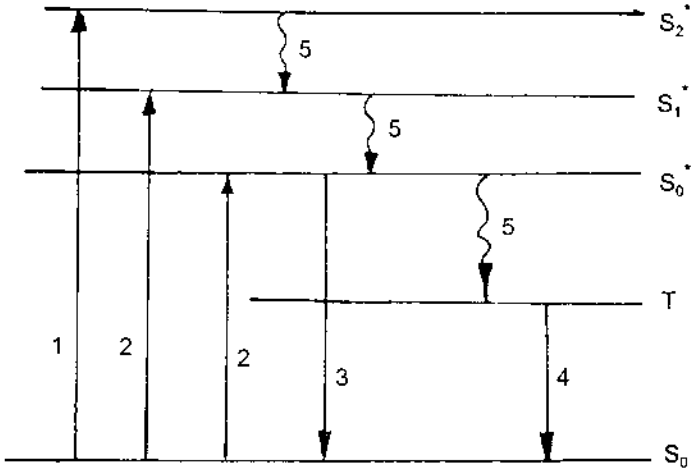
Hình 5.52

4.2. Cơ chế hấp thụ ánh sáng và phát sáng

Các phản ứng hoá sinh bao giờ cũng đi liền với sự hấp thụ hay sản sinh nhiệt. Đặc trưng năng lượng của các phản ứng này trên thực tế được xác định bằng năng lượng của các điện tử nằm ở mức ngoài cùng. Những điện tử này có năng lượng lớn nhất và có liên kết điện với hạt nhân yếu nhất, bởi vậy chúng dễ dàng bị bứt ra khỏi nguyên tử và có thể tham gia vào hàng loạt quá trình phát quang, ion hoá và các phản ứng hoá học. Các quá trình quang sinh gắn liền với những bước chuyển điện tử, chúng chỉ có thể xuất hiện khi có tác dụng của tia tử ngoại hay ánh sáng nhìn thấy có đủ năng lượng (khoảng 3,1 ÷ 6,2 MeV)

http://tieulun.hopto.org

Khi có tác dụng của các lượng tử ánh sáng hay các bức xạ ion hoá hoặc khi đốt nóng dữ dội, các điện tử của các nguyên tử hấp thụ năng lượng ấy, chuyển từ mức năng lượng cơ bản của nó (trạng thái cơ bản) sang mức năng lượng cao hơn (trạng thái kích thích). Quá trình này xem như sự tích luỹ năng lượng. Nhưng vì trạng thái kích thích là trạng thái không bền vững, nên hệ phân tử, nguyên tử tồn tại ở trạng thái này thường không quá 10^{-8}s và luôn có xu hướng trở về trạng thái cơ bản bằng cách giải phóng ra một phần năng lượng tích luỹ ở dạng nhiệt (bước chuyển điện tử không phát quang), ở dạng lượng tử năng lượng (phát quang) hoặc có thể được sử dụng trong các phản ứng quang hoá. Hình 5.53 biểu diễn các bước chuyển điện tử có thể có khi hấp thụ ánh sáng, S_0 là trạng thái cơ bản, S_0^*, S_1^*. S_2^* là trạng thái kích thích singlet. Trạng thái singlet (S) là trạng thái của một lớp điện tử khi mà tất cả các spin của các điện tử đều tạo thành cặp và momen spin tổng cộng bằng 0.



Hình 5.53

1,2 Hấp thụ — 3. Huỳnh quang

4. Lân quang — 5. Không phát quang

Trạng thái triplet (T) là trạng thái ứng với mức năng lượng cấm, ở đó không phải mọi điện tử đều tạo cặp (spin đối song song), hình chiếu của tổng momen spin trên một phương nào đó cho trước nhận giá trị +1,0 và -1. Đặc điểm của trạng thái kích thích triplet là điện tử không thể từ trạng thái cơ bản S_0 chuyển lên, mà nó chỉ có thể chuyển từ trạng thái kích thích singlet sang bằng một bước chuyển không phát quang.

Có 2 dạng phát quang cơ bản: huỳnh quang và lân quang.

– Huỳnh quang là sự bức xạ lượng tử ánh sáng do các phân tử, nguyên tử phát ra khi chúng chuyển từ trạng thái kích thích singlet xuống trạng thái cơ bản. Thời gian phân tử tồn tại ở trạng thái kích thích S^* vào khoảng 10^{-9} - 10^{-8}s vì thế huỳnh quang chỉ tồn tại trong thời gian chiếu sáng mẫu vật.

http://tieulun.hopto.org

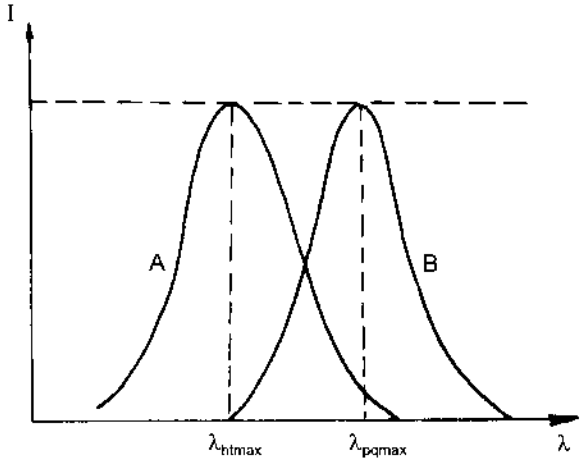
Theo định luật Stock năng lượng photon ánh sáng kích thích bao giờ cũng lớn hơn năng lượng photon ánh sáng phát quang hay nói một cách khác, bước sóng của ánh sáng phát quang (lân quang hoặc huỳnh quang) bao giờ cũng lớn hơn bước sóng kích thích.

$$h\upsilon_{kt} = h\upsilon_{pq} + \Delta E$$

ΔE là phần năng lượng dành cho các quá trình không phải quang học (nhiệt, phản ứng hoá học...)

Sự phụ thuộc của cường độ phát quang của một nguồn vào bước sóng gọi là phổ phát quang của nguồn.

Trên hình 5.54 trình bày các đường cong hấp thụ (A) và đường cong phát quang (B) trong đó λ là bước sóng biểu diễn trên trục hoành, còn trục tung là cường độ hấp thụ hay phát quang tính theo phần trăm, lấy điểm cực đại là 100%. Ta thấy điểm cực đại của phát quang nằm về phía sóng dài hơn, nghĩa là năng lượng lượng tử bị hấp thụ. Sở dĩ như vậy vì một phần năng lượng toả ra trong dạng nhiệt.



Hình 5.54

Trong một phân tử có thể tồn tại nhiều mức năng lượng kích thích vì thế bước sóng chuyển điện tử lên mức kích thích nào đó hoàn toàn phụ thuộc vào năng lượng của lượng tử tới bị hấp thụ. Còn sự phát quang thường thì bao giờ cũng bắt đầu ở phân mức có năng lượng thấp nhất. Chẳng hạn khi kích thích phân tử bằng lượng tử của ánh sáng màu xanh da trời có năng lượng đáng kể, hiệu quả của sự phát quang sẽ giống như khi kích thích bằng lượng tử ánh sáng mầu đỏ có năng lượng thấp hơn. Mầu của ánh sáng phát quang của một loại phân tử xác định không phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng gây nên trạng thái kích thích phân tử.

Lân quang là bức xạ lượng tử ánh sáng do các phân tử, nguyên tử phát ra khi chúng chuyển từ trạng thái kích thích triplet xuống trạng thái cơ bản. Phân tử thường không có khả năng chuyển từ trạng thái cơ bản lên trạng thái kích thích triplet khi hấp thụ năng lượng. Vì thế để tồn tại ở trạng thái triplet rồi về trạng thái cơ bản, phân tử phải trải qua chu trình: trạng thái cơ bản → trạng thái kích thích singlet → trạng thái kích thích triplet → trạng thái cơ bản. Chính vì thế mà các phân tử sau khi hấp thụ lượng tử ánh sáng phải trải qua một khoảng thời gian nào đó mới xảy ra hiện tượng lân quang. Nói khác đi, nếu tắt nguồn năng lượng kích thích, vật phát lân quang còn có thể phát sáng trong một khoảng thời gian

http://tieulun.hopto.org

đáng kể rồi mới tắt hẳn. Thời gian tồn tại hiện tượng lân quang khoảng 10^{-4}s đến vài giây và có thể lâu hơn. Ngoài hai dạng phát quang trên, người ta còn thấy có phát quang hoá học và phát quang sinh học. Phát quang hoá học xảy ra khi các phân tử tương tác với nhau có thể sản sinh ra các lượng tử năng lượng thuộc vùng ánh sáng hồng ngoại, nhìn thấy, tử ngoại. Phát quang sinh học thuộc loại phát quang hoá học, trong đó bản chất của nó là các quá trình men.

5. Sự di chuyển năng lượng trong các hệ sinh vật

Ta biết rằng năng lượng có thể được đưa vào cơ thể không phải chỉ bằng thức ăn, mà còn có thể được đưa vào qua tác dụng của lượng tử ánh sáng và bức xạ ion hoá. Những tác dụng này tạo ra trong cơ thể những trạng thái kích thích phân tử có năng lượng lớn hơn năng lượng của các quá trình chuyển hoá rất nhiều lần. Năng lượng được phân tử hấp thụ này có thể bị thải ra bằng bức xạ lượng tử (phát quang) hoặc có thể được di chuyển từ phân tử này sang phân tử khác hay từ hệ phân tử này sang hệ phân tử khác qua một khoảng cách từ nơi nhận năng lượng đến nơi sử dụng lớn gấp bội kích thước của tế bào. Trước kia người ta quan niệm sự di chuyển năng lượng trong hệ sinh vật chỉ là quá trình khuếch tán các hợp chất giàu năng lượng trong dung dịch. Những thí nghiệm loại sau đây minh chứng cho hiện tượng di chuyển năng lượng: trong hệ sinh vật có hai loại phân tử A và B, chiếu ánh sáng kích thích vào hệ sinh vật ta thấy phổ hấp thụ của hệ trùng với phổ hấp thụ của phân tử A. Sau đó hệ sinh vật phát quang, phổ phát quang của hệ lại trùng với phổ phát quang của phân tử B. Nếu cắt nguồn sáng kích thích, hệ không thể phát quang được nữa. Điều đó chứng tỏ phân tử A hấp thụ năng lượng; năng lượng được di chuyển từ phân tử A sang phân tử B, rồi phân tử B mới phát quang.

Gần đây đã phát hiện ra nhiều cơ chế di chuyển năng lượng có ý nghĩa rất quan trọng trong nghiên cứu tác dụng của ánh sáng, tác dụng của bức xạ ion hoá lên cơ thể sống... trong đó ta chú ý đến cơ chế cộng hưởng và cơ chế exiton.

5.1. Thuyết cộng hưởng về sự di chuyển năng lượng

Dạng di chuyển năng lượng này là sự di chuyển năng lượng lượng tử từ phân tử bị kích thích tới phân tử khác nằm cách đó khá xa so với khoảng cách giữa các nguyên tử. Dạng này không phát quang, không hao phí năng lượng vì nhiệt, không có va chạm phân tử giữa chất cho và chất nhận năng lượng. Hiệu suất của di chuyển năng lượng này dao động trong khoảng từ 100% đến nhỏ hơn 1%.

Thực chất thì mỗi phân tử bị kích thích có thể coi là một lưỡng cực dao động, ở đấy điện tử thực hiện dao động với tần số xác định. Bởi thế nếu mức năng lượng của các điện tử của một phân tử không bị kích thích nào đấy (B) trùng hay nằm thấp hơn một chút so với mức năng lượng của các điện tử có khả năng phát quang của các phân tử kích thích bên cạnh (A) thì có thể xảy ra sự cộng hưởng ở 2 phân tử và trong phân tử không bị kích thích (B) có thể xuất hiện những dao động điện tử với cùng tần số. Do cộng hưởng của hai lưỡng cực dao động này mà năng lượng của các điện tử của các phân tử bị kích thích (A) có thể hầu như hoàn toàn chuyển cho phân tử B. Thành thử nếu chiếu sáng hỗn hợp A và B mà chỉ có các phân tử A hấp thụ ánh sáng và bị kích thích thì do di chuyển năng lượng, các phân tử B cũng có thể bị

http://tieulun.hopto.org

kích thích, kết quả là ta quan sát được sự phát quang đặc trưng bởi các phân tử bị kích thích A* và các phân tử bị kích thích B*.

Ta có: $A + B + h\gamma \rightarrow A^* + B \rightarrow A + B^*$

Khi ấy cũng xảy ra sự giảm thời gian ở trạng thái kích thích của phân tử A và sự yếu dần của cường độ phát quang.

Trong cơ chế di chuyển năng lượng bằng cộng hưởng không xảy ra sự phân chia điện tích tức là điện tử không bị tách riêng ra. Thường thì cơ chế này xảy ra trong các dung dịch và cần phải có các điều kiện sau đây:

1. Phân tử nhường (cho) năng lượng phải phát quang được.

2. Phổ phát quang của chất cho và phổ hấp thụ của chất nhận phải chồng lên nhau, vùng giao nhau càng lớn thì hiệu suất càng lớn.

3. Các phân tử phải đủ gần nhau. Hiệu suất di chuyển năng lượng tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa chúng (ở khoảng cách 10Å đạt tới 50%).

Với những chất chứa càng nhiều phân tử có khả năng chuyển sang trạng thái kích thích dưới tác dụng của bức xạ có năng lượng đủ lớn thì dạng di chuyển này có giá trị càng nhiều. Chẳng hạn hiệu suất di chuyển năng lượng ở protid chỉ vài phần trăm bởi thế dạng di chuyển năng lượng này không có giá trị thực tế, trong khi đó ở acid nucleic đạt tới 30%, còn ở những hệ có mật độ chất nhận sắc cao thì hiệu suất có thể đạt tới 100%.

Đối với những quá trình chuyển hoá xảy ra với sự sắp xếp lại năng lượng không lớn hơn 0 ÷ 12 kcal/mol thì sự di chuyển năng lượng cộng hưởng không có giá trị thực tế, vì năng lượng này nhỏ hơn rất đáng kể so với các mức kích thích điện tử của phân tử. Năng lượng tạo thành trong quá trình oxy hoá khử không tách ra ở dạng tự do mà tập trung lại trong các liên kết giàu năng lượng của một số hợp chất, chẳng hạn ATP. Vì thế có thể dễ dàng sử dụng nó trong các quá trình trao đổi chất. Năng lượng toàn phần của liên kết giàu năng lượng chia thành một số phần để cung cấp cho các dạng di chuyển năng lượng khác nhau, trong đó phần lớn dành cho dạng di chuyển năng lượng cộng hưởng và sự tương tác tĩnh điện.

5.2. Thuyết exiton về di chuyển năng lượng

Trong một số chất có cấu trúc đặc biệt giống tinh thể, các điện tử dưới tác dụng của ánh sáng chuyển lên mức năng lượng cao hơn rồi chúng có thể chuyển từ phân tử này sang phân tử khác mà vẫn ở mức năng lượng ấy. Sự di chuyển điện tử tạo nên một lỗ trống. Trong quá trình dịch chuyển của mình điện tử có thể tìm được cái "bẫy" mà ở đó điện tử sẽ có mức năng lượng ổn định. Nếu điện tử chưa rơi vào "bẫy" thì trong quá trình dịch chuyển "lỗ trống" sẽ luôn luôn theo sát điện tử. Cặp điện tử - lỗ trống dịch chuyển như vậy gọi là exiton, còn sự di chuyển năng lượng kiểu này gọi là sự di chuyển năng lượng của exiton. Nếu như điện tử rơi vào "bẫy" có mức năng lượng ổn định thì một phần năng lượng sẽ biến thành nhiệt còn cặp điện tử lỗ trống có thể bị phá vỡ với xác suất xác định vì điện tử có thể tồn tại ở "bẫy" khá lâu. Như vậy năng lượng do phân tử đầu tiên hấp thụ đã được exiton mang đến phân tử có bẫy. Dạng di chuyển năng lượng bằng exiton có thể thực hiện

http://tieulun.hopto.org

trên những khoảng cách lớn. Thuyết exiton được áp dụng trong khảo sát di chuyển năng lượng ở những hệ thống chứa các sắc tố sinh vật, thí dụ rodopsin, diệp lục... Người ta giả định rằng trong cơ chế quang hợp, chất diệp lục có thể có chức năng như chất bán dẫn. Trong trường hợp này sự hấp thụ ánh sáng có thể dẫn đến sự tạo thành từng phân tử diệp lục, những điện tử bị khu trú và những lỗ trống dương, chúng chuyển động trong những môi trường khác nhau và tạo điều kiện cho sự xuất hiện những quá trình oxy hoá khử.

IV. TÁC DỤNG CỦA ÁNH SÁNG LÊN CƠ THỂ SỐNG

1. Đại cương về tác dụng của ánh sáng lên cơ thể sống

1.1. Đại cương

Khi ánh sáng đến cơ thể sinh vật, sự tương tác giữa ánh sáng và cơ thể sinh vật được thể hiện qua các hệ quả sau:

• Về phía chùm tia sáng: có những thay đổi về cường độ, bước sóng, hướng truyền...

• Về phía cơ thể sinh vật: xảy ra các quá trình quang sinh gồm những giai đoạn chính kế tiếp nhau:

– Hấp thụ ánh sáng bởi các sắc tố hoặc các chất khác tạo nên trạng thái kích thích, nghĩa là xuất hiện sự tích luỹ năng lượng bên trong phân tử.

– Khử trạng thái kích thích của phân tử. Giai đoạn này:

+ Hoặc giải phóng năng lượng kích thích bằng các quá trình quang lý.

+ Hoặc bằng các quá trình quang hoá dẫn tới các sản phẩm quang hoá không bền vững đầu tiên.

– Những phản ứng tối, trung gian với sự tham gia của các sản phẩm quang hoá không bền nói trên để tạo nên sản phẩm quang hoá bền vững (gọi là phản ứng tối vì lúc đó không có sự tham gia trực tiếp của các lượng tử ánh sáng).

– Các hiệu ứng sinh vật

Nếu xét các phản ứng quang sinh trên quan điểm hiệu ứng sinh vật ta có thể chia chúng thành hai nhóm lớn:

+ Các phản ứng phá huỷ biến tính.

+ Các phản ứng sinh lý chức năng.

Các phản ứng phá huỷ biến tính lại chia thành 3 nhóm nhỏ tuỳ theo mức độ phá huỷ biến tính: gây bệnh lý, gây đột biến di truyền và gây tử vong.

Những phản ứng sinh lý chức năng là những phản ứng xảy ra với sự tham gia của lượng tử ánh sáng, kết quả là tạo ra những sản phẩm cần thiết cho tế bào hay cơ thể để thực hiện những chức năng sinh lý bình thường của chúng. Ta có thể tạm chia các phản ứng quang sinh lý chức năng làm 3 nhóm nhỏ:

http://tieulun.hopto.org

- Phản ứng tạo năng lượng (thí dụ: quang hợp, quang phosphoryl hoá...)

- Phản ứng thông tin trong đó lượng tử ánh sáng thông qua những sản phẩm quang học kích thích các cơ quang khuếch đại đặc biệt. Kết quả là cơ thể nhận được lượng thông tin cần thiết về môi trường bên ngoài (thí dụ: thị giác ở động vật, hướng quang, quang hình thái ở thực vật, động vật, người).

- Sinh tổng hợp: trong chuỗi phản ứng sinh tổng hợp các phân tử hữu cơ (như vitamin D, diệp lục...) có những giai đoạn quang hoá nghĩa là có các phản ứng hoá học mà bình thường chỉ xảy ra dưới tác dụng của lượng tử ánh sáng. Người ta cũng thấy ánh sáng có thể hoạt hoá hệ thống men của các quá trình tổng hợp sắc tố.

Dưới đây ta xét một số yếu tố liên quan chặt chẽ giữa các đặc trưng vật lý của chùm ánh sáng và hiệu ứng sinh vật.

1.2. Hiệu suất lượng tử

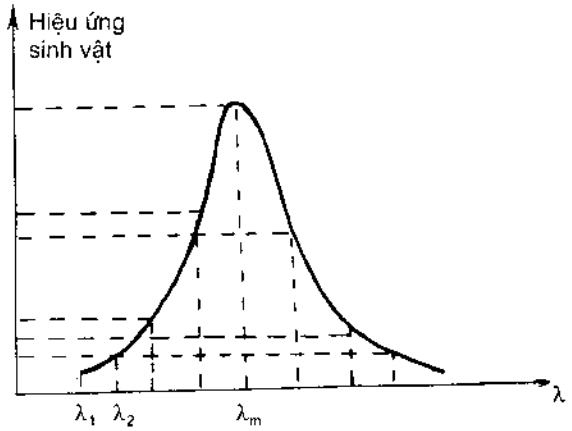
Khi chiếu sáng tới cơ thể sống, để gây nên hiệu ứng sinh vật thì đối tượng phải hấp thụ photon. Mặt khác, chưa chắc là các phân tử hấp thụ photon đều trở nên ở trạng thái kích thích và tham gia vào các phản ứng quang hoá. Điều đó có nghĩa là số phân tử bị kích thích sẽ nhỏ hơn số phân tử hấp thụ ánh sáng. Người ta định nghĩa:

$$\text{Hiệu suất lượng tử } \varphi = \frac{\text{Số phân tử bị kích thích}}{\text{Số phân tử đã hấp thụ ánh sáng}} \qquad (5.81)$$

Hiệu suất lượng tử cho ta biết hiệu suất sử dụng năng lượng của quá trình quang sinh được khảo sát.

1.3. Phổ tác dụng

Đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của hiệu ứng sinh vật do ánh sáng tới gây nên vào bước sóng của ánh sáng gọi là phổ tác dụng (hình 5.55).



Hình 5.55

http://tieulun.hopto.org

Để hiểu rõ hơn khái niệm phổ tác dụng, ta xét thí dụ đơn giản sau: dùng 10 ống nghiệm như nhau, trong đó đựng cùng một thể tích dung dịch có vi khuẩn mật độ như nhau. Đem 10 ống nghiệm này đi chiếu ánh sáng với thời gian như nhau, cường độ sáng như nhau... chỉ có bước sóng ánh sáng là khác nhau λ_1, λ_2,... λ_{10}. Sau đó xét tỷ lệ vi khuẩn bị khử hoạt tính là con số đặc trưng cho hiệu ứng quang sinh vật. Ta có thể dựng được đồ thị biểu diễn tỷ lệ vi khuẩn bị khử hoạt tính phụ thuộc bước sóng λ. Đem so sánh phổ tác dụng với phổ hấp thụ của đối tượng khảo sát, ta có thể thấy:

– Nếu hai phổ này khá giống và trùng nhau, nhờ so sánh với phổ hấp thụ phân tử của các chất, ta có thể tìm ra loại phân tử duy nhất đã hấp thụ ánh sáng và đóng vai trò quan trọng trong quá trình quang sinh khảo sát.

– Nếu hai phổ này không giống và không trùng nhau, ta có thể giả thiết được rằng trong trường hợp này hiệu ứng sinh học do tác dụng của ánh sáng không phải chỉ do một loại phân tử nào đó mà do từ hai phân tử trở lên, đồng thời cũng có nghĩa là có thể có sự di chuyển năng lượng từ phân tử này đến phân tử kia.

1.4. Nhu cầu năng lượng

Bảng 5.4

Quá trình	Khối lượng đối tượng nhận ánh sáng	Năng lượng ánh sáng trên một đơn vị diện tích (J/m^2)	Số lượng photon bị hấp thụ
Thị giác	-	10^{-13}	2
Quang hợp, tạo 1 phân tử O_2 tách ra	-	-	10
Quang hợp tạo 1g hidrat - carbon	-	-	10^{23}
Tạo sắc tố da (rám nắng)	-	3.10^2	-
Phân huỷ hồng cầu	-	-	10^{10}
Khử hoạt tính vi khuẩn	10^{-15}	10	10^8
Khử hoạt tính virus	10^{-19}	10	10^4
Khử hoạt tính men	10^{-22}	10^4	10^2
Phân ly carboximioglobin	3.10^{-23}	-	1

Bảng 5.4 cho ta những đại lượng điển hình đặc trưng cho nhu cầu năng lượng của một số quá trình sinh vật xảy ra dưới tác dụng của ánh sáng. Như ta thấy, đối với những quá trình khử hoạt tính hay gây hoạt tính liên quan với sự thay đổi những chức năng xác định thì đòi hỏi năng lượng ít hơn hẳn so với những quá trình phá huỷ biến tính, chẳng hạn với sự phá huỷ hồng cầu. Đồng thời số photon mà đối tượng bị chiếu hấp thụ đủ gây nên trong đối tượng một hiệu ứng xác định nào đấy sẽ giảm khi chuyển sang những đối tượng có kích thước nhỏ hơn. Nhưng đối với số lượng photon tới thì quan sát thấy quy luật hoàn toàn khác, thí dụ như các phân tử men chẳng hạn, chúng hấp thụ một phần rất nhỏ ánh sáng chiếu tới. Người ta thấy xác suất một phân tử protid hấp thụ một photon vào khoảng 0,0001. Điều đó có nghĩa là để khử hoạt tính men, số photon trong chùm ánh sáng chiếu tới phải đạt 10^5 trên tiết diện phân tử. Vi khuẩn hấp thụ ánh sáng mạnh hơn rất nhiều so với

http://tieulun.hopto.org

phân tử men vì tiết diện hấp thụ photon tỷ lệ với trọng lượng phân tử. Trong khi đó số lượng photon bị hấp thụ đủ để gây nên sự khử hoạt tính lại tăng chậm hơn so với sự tăng khối lượng đối với đối tượng bị chiếu. Sự khử hoạt tính vi khuẩn xảy ra với cường độ ánh sáng tới nhỏ so với sự khử hoạt tính men tuy rằng với sự khử hoạt tính men thì hiệu suất của ánh sáng hấp thụ lại cao hơn đáng kể. Thật vậy, năng lượng của ánh sáng chiếu tới gây nên sự khử hoạt tính men có độ lớn vào cỡ hàng ngàn J/m^2, đối với sự khử hoạt tính virus và vi khuẩn chỉ khoảng $10J/m^2$. Do đó, khi lựa chọn công suất nguồn chiếu phải tính toán đến đặc tính hệ sinh vật mà ta khảo sát.

Năng lượng ánh sáng bị hấp thụ sẽ phân tán đi bằng cách sau:

1. Biến thành nhiệt hay bức xạ nhờ hiện tượng phát quang.

2. Kích thích các chuỗi phản ứng phức tạp, chẳng hạn như quang hợp.

3. Dẫn tới sự phá hủy các cấu trúc phân tử, chẳng hạn khử hoạt tính các tế bào, virus, men do tia tử ngoại gây nên.

2. Một số quá trình quang sinh

Dưới đây ta khảo sát một số quá trình quang sinh cụ thể minh hoạ cho sự phân chia các phản ứng quang sinh thành hai nhóm là các phản ứng sinh lý chức năng và các phản ứng phá huỷ biến tính.

2.1. Quang hợp

Quang hợp là thí dụ điển hình về loại phản ứng tạo và tích luỹ năng lượng trong nhóm các phản ứng sinh lý chức năng.

Quang hợp là một hiệu ứng gây ra do ánh sáng trong đó có sự khử CO_2, tạo O_2 và hydratcarbon. Quá trình quang hợp gồm 2 chuỗi phản ứng kế tiếp nhau. Các phản ứng sáng xảy ra nhanh, phản ứng tối xảy ra chậm hơn và không phụ thuộc vào ánh sáng. Kết quả của quá trình là dẫn đến tích tụ năng lượng lấy được từ ánh sáng bị hấp thụ trong chất tạo thành.

Sơ đồ tổng quát của các phản ứng xảy ra ở hạt lục lạp của cây xanh có thể tóm tắt như sau:

$$CO_2 + 2H_2O + nh\upsilon \rightarrow (CH_2O) + O_2 + H_2O \qquad (5.82)$$

Trong đó CH_2O là hydrat carbon tạo thành trong phản ứng. Hai phân tử nước nằm ở vế trái của phương trình phản ứng cho thấy là oxy giải phóng ra được tách ra từ nước chứ không phải từ CO_2 (những thí nghiệm với nước được đánh dấu bằng oxy có tính phóng xạ cũng chứng minh hoàn toàn đúng như vậy).

Trước hết ta khẳng định quang hợp là quá trình truyền điện tử. Phản ứng cơ bản nhất của quang hợp là sự di chuyển nguyên tử hydro từ phân tử H_2O tới phân tử CO_2 tạo hydrat carbon. Sự di chuyển hydro ($H \rightarrow H^+ + e^-$) có thể xem như một quá trình gồm 2 giai đoạn chính, giai đoạn thứ nhất là di chuyển điện tử, sau đó di chuyển proton (H^+). Quá trình di chuyển điện tử phải hao tổn năng lượng, còn giai đoạn thứ hai thì trong nội bào bao giờ cũng có chứa một lượng proton đáng kể, vì

http://tieulun.hopto.org

vậy chúng dễ dàng tham gia vào các trung tâm phản ứng. Tốc độ hấp thụ CO_2 từ môi trường xung quanh (bằng tốc độ thải oxy) phụ thuộc vào cường độ ánh sáng chiếu tới hay vào tốc độ hấp thụ ánh sáng. Biết nhiệt lượng toả ra khi đốt cháy đối với phản ứng ngược, có thể tính được số photon tối thiểu cần thiết để khử một phân tử CO_2. Lượng năng lượng cần thiết để khử một phân tử CO_2 cho tới khi tạo thành hydrat carbon vào khoảng 112 kcal/mol, hay là 4,9eV cho một phân tử. Sự quang hợp xảy ra đặc biệt dưới ảnh hưởng của ánh sáng có bước sóng 7.000Å (năng lượng 1 photon là 1,77eV). Thành thử để khử một phân tử CO_2 cho tới khi thành hydrat carbon cần ít nhất là 4,9/1,77 = 2,8 photon. Vì số này không nguyên nên thực tế đối với quá trình quang hợp cần không ít hơn 3 photon. Việc xác định hiệu suất lượng tử cực đại của quang hợp có những khó khăn rất lớn vì rằng đối với quá trình này cần phải kiểm định thành phần và số lượng các chất khí hấp thụ và thải ra trong quá trình thực nghiệm. Hiện nay còn nhiều tranh luận xung quanh giá trị của hiệu suất lượng tử của quá trình quang hợp, người ta thấy giá trị này vào khoảng $\frac{1}{8} \div \frac{1}{4}$ nghĩa là quá trình quang hợp sử dụng năng lượng với hiệu suất khá cao.

Qua phổ tác dụng của quá trình quang hợp ta có thể biết một cách chính xác những sắc tố nào tham gia vào quá trình này. Chất diệp lục (clorophin) là sắc tố cơ bản của quá trình quang hợp. Có thể có những sắc tố khác cũng tham gia quá trình nhưng không thể thiếu chất diệp lục trong quang hợp. Chất diệp lục chứa trong các hạt lục lạp, để sự quang hợp có hiệu quả thì những hạt này phải có độ lớn xác định. Trong mỗi hạt chứa khoảng chừng 100 phân tử diệp lục. Các thực nghiệm cho thấy là chính đặc tính về sự sắp xếp tương hỗ của các phân tử diệp lục, protid, lipid trong hạt lục lạp đóng vai trò quan trọng trong phản ứng quang hợp xảy ra dưới tác dụng của ánh sáng. Tính chất đặc biệt quan trọng của phân tử diệp lục là sự có mặt của mối liên kết kép liên hợp. Hệ liên kết này sẽ tạo một đám mây điện tử chung. Chính nhờ cấu trúc đặc biệt đó mà sắc tố có khả năng hấp thụ lượng tử có bước sóng xác định và năng lượng lượng tử có thể dự trữ trong phân tử. Hệ liên hợp (chất mang mầu) tạo khả năng truyền năng lượng hưng phấn tới từng phân tử, nguyên tử nếu chúng nằm cách nhau không xa; thực nghiệm cho thấy hiệu ứng oxy hoá khử không phải do từng nguyên tử tham gia mà do toàn bộ hệ thống liên hợp tham gia. Nhìn chung về phương diện năng lượng, quá trình quang hợp làm tăng năng lượng tự do tức là làm giảm tương đối entropi của hệ. Sở dĩ như vậy vì quá trình quang hợp xảy ra ở hệ mở có trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường bên ngoài. Do tính chất dự trữ năng lượng, khử CO_2 và giải phóng O_2 mà quá trình quang hợp trở thành một khâu cực kỳ quan trọng của toàn bộ sự sống trên trái đất.

2.2. Sinh tổng hợp sắc tố và vitamin

Một trong những phản ứng quang sinh lý chức năng có tầm quang trọng lớn trong sự tồn tại và phát triển của sự sống là những phản ứng quang tổng hợp sắc tố và vitamin.

Trong chuỗi tự nhiên của những phản ứng sinh tổng hợp dẫn đến sự tạo thành trong tế bào các sắc tố và vitamin, có tồn tại những phản ứng quang hoá. Điều đó cho phép ta kết luận rằng không có lượng tử ánh sáng, các chất này không thể tổng hợp được. Nói chung trong các phản ứng này năng lượng ánh sáng cần

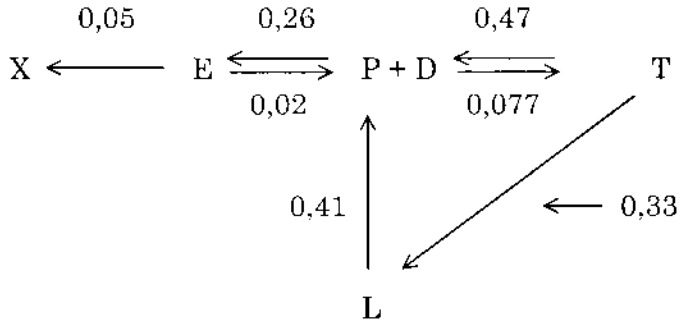
http://tieulun.hopto.org

thiết để cung cấp năng lượng cho phản ứng chứ không dẫn đến dự trữ năng lượng trong các sản phẩm của phản ứng như trong quang hợp. Giai đoạn quang hoá thường xảy ra hoặc giữa hoặc cuối của chuỗi sinh tổng hợp các chất trên.

Cũng có thể có trường hợp khi mà phản ứng quang hoá cần thiết để giúp cho sự cảm ứng tổng hợp (tăng tính nhạy cảm) các men, những men này lại góp phần vào việc thực hiện những giai đoạn nhất định của quá trình sinh tổng hợp các chất.

Thí dụ: sinh tổng hợp vitamin D_2.

Những giai đoạn cuối của sinh tổng hợp các vitamin D cũng có bản chất quang hoá. Phản ứng quang hoá provitamin D → vitamin D không đòi hỏi chất mang protid và xảy ra rất có hiệu quả trong dung dịch provitamin D_2 là ergocalci pherol. Sơ đồ biến đổi từ provitamin D thành vitamin D có thể trình bày như sau:



X là một chất có bản chất không đồng nhất

E là ergosterol L là lumisterol

T là taxisterol D là ergocalcipherol

P là preergocalcipherol

Các chỉ số là các hiệu suất lượng tử của những phản ứng quang hoá riêng biệt. Từ sơ đồ ta thấy rõ là chiếu bất kỳ một tiền chất nào trong số E, L, T, P đều dẫn đến sự tạo thành vitamin D_2 và giữa các chất có một trạng thái dừng. Bản chất của phản ứng quang hoá chính là sự phá vỡ liên kết đồng hoá trị C - C trong vòng benzol giữa các nguyên tử carbon 9 và 10 ở ergosterol và lumisterol dưới tác dụng của ánh sáng tử ngoại.

Tóm lại, cũng như trong trường hợp tổng hợp sắc tố, tổng hợp vitamin D không thể hoàn thành được nếu không có sự tham gia của lượng tử ánh sáng.

4.2.3. Thông tin thụ cảm ánh sáng

Ánh sáng mang các thông tin về môi trường ngoài đến cho sinh vật: hoa hướng dương hướng theo mặt trời, hàng loạt loại hoa nở theo khoảng thời gian xác định trong ngày, hàng loạt vi khuẩn phản ứng khi chiếu sáng... Mắt hầu như là cơ quan hoàn chỉnh nhất để tiếp nhận ánh sáng từ môi trường ngoài, phân tích thành phần của ánh sáng (cường độ, bước sóng...) tạo các xung động thần kinh dẫn lên não giúp ta nhận thức được môi trường xung quanh. Phản ứng quang hoá phân huỷ sắc

http://tieulun.hopto.org

tố thị giác phát sinh các xung động thần kinh truyền lên dây thần kinh thị giác để có cảm giác sáng là phản ứng thông tin.

a. Cơ sở phân tử của sự thụ cảm ánh sáng

Phân tích tế bào que và tế bào nón là các tế bào thụ cảm ánh sáng có mặt ở võng mạc người ta thấy:

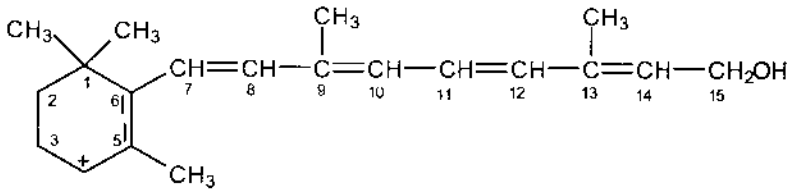
Ở tế bào que có sắc tố thụ cảm ánh sáng (hay sắc tố thị giác) là Rodopsin. Ở tế bào nón có sắc tố thụ cảm ánh sáng là Iodopsin.

Rodopsin là phức chất của protein có phân tử lượng khoảng 40.000, đó là liên kết phức của Retinal với protein đặc biệt của tế bào que là Scotopsin. Iodopsin là liên kết phức của Retinal với protein đặc biệt của tế bào nón là Fotopsin.

$$\text{Rodopsin} \longleftrightarrow \text{Scotopsin} + \text{Retinal}$$

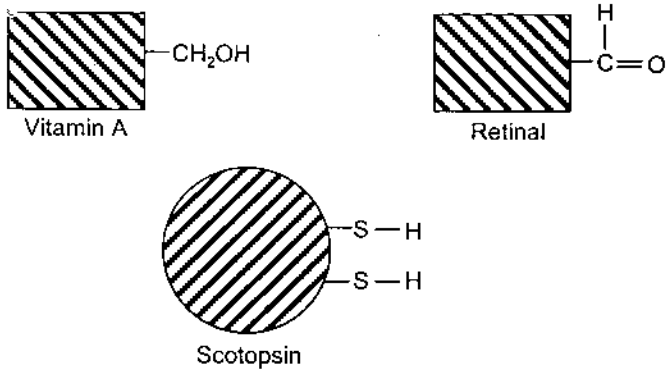
$$\text{Iodopsin} \longleftrightarrow \text{Fotopsin} + \text{Retinal}$$

Retinal là aldehyt của vitamin A_1. Công thức cấu tạo của vitamin A_1 được dẫn ra trên hình 5.56.



Hình 5.56

Để thuận tiện, các nguyên tử carbon trong công thức cấu tạo này được đánh số thứ tự từ 1 đến 15. Những hợp chất có cấu trúc vòng dạng đó và mạch bên có 9 nguyên tử carbon thuộc về loại gọi là carotinoid bởi vì nhiều hợp chất loại này được tìm thấy trong cà rốt. Vitamin A_1 có nhóm rượu (nhóm CH_2OH) ở vị trí nguyên tử carbon thứ 15. Khác với vitamin A_1, Retinal có chứa nhóm CHO ở vị trí nguyên tử carbon thứ 15. Ta có thể biểu diễn vitamin A_1 và Retinal bằng công thức đơn giản như hình 5.57.



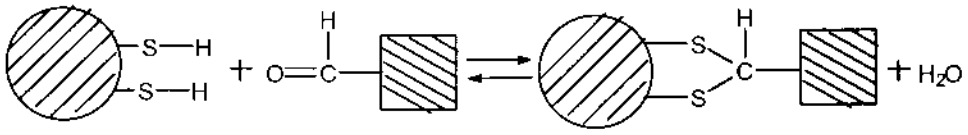
Hình 5.57

http://tieulun.hopto.org

Cấu tạo phân tử của Scotopsin và Fotopsin rất phức tạp. Điều đáng chú ý là các phân tử này đều là các protein có chứa nhóm sulfydryl (SH) có khả năng phản ứng rất mạnh với nhiều loại hợp chất khác nhau. Ta có thể biểu diễn phân tử Scotopsin như trên hình (5.57). Phản ứng giữa Scotopsin và Retinal để tạo thành Rodopsin được biểu diễn đơn giản trên hình (5.58).

Trong phản ứng này, nguyên tử carbon thứ 15 của Retinal, đã gắn với hai nguyên tử S của Scotopsin. Phản ứng tạo thành Rodopsin và giải phóng một phân tử nước.

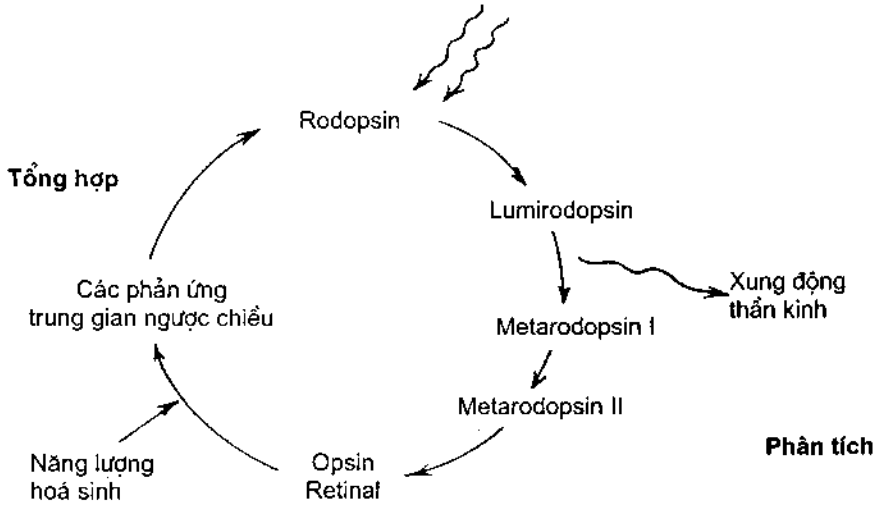
Khi có ánh sáng tác dụng vào phân tử Rodopsin, nó phân ly thành Scotopsin và Retinal. Năng lượng cung cấp cho phản ứng phân huỷ này là do photon của chùm sáng chiếu vào mắt mang lại. Người ta đã tính toán thấy cứ một photon ánh sáng nhìn thấy đủ để phân huỷ một phân tử Rodopsin. Sản phẩm đầu tiên của sự phân huỷ đó là Lumirodopsin. Ở nhiệt độ bình thường, chất này không ổn định nên tự biến đổi qua nhiều giai đoạn để thành Metarodopsin I, II (mầu da cam) rồi cuối cùng bị thuỷ phân thành một hỗn hợp opsin của tế bào que và trans retinal màu vàng.



Hình 5.58

Do tác dụng của ánh sáng, tia hồng ngoại, nhiệt hoặc các men... trans retinal và opsin có thể chuyển thành Retinal và Opsin hoặc thành sinh tố A ở dạng tự do hoặc este hoá để chuyển vào dự trữ ở các lớp tế bào sắc tố biểu mô.

Phản ứng quang hoá phân huỷ phân tử Rodopsin, phát sinh các xung động thần kinh truyền lên dây thần kinh thị giác.



Hình 5.59. Sơ đồ phân tích và tổng hợp Rodopsin

http://tieulun.hopto.org

Trong bóng tối (khi không có ánh sáng tác dụng vào), phân tử Rodopsin được phục hồi khá nhanh với phản ứng ngược (5.59) qua nhiều giai đoạn trung gian dưới tác dụng của năng lượng hoá sinh. Lúc này đồng thời xảy ra phản ứng phục hồi các Retinal mới từ các vitamin A và các este của nó từ các tế bào sắc tố biểu mô chuyển vào tế bào que. Do vậy ta thấy vai trò quan trọng của vitamin A và quá trình phối hợp của các sắc tố biểu mô. Trong các bệnh làm giảm lượng hấp thụ vitamin A hay bệnh ở võng mạc làm cản trở sự tiếp xúc tế bào thần kinh thị giác với sắc tố biểu mô, sự tổng hợp Rodopsin bị giảm xuống nhiều và chức năng thị giác bị ảnh hưởng. Có thể tóm tắt quá trình phân tích và tổng hợp Rodopsin ở tế bào que trên sơ đồ vẽ ở hình 5.59.

Trong quá trình phân tích, quang năng đã biến thành hoá năng. Cơ chế từ hoá năng biến đổi thành các xung động thần kinh kích thích trung khu thị giác ở vỏ não là một vấn đề khá phức tạp. Có thuyết cho rằng phản ứng quang hoá đã làm xuất hiện điện thế hoạt động và làm cho điện trở, tính thấm của màng tế bào thay đổi, do vậy xung động thần kinh có thể lan truyền được. Hiện nay người ta đã ghi được các dòng điện võng mạc khác nhau trong các tình trạng hoạt động khác nhau của các tế bào cảm thụ ánh sáng. Điều đó chứng tỏ rằng cũng như nhiều hiện tượng sinh học khác, quá trình cảm thụ ánh sáng liên quan nhiều đến bản chất dòng điện sinh vật.

Nhờ kính hiển vi điện tử, người ta thấy Rodopsin tập trung trong tế bào que được sắp xếp dưới dạng các đĩa đều đặn, cụ thể Rodopsin sắp xếp như thế nào trong đĩa còn chưa rõ, có điều các đĩa này là cấu trúc chủ yếu của tế bào que, đường kính mỗi đĩa khoảng 258nm, chiều dài khoảng 50nm. Có giả thuyết cho rằng những đĩa Rodopsin trong tế bào này có tác dụng như những lớp chất bán dẫn có khả năng biến năng lượng ánh sáng thành năng lượng điện làm xuất hiện điện thế hoạt động dọc theo dây thần kinh.

Cho nên việc trả lời tương đối chính xác câu hỏi "năng lượng ánh sáng biến thành xung động thần kinh như thế nào?" cũng còn cần phải nghiên cứu thêm nữa.

b) Ngưỡng nhìn, độ nhạy của mắt

Ngưỡng nhìn: như trên đã phân tích, do tác dụng của ánh sáng chiếu tới mà Rodopsin bị phân tích thành Opsin và Retinal. Trong quá trình này, tế bào que phát ra xung động thần kinh. Nhiều thí nghiệm chứng tỏ rằng tính trung bình, sự hấp thụ một photon miền nhìn thấy đưa đến việc phân tích một phân tử Rodopsin. Có thể đặt câu hỏi: cần tối thiểu bao nhiêu phân tử Rodopsin bị phân tích thì có thể tạo nên xung động thần kinh, nghĩa là có thể tạo nên điện thế hoạt động của sợi thần kinh thị giác? Nói một cách khác tế bào que phải hấp thụ một số photon tối thiểu là bao nhiêu để có thể gây nên cảm giác sáng. Số photon tối thiểu này được gọi là ngưỡng thị giác hay ngưỡng nhìn.

Ngưỡng nhìn phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố: bước sóng của ánh sáng, kích thước của vật sáng được khảo sát, đường kính của đồng tử, thời gian của ánh sáng tác dụng lên võng mạc. Việc đo đạc ngưỡng nhìn đã được nhà lý sinh Hess đặt ra lần đầu tiên. Hess dùng bước sóng nhạy nhất đối với mắt, kích thước của vật sáng đủ nhỏ, để mắt thích ứng với bóng tối, chiếu sáng trong một thời gian ngắn. Thay đổi cường độ ánh sáng chiếu vào mắt, Hess xác định số photon ngưỡng đến giác

http://tieulun.hopto.org

mạc. Theo các tính toán của ông thì ngưỡng nhìn bằng số photon ngưỡng đến giác mạc trừ đi $\frac{4}{5}$ số photon bị hấp thụ trên đường đi từ giác mạc đến tế bào que. Kết quả các phép đo của Hess cho thấy cảm giác sáng bắt đầu xuất hiện khi khoảng 150 photon đến giác mạc tức là ngưỡng nhìn vào khoảng 150 - $(150 \times \frac{4}{5})$ = 30 photon. Việc xác định con số này đã được nhiều tác giả lập lại nhiều lần trong 20 - 30 năm sau, kết quả của các phép đo này xác nhận rằng ngưỡng nhìn vào khoảng 1 đến 2 photon.

Những phép đo hiện đại xác định ngưỡng nhìn được tiến hành trên mắt của một loài cua càng. Võng mạc của loài cua này chỉ có tế bào que, trong tế bào que có nhiều phần tử giống nhau tách hẳn ra gọi là "yếu tố cảm sáng". Mỗi yếu tố cảm sáng liên hệ với một sợi dây thần kinh. Người ta tách bỏ dây thần kinh thị giác của mắt cua càng trên cho đến khi còn lại một sợi dây duy nhất liên hệ với một "yếu tố cảm sáng". Thay đổi cường độ ánh sáng tác dụng lên "yếu tố cảm sáng", ghi lại sự xuất hiện điện thế hoạt động của sợi thần kinh tách rời, người ta đi đến kết luận ngưỡng nhìn vào khoảng 1 đến 2 photon. Con số này khác nhau chút ít đối với các thí nghiệm tiến hành bởi các tác giả khác nhau. Tuy nhiên tất cả các thí nghiệm đều xác nhận rằng ngưỡng nhìn là một con số không lớn.

Ngưỡng nhìn là 1 photon sẽ ứng với năng lượng là:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

Thay các trị số:

$h = 6{,}62.\ 10^{-27}$.erg.s (1 erg = 10^{-7} J)

$c = 3.10^{10}$ cm/s

$\lambda = 0{,}5\ \mu m = 5.10^{5}$ cm

vào công thức trên, ta được:

$$\varepsilon \approx 4.10^{-12} \text{ erg}$$

Tính ứng với một mol lượng tử (1 Anstanh)

$$E \approx 40 \text{ kcal/mol}$$

Người ta tính rằng năng lượng này đủ để làm đứt những mối liên kết yếu, làm thay đổi cấu trúc của phân tử Rodopsin, đưa đến việc xuất hiện xung động thần kinh.

Như đã nói ở phần đầu của bài, tế bào que có khả năng phản ứng khi ánh sáng có độ rọi nhỏ còn tế bào nón chỉ phản ứng khi ánh sáng có độ rọi lớn. Điều đó liên quan đến ngưỡng nhìn; tế bào que có ngưỡng nhìn nhỏ hơn tế bào nón. Khi ánh sáng có độ rọi lớn các tế bào que và các tế bào nón cùng tham gia vào quá trình

http://tieulun.hopto.org

nhìn. Quá trình này được gọi là thị giác sáng (thị giác ban ngày hay thị giác photon). Khi ánh sáng có độ rọi nhỏ, chỉ có các tế bào que tham gia vào quá trình nhìn, quá trình này được gọi là thị giác tối (thị giác hoàng hôn hay thị giác Scoto).

Sự biến đổi của lượng Rodopsin trong tế bào que tham gia vào quá trình nhìn, như ta đã biết, được biểu diễn bằng phản ứng thuận nghịch:

$$\text{Rodopsin} \longleftrightarrow \text{Opsin} + \text{Retinal}$$

Với độ rọi trung bình (biến thiên trong một giới hạn khác rộng) phản ứng thuận nghịch trên ở thế cân bằng động, số phân tử Rodopsin bị phân tích bằng số phân tử Rodopsin được tổng hợp. Hàm lượng Rodopsin trong võng mạc được giữ nguyên không đổi ở một trị số nào đó.

Nếu độ rọi tăng lên thì trạng thái cân bằng sẽ bị dịch chuyển, số phân tử Rodopsin bị phân tích sẽ nhiều hơn số phân tử Rodopsin được tổng hợp. Kết quả là hàm lượng Rodopsin trong võng mạc giảm xuống. Như ta đã biết, sự cảm thụ ánh sáng phụ thuộc vào lượng Rodopsin trong võng mạc đồng thời sự hấp thụ photon của các Rodopsin mang tính chất xác suất. Chính vì lý do đó, mắt có thể nhìn thấy ở độ rọi khá lớn.

Nếu độ rọi của ánh sáng giảm xuống, số phân tử Rodopsin được tổng hợp sẽ lớn hơn số phân tử Rodopsin bị phân tích. Điều đó làm cho mắt nhìn thấy ở những độ rọi nhỏ. Cần lưu ý rằng sự tổng hợp lại Rodopsin đòi hỏi một thời gian khá lâu. Chính vì vậy khi mắt thích ứng sáng, nghĩa là ở trạng thái thị giác Photo chuyển ngay sang thị giác Scoto (chẳng hạn trong trường hợp ta đi từ chỗ sáng vào chỗ tối), độ rọi của ánh sáng giảm đi, số photon đến võng mạc giảm, trong khi đó Rodopsin trong võng mạc có hàm lượng không lớn lắm. Cần phải có một thời gian thích nghi để cho lượng Rodopsin được khôi phục đủ lớn. Khoảng thời gian này có thể lên đến hàng chục phút (trong khi đó thời gian giãn đồng tử chỉ xảy ra trong vòng 10 - 30 giây).

Những điều nói ở trên chứng tỏ mắt có thể nhìn thấy trong giới hạn rất rộng của quang thông. Người ta đã tính toán rằng, mắt thích ứng tốt với bóng tối có thể nhìn thấy khi quang thông tới trên toàn bộ diện tích của đồng tử vào khoảng 2.10^{-10} erg/s. Còn giới hạn trên của quang thông trong thị giác Photo mà không làm chói hay hại mắt vào khoảng 200 erg/s nghĩa là lớn gấp 10^{12} lần giá trị trên.

- Độ nhạy của mắt: Như ta đã biết số photon tối thiểu bị hấp thụ đủ để gây nên cảm giác sáng được gọi là ngưỡng nhìn, gọi số photon này là ε. Đại lượng nghịch đảo của ngưỡng nhìn gọi là độ nhạy E của mắt.

$$E = \frac{1}{\varepsilon} \qquad (5.83)$$

Ngưỡng nhìn càng nhỏ, độ nhạy của mắt càng lớn. Độ nhạy E cũng giống như ngưỡng nhìn ε, phụ thuộc vào bước sóng của ánh sáng, kích thước của vật sáng, đường kính đồng tử, thời gian ánh sáng tác dụng, trạng thái thích nghi của mắt (thị giác Photo hay thị giác Scoto). Trong mục này ta nghiên cứu sự phụ thuộc của độ

http://tieulun.hopto.org

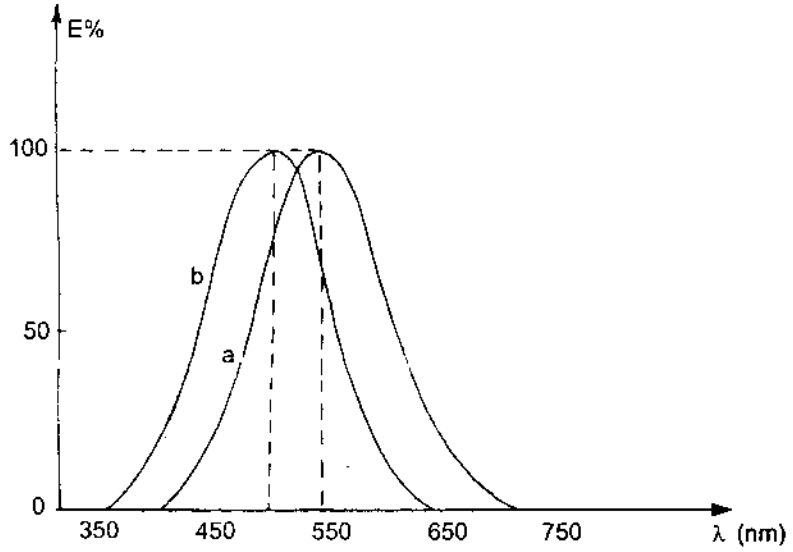
nhạy E theo bước sóng λ của ánh sáng. Người ta quy ước chọn độ nhạy E ứng với các bước sóng nhạy nhất λ_0 làm đơn vị, nghĩa là xem E_{max} (λ_0) = 1. Độ nhạy E ứng với các bước sóng khác đều nhỏ hơn 1. Trong hệ đơn vị quy ước này, E được gọi là độ nhạy tương đối của mắt và đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của E vào λ được gọi là đường cong nhạy sáng tương đối. Đường cong nhạy sáng tương đối đối với mắt thích ứng với ánh sáng mạnh được gọi là đường cong nhạy sáng tương đối Photo (a). Đường cong nhạy sáng tương đối với mắt thích ứng với bóng tối được gọi là đường cong nhạy sáng tương đối Scoto (b).

Các đường cong này được biểu diễn trên hình 5.60.

Trong thị giác Photo (a), mắt nhạy nhất ở bước sóng λ_0 = 0,555μm (màu xanh lá mạ).

E_{max} (0,555μm) = 1

Ở các bước sóng λ ≠ 0,555μm, E (λ) đều nhỏ hơn 1. Trong miền λ <0,39 μm và λ > 0,76 μm, E (λ) ≈ 0 nghĩa là mắt không nhìn thấy bức xạ tử ngoại và bức xạ hồng ngoại. Miền (0,39 ÷ 0,79) μm được gọi là miền nhìn thấy hay miền khả kiến.



Hình 5.60

Để thấy được vai trò của các tế bào nón trong thị giác Photo, đường cong a được vẽ trong trường hợp kích thước của vật khảo sát nhỏ (góc nhìn β < 2^0) và mắt phải định hướng sao cho ảnh của vật sáng này rơi đúng vào điểm vàng (như ta đã biết điểm vàng có kích thước khoảng 1,5 mm và chỉ chứa tế bào nón).

Trong thị giác Scoto, đường cong nhạy sáng tương đối dịch chuyển về phía sóng ngắn so với thị giác Photo. Cực đại của đường cong nhạy sáng tương đối Scoto ứng với bước sóng λ= 0,510μm. Dạng của hai đường cong trên được giải thích là phổ hấp thụ của Rodopsin trùng với đường cong nhạy sáng tương đối Scoto khi chỉ có sự

http://tieulun.hopto.org

tham gia của các tế bào que, còn phổ hấp thụ của Iodopsin trùng với đường cong nhạy sáng tương đối Photo khi chỉ có sự tham gia của tế bào nón.

c) Một số hiện tượng đặc biệt

• *Sự lưu hình*: người ta quan sát thấy cảm giác sáng không mất tức thời sau khi ngừng kích thích võng mạc bằng ánh sáng. Dùng một que đỏ huơ lên trong bóng đêm đến một tốc độ nhất định ta cảm thấy đó là một vòng tròn sáng. Đó là hiện tượng lưu ảnh trên võng mạc. Người ta có thể quan sát được rất nhiều biểu hiện của hiện tượng này trong cuộc sống như vạch đỏ của viên đạn đi trong đêm, những ứng dụng trong chiếu bóng và truyền hình. Theo Helmholtz nếu một vật được chiếu rất sáng thì thời gian lưu hình của vật ấy trên võng mạc là 1/48 giây. Thời gian lưu hình còn phụ thuộc vào cường độ chiếu sáng và ấn tượng gây nên lâu hay mau trước đó. Có thể hiểu rõ cơ chế của hiện tượng lưu hình nếu xét kỹ quá trình phân huỷ Rodopsin. Giai đoạn chuyển từ Rodopsin sang Lumirodopsin xảy ra nhanh, còn giai đoạn thuỷ phân tiếp theo để trở thành Metarodopsin xảy ra tương đối chậm. Do vậy khi ánh sáng (hay ấn tượng ảnh của vật nào đó) đã hết tác dụng lên võng mạc, vẫn còn một lượng lumirodopsin tồn tại. Nó sẽ tiếp tục phân huỷ và cho ta một cảm giác ảnh cũ tiếp theo.

Như vậy lưu ảnh là do cần phải có một thời gian để các sản phẩm phân huỷ của Rodopsin biến đi và chất thụ cảm ánh sáng (Rodopsin) được phục hồi trở lại.

• *Cảm giác màu sắc*: chỉ những bức xạ điện từ có bước sóng trong khoảng (0,40 ÷ 0,76μm) mới gây được cảm giác sáng. Điều đó cũng dễ hiểu vì rằng phổ hấp thụ của các sắc tố thị giác như đã nói ở trên nằm trong vùng (0,40 ÷ 0,76) μm.

Những bước sóng nhỏ hơn 0,4μm không đến được võng mạc. Thuỷ tinh thể có cực đại hấp thụ rất rõ ở vùng lân cận 0,38 μm. Giác mạc hấp thụ rất mạnh vùng bước sóng nhỏ hơn 0,30 μm. Giác mạc có tác dụng bảo vệ cho các bộ phận trong lòng nhãn cầu khỏi bị tác dụng xấu của tia tử ngoại. Nếu ta chiếu vào mắt một chùm tia tử ngoại có cường độ đủ lớn thì giác mạc có thể bị bỏng, loét. Thuỷ dịch, thuỷ tinh dịch, các phân tử nước trong giác mạc và thuỷ tinh thể hấp thụ rất mạnh các bước sóng lớn hơn 1,20μm. Vùng bước sóng (0,76 ÷ 1,20) μm tuy có đến được võng mạc nhưng không kích thích được các tế bào cảm thụ ánh sáng vì những bước sóng này nằm ngoài phổ hấp thụ của các sắc tố thị giác.

Người ta cho rằng việc hạn chế bề rộng của giải sóng ánh sáng tác dụng vào mắt làm cho sắc sai của mắt được giảm bớt. Mặt khác, nhờ đường kính của đồng tử đủ hẹp nên chỉ có những chùm tia sáng hẹp (bàng trục) mới đi vào mắt, điều này làm giảm quang sai gây ra do chùm tia rộng. Chính vì vậy ảnh của các vật trên võng mạc được sắc nét hơn.

Dưới đây ta xét các bước sóng khác nhau trong vùng (0,40 ÷ 0,76) μm ảnh hưởng đến cảm giác màu như thế nào, xét sự phụ thuộc giữa độ rọi sáng, bước sóng và cảm giác màu, xét các trường hợp rối loạn thị giác màu.

Cảm giác màu là ấn tượng chủ quan, người ta ngụ ý màu là sự khác nhau về chất biểu hiện bên trong cảm giác sáng và trong trường hợp đó thị trường không có cấu trúc. Màu được chia làm hai nhóm: các màu sặc sỡ (đỏ, xanh...) và các màu không sặc sỡ (trắng, đen, các sắc màu khác nhau...). Người ta gọi vật trên thực tế

http://tieulun.hopto.org

không hấp thụ tí ánh sáng nào chiếu tới chúng và trên chúng không xảy ra sự lưu xạ là các vật không màu.

Thành phần phổ của ánh sáng mặt trời và của những vật nung khá nóng trùng với đường cong nhạy sáng Photo trên hình 5.60 nghĩa là ánh sáng mặt trời có đầy đủ các bước sóng trong phạm vi (0,40 ÷ 0,76) μm. Ánh sáng mặt trời gây cho cảm giác màu trắng.

Trong miền (0,40 ÷ 0,76) μm, các bức xạ điện từ có bước sóng nằm trong giới hạn $\Delta\lambda$ nhất định gây cho mắt cảm giác màu sắc nhất định. Nếu $\Delta\lambda$ đủ hẹp, ánh sáng được gọi là đơn sắc, nó gây cho mắt cảm giác màu thuần khiết không nhầm lẫn với các màu khác. Ta gọi chúng là các màu quang phổ (xem bảng 5.3).

Tuy nhiên, ta còn biết nhiều màu không có trong các màu phổ, chẳng hạn như màu nâu, màu hồng... các bảng màu mẫu có đến hàng trăm màu. Nếu suy ngược lại rằng mỗi một màu thuộc về một khoảng bước sóng ($\lambda \div \lambda + \Delta\lambda$) là không đúng.

Hơn nữa có thể nói rằng đa số các màu không thể đặc trưng một cách đơn giản bằng bước sóng; các yếu tố vật lý, sinh lý và tâm lý khác có vai trò trong việc xuất hiện cảm giác màu. Chẳng hạn màu của các vật phụ thuộc vào kích thước của chúng, vào độ chiếu sáng, vào màu của các vật xung quanh... Thí dụ vật xanh - xanh lá cây trên một nền xanh hình như là xanh lá cây hơn, còn trên một nền xanh lá cây lại hình như là xanh hơn.

Ta thường nói về các màu tinh khiết và các màu pha. Màu của phổ là màu tinh khiết, tất cả các màu còn lại là màu pha. Ánh sáng có bước sóng xác định luôn luôn tạo nên màu tinh khiết. Nói ngược lại không đúng. Màu tinh khiết có thể được tạo thành trong trường hợp các tia sáng có các bước sóng khác nhau, các bước sóng đó là khoảng sáng không kết hợp. Chẳng hạn màu tinh khiết thu được trong trường hợp nếu như loại trừ miền từ 0,55 μm đến 0,65 μm (miền này tạo nên màu vàng) để phần còn lại tới mắt tạo nên màu tím xanh, đó là màu tinh khiết vì rằng có thể tìm thấy trong các màu phổ. Nếu loại trừ màu đỏ thì phần còn lại cho màu xanh - xanh lá cây, loại trừ màu vàng cho màu xanh, loại trừ màu vàng - xanh lá cây cho màu tím.

Người ta đã biết các cặp màu bổ sung nhau cho màu trắng. Chúng được gọi là các màu phụ nhau. Thí dụ như màu đỏ và xanh - xanh lá cây, vàng và tím - xanh, da cam và xanh... Trong các màu này thường gặp các màu không tinh khiết, thí dụ màu đỏ thẫm - đỏ là màu phụ của xanh lá cây, màu này không có trong phổ.

Người ta sắp xếp các màu tinh khiết thành một vòng tròn theo thứ tự của chúng trong phổ. Sự sắp xếp như thế gọi là vòng màu. Vòng màu trở nên đầy đủ nếu thêm vào đó màu đỏ thẫm - đỏ không có trong phổ, nó là màu kết hợp giữa đỏ và tím. Các màu phụ nhau nằm về hai phía đối diện của vòng màu.

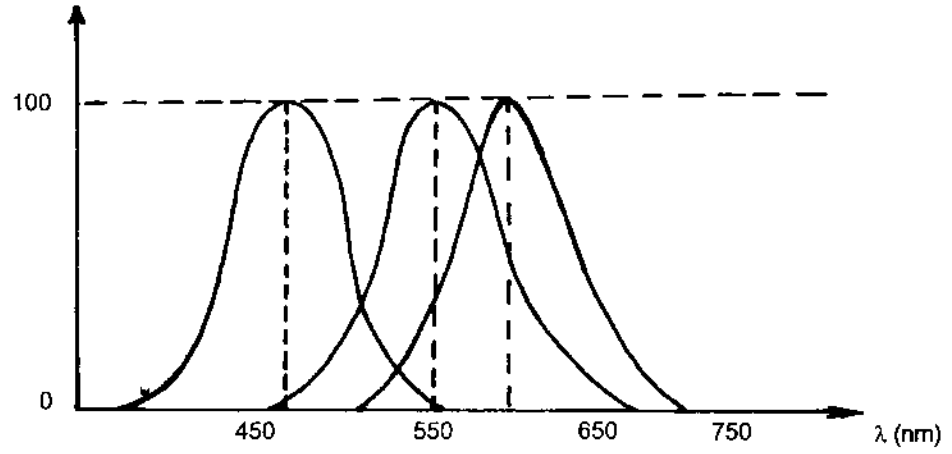
Cường độ (độ chói) là đặc trưng quan trọng khác của cảm giác màu, nó phụ thuộc vào quang thông gây nên cảm giác màu. Độ bão hoà là đặc trưng quan trọng thứ ba của cảm giác màu.

Chúng ta đặt màu trắng gần một màu nào đó, chẳng hạn màu đỏ. Kết quả là độ chói của màu này bị giảm đi và ta nhận được màu hồng khác. Khi thêm màu

http://tieulun.hopto.org

trắng vào một màu bất kỳ sẽ chuyển dần sang trắng; có thể nói rằng độ bão hoà của màu bị giảm đi một cách từ từ. Có thể nhận được mức độ bão hoà khác nhau bằng cách pha lẫn màu cho trước một màu xám nào đó. Thực tế, độ bão hoà biểu thị bằng mức độ phân biệt màu sặc sỡ và không sặc sỡ (trắng, xám, đen) ở cùng một cường độ.

Mắt người có thể nhận được tất cả cảm giác khi pha lẫn 3 màu: đỏ, xanh lá cây và xanh. Trên cơ sở ấy người ta nghĩ rằng có thể giải thích cảm giác màu sắc bằng lý thuyết 3 thành phần của Young, Helmholtz). Theo thuyết này trong võng mạc có ba loại tế bào nón, phổ hấp thụ của chúng được vẽ ở hình 5.61. Người ta gọi tên ba loại tế bào này bằng màu sắc gây ra do bước sóng ứng với cực đại của các phổ hấp thụ trên.



Hình 5.61. Phổ hấp thụ của 3 loại tế bào nón

– Loại tế bào thứ nhất gọi là "tế bào đỏ", cực đại hấp thụ ở $\lambda = 0{,}60\mu m$. Loại tế bào này có thể phản ứng với các bước sóng từ 0,475 μm đến 0,760μm. Những bước sóng lân cận 0,60 μm cho phản ứng mạnh nhất.

– Loại tế bào thứ hai, gọi là "tế bào xanh lá cây" có cực đại hấp thụ ở $\lambda = 0{,}55\mu m$. Loại tế bào này có thể phản ứng với các bước sóng từ 0,425μm đến 0,650μm. Những bước sóng lân cận 0,55 μm cho phản ứng mạnh nhất.

– Loại tế bào thứ 3, gọi là "tế bào xanh - tím" có cực đại hấp thụ ở $\lambda = 0{,}45$ μm. Loại tế bào này có thể phản ứng được với các bước sóng từ 0,40 μm đến 0,55 μm. Những bước sóng lân cận 0,45μm cho phản ứng mạnh nhất.

Phổ hấp thụ của các tế bào trên không trùng nhau, có lệch nhau chút ít. Khi tác dụng lên võng mạc, ánh sáng có bước sóng λ nào đó thì mức độ kích thích 3 loại tế bào trên không giống nhau. Tuỳ theo tương quan của mức độ kích thích các tế bào này mà các xung thần kinh sẽ cho các cảm giác màu khác nhau.

Thí dụ:

http://tieulun.hopto.org

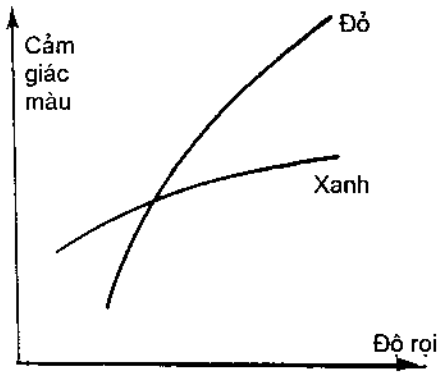
– Tác dụng ánh sáng có bước sóng lân cận 0,42μm lên võng mạc, các tế bào loại thứ 3 bị kích thích, trong khi đó 2 loại tế bào kia không bị kích thích. Các xung thần kinh do loại tế bào này sinh ra cho cảm giác màu tím.

– Tác dụng ánh sáng có bước sóng lân cận 0,70μm. Các tế bào loại 1 bị kích thích, trong khi đó 2 loại tế bào kia không bị kích thích. Các xung thần kinh do loại tế bào này sinh ra cho cảm giác màu đỏ.

– Tác dụng ánh sáng có bước sóng lân cận 0,52μm lên võng mạc, cả ba loại tế bào cùng bị kích thích. Mức độ kích thích các "tế bào đỏ" tỷ lệ với ab, mức độ kích thích các "tế bào xanh lá cây" tỷ lệ với ac, mức độ kích thích các "tế bào xanh - tím" tỷ lệc với ad. Nếu ac > ab > ad, xung động thần kinh sinh ra cho cảm giác màu xanh lá cây.

– Tác dụng ánh sáng có bước sóng lân cận 0,58μm lên võng mạc, các "tế bào đỏ" và các "tế bào xanh lá cây" phản ứng ở mức độ gần như nhau, xung động thần kinh sẽ cho cảm giác màu vàng.

Như vậy, ta thấy các khoảng bước sóng khác nhau cho ta cảm giác màu khác nhau. Tuy nhiên cảm giác màu còn phụ thuộc vào cường độ ánh sáng. Một màu có thể cho ta cảm giác khác nhau tuỳ theo cường độ của nó. Nếu cường độ quá thấp hoặc quá cao thì cảm giác sinh ra sẽ là "trắng". Đối với cường độ trung bình thì sự thay đổi cường độ sẽ cho các cảm giác khác nhau đối với màu khác nhau. Thay đổi cường độ với màu đỏ thì cảm giác màu sẽ thay đổi nhanh hơn so với khi thay đổi cường độ với màu xanh. Hiện tượng đó được gọi là hiện tượng Purkinger. Ta nhìn hai tờ giấy nhỏ màu đỏ và màu xanh. Đối với một độ rọi nào đó, mắt có cảm giác chúng sáng như nhau. Nhưng nếu giảm độ rọi xuống thì tờ giấy đỏ tối hơn tờ giấy xanh. Nếu tăng độ rọi lên thì trái lại tờ giấy đỏ sáng hơn tờ giấy xanh (hình 5.62).



Hình 5.62

Các trường hợp rối loạn thị giác gọi là loạn sắc nếu trong võng mạc có đầy đủ ba loại tế bào đỏ, xanh lá cây và xanh tím với phổ hấp thụ như ở hình 5.61, thì mắt có thể nhận biết được màu sắc một cách bình thường. Mắt như thế được gọi là mắt tricromat. Nếu các phổ hấp thụ của các loại tế bào trên dịch chuyển ra ngoài các vùng 0,60μm, 0,55μm, 0,45μm thì mắt vẫn tổ hợp được tất cả các màu từ ba màu cơ bản trên, nhưng những cảm giác màu sinh ra không được đúng lắm. Trường hợp này gọi là tricromat không bình thường.

Mắt chỉ nhận biết được hai màu cơ bản được gọi là dicromat. Mắt chỉ nhận được một màu thì gọi là monocromat.

http://tieulun.hopto.org

Mắt không nhận biết được màu nào, tất cả đều cho cảm giác xám gọi là acromat. Người ta đã phát hiện thấy có 4 loại dicromat, đó là những chứng loạn sắc thường gặp nhất (Daltonism):

- Protanop: chỉ phân biệt được hai màu xanh lam và vàng; xem màu đỏ và màu xanh, xanh lá cây như là xám; độ nhạy cảm trong miền đỏ của phổ rất thấp.

- Đơteranop: chỉ phân biệt được màu xanh lam và vàng; xem màu xanh lá cây và màu đỏ thắm như là màu xám; độ nhạy cảm trong miền đỏ của phổ bình thường.

- Tritanop: phân biệt được màu xanh lá cây và màu đỏ nhưng không phân biệt được màu xanh lam, thấy màu tím - xanh lam và màu vàng như màu xám.

- Tetratanop: phân biệt được màu xanh lá cây và màu đỏ nhưng không phân biệt được màu xanh lam . Thấy tất cả màu xanh lam và màu vàng như màu xám.

Các chứng trên thường xảy ra do nguyên nhân di truyền và hay gặp ở nam giới.

Về acromat người ta thấy nhiều trường hợp, đáng để ý nhất là trường hợp võng mạc không có tế bào nón, chỉ có tế bào que. Trong trường hợp này ban ngày mắt nhìn rất kém, ban đêm mắt trở nên nhìn tốt hơn. Điều đó giúp cho người ta khẳng định rằng khả năng phân biệt màu sắc là do tế bào nón và khả năng thị giác Scoto là do tế bào que.

Loại monocromat rất ít gặp. Bệnh nhân thường thấy tất cả mọi vật có màu xanh tím.

Tuy vậy có những trường hợp không mất hẳn cảm giác màu của một, hai hay ba thành phần cơ bản nào đó. Mức độ thương tổn có thể không hoàn toàn hoặc không đồng đều cho nên biểu hiện lâm sàng rất phức tạp. Do vậy việc chẩn đoán bệnh cần phải nhiều công phu và cần có các dụng cụ riêng biệt.

Lý sinh thị giác là một vấn đề phức tạp bởi vì không đơn thuần là những vấn đề thuộc phạm vi quang hình học mà còn nhiều vấn đề thuộc phạm vi sinh học phân tử, điện sinh vật... Hiểu biết kỹ các cơ chế thị giác và nhiều hiện tượng đặc biệt của nó giúp cho chúng ta đi sâu vào y học và tìm cách khắc phục, đề phòng được nhiều bệnh tật ở cơ quan thị giác.

2.4. Tác dụng quang động lực (TDQĐL)

Một trong những thí dụ về phản ứng phá huỷ biến tính do ánh sáng gây nên trên cơ thể sinh vật là tác dụng quang động lực. Tác dụng quang động lực được định nghĩa như một sự tổn thương không hồi phục một số chức năng sinh lý và cấu trúc của đối tượng sinh vật dưới tác dụng của ánh sáng với sự có mặt của O_2 và chất hoạt hoá. Trong hiệu ứng quang động lực tác dụng của ánh sáng lên cơ thể là tác dụng gián tiếp và ở đây chất hoạt hoá đóng vai trò một chất xúc tác không thể thiếu được, nó là động lực thúc đẩy sự tiến triển của phản ứng.

Sự liên hợp giữa chất màu với ánh sáng và O_2 là một điều kiện cần thiết của phản ứng gây nên tác dụng quang động lực (tuy nhiên có một đôi khi phản ứng có thể xảy ra không cần có mặt O_2).

http://tieulun.hopto.org

Chất hoạt hoá (chất màu) tham gia trong những phản ứng này là những chất có ái lực hoá học lớn với O_2 và nhỏ với những chất khử. Chúng có đặc điểm chung là có cấu trúc vòng, mối liên kết đôi và có khả năng lân quang có nghĩa là có khả năng giữ năng lượng hấp thụ một thời gian khá dài (không nhỏ hơn 10^{-9}s) chính nhờ khả năng đó mà chúng được gọi là chất màu.

Thực tế là tất cả các đối tượng sinh vật từ động vật có xương sống, không xương sống, từ những thực vật thấp cấp nhất đến cao nhất đều nhạy cảm với tác dụng quang động lực. Cần phải nhấn mạnh là với tác dụng quang động lực lên cơ thể và tế bào, một chức năng bất kỳ nào cũng có thể bị tổn thương. Tác dụng quang động lực có thể dẫn tới sự huỷ hoại hoặc kích thích sự phân bào, giảm quang hợp, ngừng hệ hô hấp, hoặc các phản ứng phospholipid hoá, thay đổi cấu trúc men và acid nucleic, phá huỷ tính thấm của màng, thay đổi nhiệt độ và huyết áp...

Tất nhiên là đối với mỗi trường hợp cụ thể, đầu tiên có thể không phải là tất cả các chức năng bị huỷ hoại mà chỉ một hay vài chức năng xác định có tính nhạy cảm cao hơn cả. Hệ quả của sự tổn thương ban đầu ở "chỗ yếu" (phần nhạy cảm nhất) là sự phá huỷ hàng loạt cấu trúc khác, thậm chí có thể dẫn đến làm chết tế bào hay cơ thể. Những cấu trúc nào, tế bào nào, bộ phận nào của cơ thể bị tổn thương ban đầu trước hết phụ thuộc vào bản chất của chất màu, sau đó là đặc điểm của đối tượng sinh vật. Nói một cách khác, trong từng trường hợp (chất màu xác định và đối tượng sinh vật xác định) ban đầu có thể bị tổn thương những cấu trúc phân tử khác nhau, nhất là protid cấu trúc các men khác nhau, ADN, ARN. Bản chất của những yếu tố làm nhạy cảm ánh sáng kích hoạt để gây nên tác dụng quang động lực rất rõ ràng đó là sự thâm nhập của những thể nhận sắc (chất màu) vào tế bào. Vì thế ta có thể thấy ngay là phổ tác dụng của tác dụng quang động lực phải khá trùng với phổ hấp thụ của chất màu (điều này đã được thực nghiệm chứng minh). Chuỗi sự kiện dẫn đến hiệu ứng sinh vật của tác dụng quang động lực bắt đầu bằng sự tạo thành trạng thái kích thích của chất màu. Ta cần nhấn mạnh là tham gia trực tiếp vào các phản ứng quang hoá thứ cấp không phải là các trạng thái singlet mà là các phần tử kích thích ở trạng thái triplet. Sự tham gia của trạng thái triplet của chất màu vào sự oxy hoá quang hoạt được thấy rất rõ qua việc xét các cơ chế của phản ứng quang động lực. Có thể có những cơ chế sau đây:

Cơ chế 1: $S_0 + h\upsilon \rightarrow S_1^* \rightarrow T_1;\ T_1 + RH_2 \rightarrow S_0 + RH_2^*$

$RH_2^* + O_2 \rightarrow P$

Cơ chế 2: $S_0 + h\upsilon \rightarrow S_1^* \rightarrow T_1;\ T_1 + RH_2 \rightarrow S_0H_2 + R;$

$S_0H_2 + O_2 \rightarrow S_0 + H_2O_2$

Cơ chế 3: $S_0 + h\upsilon \rightarrow S_1^* \rightarrow T_1;\ T_1 + O_2 \rightarrow S_0 + O^*_2$

$RH_2 + O_2^* \rightarrow P$

Cơ chế 4: $S_0 + h\upsilon \rightarrow S_1^* \rightarrow T_1;\ T_1 + O_2 \rightarrow S_0OO$

$RH_2 + S_0OO \rightarrow P + S_0$

http://tieulun.hopto.org

Cơ chế 5: $S_0 + RH_2 \rightarrow S_0RH_2$; $S_0RH_2 + h\upsilon \rightarrow S_1^*RH_2^* \rightarrow T_1RH_2$

$T_1RH_2 + O_2 \rightarrow S_0 + P$

Ở đây: S_o - chất màu ở trạng thái cơ bản

S_0 và T_1 - trạng thái singlet và triplet của chất màu.

RH_2 - chất nền (cơ chất); RH^*_2 - cơ chất bị kích thích.

P - Dạng oxy hoá của cơ chất.

O_2^* - dạng kích thích của O_2 (thường là singlet)

S_0H_2 - dạng quang khử của chất màu.

S_0OO - phức hợp của chất màu và O_2.

S_0RH_2 - phức hợp chất màu và cơ chất (chất nền)

$S_1^*RH^*_2$ và T_1RH_2 - trạng thái singlet và triplet của phức hợp màu và cơ chất.

Như chúng ta đã thấy từ những sơ đồ trên thì trong những trường hợp này chất màu đóng vai trò xúc tác quang hoá ở trạng thái triplet và nó được tái tạo ở cuối phản ứng. Đối với những sơ đồ trên sự có mặt của oxy là bắt buộc; oxy tham gia phản ứng hoặc với cơ chất bị kích thích do di chuyển năng lượng (5) hoặc với chất màu "triplet" (4) hoặc có phản ứng giữa oxy bị kích thích và cơ chất (3).

Những sơ đồ trên cho phép ta nghĩ rằng phản ứng quang hoá sơ cấp của TDQĐL dẫn đến những sự thay đổi oxy hoá khử và nói chung các phản ứng này có những trạng thái trung gian là gốc tự do. Nhiều thí nghiệm in vitro đã cho thấy rằng bằng con đường QĐL hầu hết các acid hữu cơ, các idol, ceton các amin, este, phenol, acid amin thơm (metyl, triptophan, cestein, tirosin...), pyrin, pirimidin, nucleotid, hormon, acid nucleic và protid bị oxy hoá.

Ta xét một số tác dụng quang động lực (TDQĐL) cụ thể:

a. TDQĐL lên protid và acid nucleic: TDQĐL lên các chất protid phụ thuộc vào các đặc tính hoá lý của chúng: độ nhớt, khả năng khuếch tán, khả năng di chuyển, sức căng mặt ngoài... Theo nhiều nghiên cứu, QĐL làm giảm hoạt tính của các men, ức chế tính kháng nguyên của chúng. Sở dĩ như vậy vì ánh sáng đã gây nên các thay đổi ở mạch bên của các acid amin của chúng. Thí dụ khi có chất metilen kích hoạt ánh sáng sẽ làm cho hoạt tính của trypzin giảm đi bằng cách oxy hoá một mạch bên của histidin. TDQĐL làm giảm khả năng hoà tan và tăng hệ số nhớt của các protein trong máu và các sắc tố globulin. Khi chiếu ánh sáng vào dung dịch actomiosin và hoạt hoá bằng erittroson, actomiosin sẽ chuyển sang trạng thái gel sau đó khuấy lên chất này lại trở lại trạng thái lỏng. Người ta cũng thấy hiện tượng tương tự khi chiếu ánh sáng lên ATP với sự có mặt của erittrosin.

QĐL làm giảm một cách đáng kể độ nhớt và khả năng lắng của các acid nucleic điển hình là guanidin. Sở dĩ như vậy vì các phản ứng quang hoá đã làm gẫy cấu trúc của guanin (hiện tượng khử polime), làm thay đổi nhiệt độ phân huỷ của ADN. Những thương tổn có tính chất cấu trúc của acid nucleic dưới TDQĐL dẫn

http://tieulun.hopto.org

đến sự phá huỷ hoạt tính sinh học của chúng. Thí dụ khi có chất metilen kích hoạt ánh sáng sẽ làm cho hoạt tính của trypsin giảm đi bằng cách oxy hoá một mạch bên của histidin. TDQĐL làm giảm khả năng hoà tan và tăng hệ số nhớt của các protein trong máu và các sắc tố globulin. Khi chiếu ánh sáng vào dung dịch actomiosin và hoạt hoá bằng erittrosin, actomiosin sẽ chuyển sang trạng thái gel sau đó khuấy lên chất này lại trở lại trạng thái lỏng. Người ta cũng thấy hiện tượng tương tự khi chiếu ánh sáng lên ATP với sự có mặt của erittrosin.

QĐL làm giảm một cách đáng kể độ nhớt và khả năng lắng của các acid nucleic điển hình là guanidin. Sở dĩ như vậy vì các phản ứng quang hoá đã làm gẫy cấu trúc của guanin (hiện tượng khử polime), làm thay đổi nhiệt độ phân huỷ của ADN. Những thương tổn có tính chất cấu trúc của acid nucleic dưới TDQĐL dẫn đến sự phá huỷ hoạt tính sinh học của chúng. Thí dụ như ADN virus thuốc lá mất khả năng miễn dịch do TDQĐL. Việc nghiên cứu khử hoạt tính của virus bằng TDQĐL mở ra triển vọng chế tạo vacxin chống virus. Tuy nhiên tới nay các kết quả của thí nghiệm vẫn chưa dẫn đến một ứng dụng thực tế nào vì một khó khăn lớn trong lĩnh vực này là các phân tử màu khó lọt qua được vỏ bọc protein của virus.

b. TDQĐL lên dược chất: trong điều trị chúng ta thường dùng nhiều loại thuốc tham gia vào các phản ứng QĐL, các loại sulphonamid là một thí dụ điển hình. Một trong những tác dụng phụ của loại thuốc này là tăng pocphirin trong máu, khi chiếu ánh sáng vào da có thể gây nên các rối loạn thần kinh.

TDQĐL cũng thấy ở các loại barbiturat (như Sevenan, Luminan được sử dụng làm thuốc ngủ hoặc an thần) hay ở một vài loại thuốc kháng histamin. Khi sử dụng thuốc này bệnh nhân phải kiêng ra nắng vì dưới tác dụng của bức xạ mặt trời chất pocphirin có nhiều trong máu sẽ gây nên các rối loạn về men, các triệu chứng như nhiễm độc chì, các rối loạn ở da và thần kinh.

c. TDQĐL lên hoạt động của cơ và hệ thần kinh: năm 1917, Viale đã phát hiện thấy khi dùng eozin hay dùng benzoflavin phủ lên mặt ngoài của tim ếch sẽ làm cho biên độ và tần số co bóp tăng lên. Năm 1959 Santa Maria cũng thu được các kết quả tương tự dưới tác dụng của chất hoạt hoá và bức xạ nhìn thấy, tim chuột nhắt co bóp mạnh hơn bình thường. Ngâm tim ếch cô lập vào dung dịch Ringer không có kali, sau một thời gian tim sẽ ngừng đập ở giai đoạn tâm trương. Nếu nhỏ eozin vào dung dịch đó để nồng độ eozin đạt từ $10^{-6} \div 10^{-5}$ g/ml và chiếu sáng vào tim ếch, sau vài phút tim lại tiếp tục co bóp.

Hoạt động của thần kinh cũng thay đổi khi chịu TDQĐL. Trong thời gian chiếu sáng chỉ cần 1 xung điện kích thích lên thần kinh đùi ếch có phủ một lớp mỏng eozin cũng có thể gây nên không phải một mà cả dãy liên tiếp điện thế hoạt động.

d. TDQĐL lên cơ thể sinh vật: chúng ta thường quan sát tác dụng QĐL lên các tế bào và các mô nuôi cấy. Theo kết quả của thực nghiệm, QĐL gây nhiều tác dụng khác nhau làm thay đổi tốc độ quá trình phân chia tế bào, biến đổi quá trình trao đổi chất, làm cho tế bào chết...

http://tieulun.hopto.org

Đối với thực vật, TDQĐL làm rối loạn các quá trình sống trước hết là quá trình quang hợp và có thể làm cho tế bào chết. Một số súc vật như ngựa, lợn rừng, dê... ăn phải thực vật có chứa chất hoạt hoá các phản ứng QĐL sẽ bị xạm hoặc loét da, lông bị rụng.

Nhiều chất hoạt hoá phản ứng QĐL có khả năng gây ung thư. Chiếu bức xạ nhìn thấy có cường độ mạnh vào chuột sau khi tiêm chất pocphirin hoặc eozin, ta có thể gây ung thư da cho chuột. Ở người già chất pocphirin (xuất hiện trong quá trình hình thành huyết cầu và xâm nhập vào hemoglobin) không bị phân huỷ, lượng này được tích trữ dưới da, do đó tỷ lệ ung thư da ở những người già cao hơn ở các lứa tuổi khác.

Tóm lại qua những thí dụ trên, ta có thể hình dung một cách tổng quát về sơ đồ quá trình TDQĐL như sau:

Ánh sáng → chất cảm ứng → trạng thái triplet của chất cảm ứng → những biến đổi oxy hoá với sự tham gia của cơ chất (thường có O_2) → quang sản phẩm → những biến đổi có tính chất cấu trúc của những phần tử vĩ mô → hiệu ứng sinh vật.

2.5. Tác dụng của tia tử ngoại lên các hệ thống sống

Tia tử ngoại của mặt trời ảnh hưởng lên hầu như tất cả các quá trình trao đổi chất và sinh lý chức năng mỗi sinh vật. Trong một vài trường hợp còn có thể có ý nghĩa quyết định đối với hoạt động sống của một cơ thể nào đó. Nghiên cứu tác dụng của bức xạ tử ngoại, người ta có thể chia phổ của nó làm 3 vùng.

– Vùng bước sóng từ 100 đến 275 nm gọi là vùng sóng ngắn làm thay đổi cấu trúc của protid, lipid và có tác dụng diệt trùng.

– Vùng có bước sóng từ 275 đến 320 nm gọi là vùng sóng trung, có tác dụng chống còi xương, tạo sắc tố, thúc đẩy sự tạo thành biểu mô, làm tốt hơn các quá trình tái sinh.

– Vùng có bước sóng từ 320 đến 400 nm gọi là vùng tử ngoại sóng dài, có tác dụng sinh vật yếu, gây phát quang ở một số chất hữu cơ.

Tia tử ngoại có thể gây nên những phản ứng quang sinh dẫn đến phá huỷ acid nuleic và protid. Những phản ứng quang sinh này gây nên do những phản ứng thứ cấp không liên quan gì đến tác dụng trực tiếp của tia tử ngoại. Những thay đổi thứ cấp xảy ra do những men của tế bào phá vỡ các protid đã bị biến tính gây nên sự tích tụ các sản phẩm của sự phân hủy protid, trong đó có histamin, các sản phẩm phân huỷ gây sự kích thích các đầu dây thần kinh, dẫn đến sự xuất hiện những phản xạ phức tạp khác nhau. Tia tử ngoại có cường độ đủ lớn dẫn đến sự nhị trùng các gốc timin và sự hydrat hoá các gốc citosin của acid nucleic. Quá trình tác dụng của tia tử ngoại lên các protid làm xuất hiện sự phá huỷ các acid amin thơm (tirosin và triptophan) dẫn tới làm biến tính và khử hoạt tính các men có thể xảy ra theo các giai đoạn sau:

– *Giai đoạn tích cực là sự hấp thụ ánh sáng kích thích các phân tử acid amin,* chuyển chúng sang trạng thái kích thích; có thể có bước chuyển ngược về trạng thái không kích thích bằng cách phát lượng tử ánh sáng (phát sáng).

http://tieulun.hopto.org

$$AH + h\upsilon_1 \rightarrow AH^*$$

$$AH^* \rightarrow AH + h\upsilon_2 \text{ (trong đó } \upsilon_2 < \upsilon_1)$$

– *Giai đoạn quang ion hoá,* là phân tử acid amin bị kích thích mất điện tử (quang ion hoá), xuất hiện điện tích dương không bị bù trừ, tức là tạo nên gốc ion dương, điện tử bị các phân tử xung quanh chủ yếu là nước chiếm, xảy ra phản ứng solvat hoá.

$$AH^* \rightarrow AH^+ + e_s^-$$

Các ion có thể phân huỷ tạo thành các gốc tự do và proton cô lập.

$$AH^+ \rightarrow A + H^+$$

Những quá trình này xảy ra rất nhanh, nghiên cứu chúng chỉ có thể bằng phương pháp quang phân tạo xung hay ở nhiệt độ thấp. Các ion có thể tổ hợp ngược với điện tử solvat dưới tác dụng của ánh sáng hay nhiệt độ. Khi ấy phân tử bị kích thích được tạo nên và sau khi bức xạ ánh sáng nó trở về trạng thái không kích thích.

$$AH^+ + e^-_s \xrightarrow[\text{nhiệt độ}]{\text{ánh sáng hoặc}} AH^*$$

$$AH^* \rightarrow AH + h\upsilon_1$$

Nếu như quá trình được trình bày này xảy ra dưới tác dụng của ánh sáng thì nó được gọi là sự phát quang cảm ứng còn dưới tác dụng của nhiệt độ thì gọi là nhiệt phát quang.

– *Giai đoạn phản ứng của các gốc tự do và điện tử solvat.* Gốc tự do của acid amin kết hợp với oxy tạo thành gốc oxyd của acid amin thơm.

$$A^* + O_2 \rightarrow AOO^*$$

Các gốc tự do tương tác với các nhóm protid ở cạnh, kết quả là tạo nên NH_3 và gốc của acid amin khác, đó là sự tăng nhạy.

$$e^-_s + H^+ + H_2N - R \rightarrow NH_3^*\uparrow + R^*$$

– *Giai đoạn phản ứng hoá học phá huỷ acid amin*: Các gốc oxyd của các acid thơm qua hàng loạt phản ứng tạo nên những sản phẩm có tác dụng độc. Các phản ứng được tăng nhạy với các nhóm lân cận của các phân tử protid gây nên sự thay đổi cấu hình của các đại phân tử protid và làm mất hoạt tính men.

Tia tử ngoại liều lượng lớn có tác dụng diệt khuẩn cao là do tia đã khống chế khả năng sinh sản của vi khuẩn. Tác dụng này chủ yếu là do tia làm tổn thương ADN của virus và vi khuẩn.

http://tieulun.hopto.org

Cần chú ý rằng tác dụng yếu của tia tử ngoại là nâng cao tính phản ứng miễn dịch của cơ chế. Giá trị đặc biệt của tia tử ngoại là ở quá trình tạo vitamin D. Vitamin D là một trong những chất hữu cơ rất quan trọng đối với cơ thể. Sự hạn chế tổng hợp vitamin D sẽ dẫn tới phá huỷ trao đổi phospho, calci. Do vậy sự chiếu tia tử ngoại còn được ứng dụng trong điều trị bệnh còi xương, làm cho vết thương chóng lên sẹo, cũng như làm xương gẫy chóng liền.

V. PHƯƠNG PHÁP QUANG PHỔ HẤP THỤ PHÂN TỬ

1. Quang phổ

1.1. Sự tán sắc ánh sáng

a. Sự tán sắc của các sóng sáng là sự phụ thuộc của vận tốc lan truyền pha v của sóng sáng vào bước sóng λ.

$$v = f(\lambda) \qquad (5.84)$$

Các môi trường gây nên sự phụ thuộc trên được gọi là môi trường tán sắc.

Nếu $\frac{dv}{d\lambda} > 0$, nghĩa là các sóng có bước sóng lớn hơn sẽ truyền với vận tốc pha lớn hơn, sự tán sắc được gọi là thông thường.

Nếu $\frac{dv}{d\lambda} < 0$, nghĩa là các bước sóng lớn hơn sẽ lan truyền với vận tốc pha nhỏ hơn, sự tán sắc được gọi là dị thường.

Nếu $\frac{dv}{d\lambda} = 0$ sự tán sắc không xảy ra.

Vì chiết suất tuyệt đối n của môi trường là tỷ số giữa vận tốc pha c của ánh sáng trong chân không và vận tốc pha v trong môi trường.

$$n = \frac{c}{v}$$

nên khi xét sự tán sắc ánh sáng, để tiện lợi, ta nghiên cứu sự phụ thuộc của chiết suất n vào bước sóng λ.

$$n = f(\lambda) \qquad (5.85)$$

– Quan sát màu sắc các ngôi sao (ánh sáng của các ngôi sao phát ra truyền tới trái đất), các nhà thiên văn học rút ra là trong chân không không có sự tán sắc của ánh sáng (cũng như sóng điện từ nói chung).

– Độ tán sắc của chất là đại lượng xác định tốc độ biến thiên của chiết suất theo độ biến thiên của bước sóng:

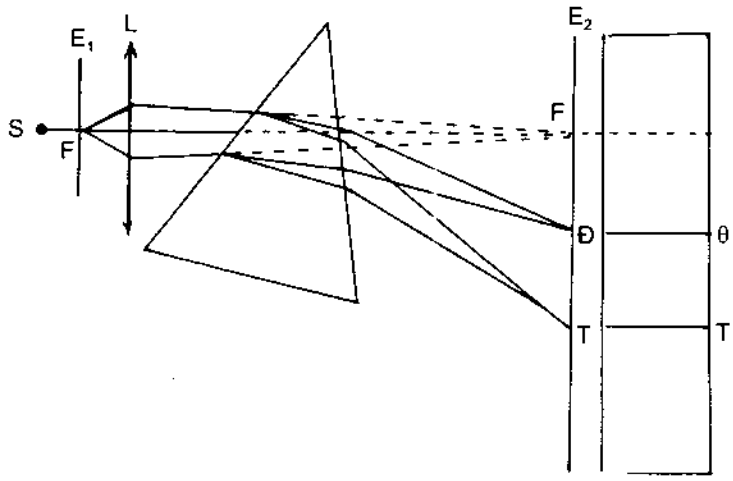
$$q = \frac{dn}{d\lambda} \qquad (5.86)$$

http://tieulun.hopto.org

Đối với tất cả các chất trong suốt, chiết suất n tăng đơn điệu với sự giảm của bước sóng λ, nghĩa là các tia tím bị khúc xạ mạnh hơn các tia đỏ, điều đó tương ứng với sự tán sắc thường.

b) Thí nghiệm quan sát sự tán sắc ánh sáng.

Trên hình 5.63 thì S là nguồn sáng phát ra ánh sáng trắng. Màn ảnh E_1 chỉ cho một chùm sáng F rất hẹp đi qua (dạng vạch). Chùm sáng này qua thấu kính hội tụ sẽ tạo nên ảnh thật F trên màn ảnh E_2. Nếu đặt một lăng kính vào giữa L và E_2, trên màn ảnh E_2 ta sẽ thu được một hệ thống các vạch thay đổi màu từ đỏ qua da cam, vàng, lục, lam, chàm đến tím. Hệ thống vạch màu này chồng chất lên nhau, không có biên giới xác định, gọi là phổ của ánh sáng trắng.



Hình 5.63

Như vậy ánh sáng trắng là sự chồng chất của các ánh sáng đơn sắc khác nhau có màu thay đổi từ đỏ đến tím (bước sóng thay đổi tương ứng từ cận λ đỏ = 0,76 μm đến λ tím = 0,39 μm (trong phạm vi mắt ta nhìn thấy).

Phổ của ánh sáng trắng (cũng như của các ánh sáng khác) không phụ thuộc vào dụng cụ (phương tiện) làm tán sắc ánh sáng, chẳng hạn ta có thể thay lăng kính bằng cách tử.

Cách tử được tạo bởi một màn chắn rất phẳng trên đó người ta đục các vạch thủng hình chữ nhật đều đặn, song song, rất mảnh và gần nhau. Khoảng cách giữa 2 vạch thủng gọi là bước của cách tử (thông thường khoảng 2μm). Người ta dùng ánh sáng truyền qua thì cách tử gọi là cách tử nhiễu xạ, dùng ánh sáng phản xạ thì cách tử gọi là cách tử phản xạ. Kết qua ta cũng thu được phổ tương tự như lăng kính.

c) Tia hồng ngoại và tia tử ngoại.

Trên màn ảnh E_2 phía ngoài của các màu đỏ, nếu dùng nhiệt kế nhạy hoặc cặp nhiệt điện, ta phát hiện ra các tia không nhìn thấy, có tác dụng nhiệt rõ rệt. Đó là các tia hồng ngoại.

http://tieulun.hopto.org

Các tia hồng ngoại có thể coi là có bước sóng từ 0,76μm đến 350μm. Các vật có nhiệt độ dưới 500°C chỉ phát ra tia hồng ngoại. Người ta thường chia ra: miền hồng ngoại gần có λ = (0,76 μm ÷ 2,5 μm) miền hồng ngoại trung có λ = (2,5 μm ÷ 25 μm), miền hồng ngoại xa có λ = (25 μm ÷ 350 μm).

Tia hồng ngoại được ứng dụng trong điều trị để sưởi nóng, làm giãn mạch máu ngoại biên, thúc đẩy quá trình lên da non; ứng dụng trong dược (phương pháp phổ hấp thụ phân tử miền hồng ngoại) để định tính và định lượng các loại thuốc.

Cũng trên màn ảnh E_2, phía ngoài của các màu tím, người ta cũng phát hiện các tia không nhìn thấy, có tác dụng nhiệt, hoá sinh học ... đó là các tia tử ngoại (xem mục 4.2.5)

1.2. Các phổ

– Các vật rắn, lỏng và các chất khí bị nung nóng ở áp suất cao đều phát ra ánh sáng. Ánh sáng này qua hệ thống phân tách cho ta một phổ liên tục, trong đó các màu sắc của phổ chuyển liên tục từ màu này sang màu khác.

– Các nguyên tử của các khí kém hay hơi khi bị đốt nóng đều phát ra ánh sáng. Phân tích ánh sáng này ta thu được quang phổ vạch gồm những vạch có màu sắc riêng lẻ. Mỗi nguyên tố hoá học đều có một quang phổ vạch đặc trưng cho nó. Thí dụ: Natri có vạch vàng với λ = 0,589 μm, oxi có vạch đỏ λ = 0,62 μm, hydro có vạch đỏ λ = 0,653 μm, vạch xanh có λ = 0,486 μm, vạch chàm có λ = 0,433 μm, vạch tím có λ = 0,410 μm.

– Quang phổ của phân tử gồm một số lớn các vạch riêng lẻ chồng lên nhau thành những đám màu, rõ nét ở một phía và bị loang rộng ra ở phía khác. Các quang phổ đó được gọi là các quang phổ đám.

– Nếu ánh sáng trắng từ một nguồn cho quang phổ liên tục truyền qua các hơi của chất cần nghiên cứu và sau đó được phân tích thành phổ thì trên nền của quang phổ liên tục người ta thấy các vạch hấp thụ tối (các vạch Fraunhofer) ở đúng những chỗ trước đó có các vạch bức xạ do hơi của chất nghiên cứu phát ra. Hiện tượng này được G.R. Kirchhoff và R. Bunsen tìm ra, phát biểu thành định luật: "Các nguyên tử hấp thụ đúng những bước sóng mà chúng đã phát ra".

– Việc nghiên cứu các quang phổ vạch phát xạ và hấp thụ là một phương pháp nghiên cứu rất tinh vi. Các vạch đặc trưng cho một nguyên tố cho trước, cho phép ta đoán nhận một cách định tính về sự có mặt của nguyên tố đó. Độ chói của các vạch phổ cho ta khả năng đoán nhận về mặt định lượng của một nguyên tố nào đó.

1.3. Giải thích sự tán sắc và sự hấp thụ

Sự tán sắc của ánh sáng trong môi trường được giải thích bằng tương tác của sóng điện từ với các electron của chất.

– Dưới tác dụng của sóng đập tới chất, các hạt mang điện sẽ dao động cưỡng bức với tần số υ của sóng tới. Khi đó, các hạt phát ra sóng điện từ, các sóng này cộng vào với sóng ban đầu, kết quả là pha và biên độ của sóng tổng hợp biến thiên so với sóng ban đầu.

http://tieulun.hopto.org

Các sóng có những tần số trùng với tần số dao động riêng υ_{01}, υ_{02}... của các hạt mang điện của chất này sẽ gây ra các dao động cộng hưởng của các hạt đó. Năng lượng sóng điện tử đó chuyển thành động năng phân tử.

Như vậy các sóng có những tần số nói trên bị môi trường hấp thụ rất mạnh. Trong phổ của ánh sáng đi qua môi trường, tại những nơi tương ứng với các sóng đó có tần số trên, người ta quan sát thấy những vạch hấp thụ tối.

Ứng dụng lý thuyết của các dao động cho phép thu được công thức tán sắc sau cho chiết suất n của môi trường:

$$n^2 \approx 1 + \frac{k_1\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{k_2\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + ... \qquad (5.87)$$

trong đó λ là bước sóng của ánh sáng tới, còn λ_1, λ_2... là bước sóng ứng với các dao động cộng hưởng của các hạt của chất: k_1, k_2 ... là các hằng số tương ứng.

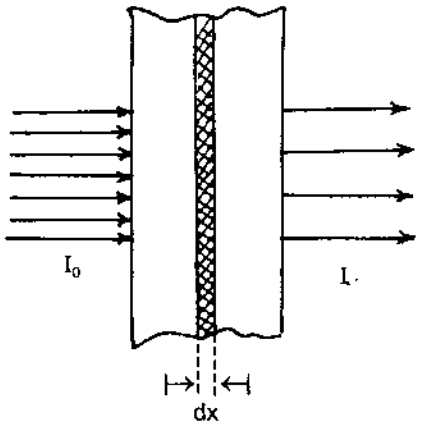
5.5.2. Định luật hấp thụ ánh sáng

Giả sử ta có một lớp môi trường có bề dày x (hình 5.64) được một chùm sáng đơn sắc chiếu tới mà cường độ sáng trước khi vào môi trường là I_o sau khi qua môi trường là $I_{(x)}$. Ta xét một lớp môi trường có bề dày dx, cho chùm tia sáng có cường độ $I_{(x)}$ xuyên qua lớp môi trường dx thì phần cường độ sáng $dI_{(x)}$ bị lớp vật chất hấp thụ sẽ tỷ lệ với $I_{(x)}$ và dx:

$$dI_{(x)} \sim I_{(x)}.dx$$

$$dI_{(x)} = -\mu I_{(x)}.dx \qquad (5.88)$$

trong đó μ là hệ số hấp thụ của môi trường μ phụ thuộc vào bản chất, mật độ môi trường, vào bước sóng ánh sáng. Dấu trừ cho biết cường độ sáng qua lớp dx bị giảm đi.



Hình 5.64

Từ (5.88) ta có:

$$\frac{dI_{(x)}}{I_{(x)}} = -\mu.dx \qquad (5.59)$$

Khi cho x biến thiên từ 0 đến x thì I biến thiên từ I_o đến $I_{(x)}$ (hoặc viết đơn giản là I). Tích phân hai vế:

$$\int_{Io}^{I} \frac{dI_{(x)}}{I_{(x)}} = -\int_{o}^{x} \mu.dx$$

$$\ell nI_{(x)} \Big|_{Io}^{I} = -\mu x \Big|_{0}^{x} \rightarrow \ell nI - \ell nI_0 = -\mu.x$$

http://tieulun.hopto.org

Hoặc: $$\ell n\frac{I}{I_0} = -\mu.x \rightarrow I = I_0.e^{-\mu x} \qquad (5.89)$$

(cần chú ý rằng $\mu = f(Z,\rho,\lambda)$ trong đó Z là nguyên tử số của chất tạo môi trường, ρ là mật độ môi trường, λ là bước sóng ánh sáng).

Biểu thức (5.89) biểu diễn định luật Bouguer cho biết qui luật giảm cường độ ánh sáng khi truyền qua môi trường. Thường người ta viết định luật Bouguer dưới dạng sau:

$$I = I_0.10^{-kx} \qquad (5.90)$$

Trong đó k là hệ số tắt, $k = 0,43\mu$ nếu $\frac{I}{I_0} = \frac{1}{10}$ thì $k = \frac{1}{x}$. Vậy hệ số tắt có giá trị bằng nghịch đảo bề dày hấp thụ bằng đại lượng nghịch đảo của hệ số tắt thì cường độ ánh sáng sẽ bị giảm đi 10 lần.

Trong trường hợp môi trường hấp thụ ánh sáng là dung dịch loãng có nồng độ bằng C, ta thấy hệ số tắt k tỷ lệ thuận với C:

$$k = \varepsilon C$$

ta gọi ε là hệ số tắt của dung dịch. Đơn vị đo của nó phụ thuộc vào đơn vị đo nồng độ dung dịch.

Như vậy:

$$I = I_o.\ 10^{-\varepsilon.C.x} \qquad (5.91)$$

Đó là biểu thức của định luật Bouguer Lambert Bear. Định luật này chứng tỏ rằng hệ số hấp thụ của một chất tỉ lệ thuận với khối lượng lớp môi trường mà ánh sáng đi qua, tức là tỉ lệ thuận với số phân tử chất hấp thụ trên một đơn vị độ dài của đường truyền sáng. Ý nghĩa vật lý của định luật này là khả năng hấp thụ ánh sáng của một phân tử nào đó không phụ thuộc vào sự có mặt của các phân tử khác ở xung quanh nó. Rõ ràng là điều này chỉ đúng với trường hợp dung dịch loãng. Khi nồng độ dung dịch tăng, khoảng cách giữa các phân tử giảm, tương tác giữa các phân tử là đáng kể, ta thấy có nhiều sai khác so với định luật Bouguer Lambert Bear. Khi ấy hệ số hấp thụ không phụ thuộc tuyến tính vào nồng độ dung dịch nữa. Ngoài ra, trong nhiều trường hợp ε không chỉ phụ thuộc vào chất tan mà còn phụ thuộc cả vào dung môi. Điều này chứng tỏ rằng sự tương tác giữa các phân tử dung môi với các phân tử chất tan cũng ảnh hưởng đến sự hấp thụ của dung dịch.

Để đặc trưng cho sự hấp thụ mạnh hoặc yếu, ngoài hệ số hấp thụ μ hệ số tắt k, người ta thường dùng các đại lượng sau:

- Hệ số truyền qua T:

$$T = \frac{I}{I_0} \qquad \text{(Có thể tính bằng phần trăm)} \qquad (5.92)$$

http://tieulun.hopto.org

– Độ hấp thụ A:

$$A = 100\% - T\% \qquad (5.93)$$

Mật độ quang học D

$$D = \lg\frac{I_0}{I} = \lg\frac{1}{T} = \varepsilon.C.x \qquad (5.94)$$

Nếu T tính bằng phần trăm thì:

$$D = \lg\frac{100}{T} = 2 - \lg T \qquad (5.95)$$

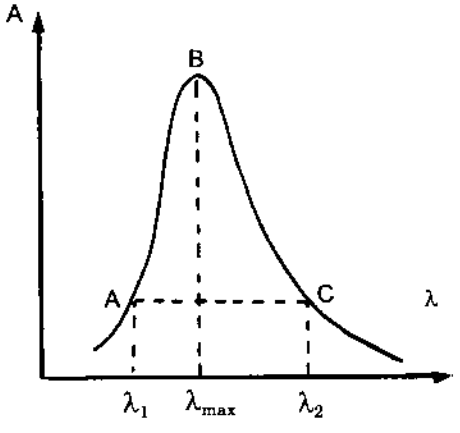
Tất cả các đại lượng đặc trưng cho khả năng hấp thụ ánh sáng của môi trường vật chất đều phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng hay tần số:

$$(\mu; \varepsilon; A; D) = f(\lambda) \qquad (5.96)$$

Đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của một trong các hệ số đó vào bước sóng gọi là phổ hấp thụ phân tử. Đối với phổ hấp thụ hồng ngoại người ta hay biểu diễn sự phụ thuộc của hệ số truyền qua T vào số sóng υ:

$$T = f(\bar{\upsilon}) \quad \text{với} \quad \bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$$

Thí dụ: Hình 5.65 biểu diễn sự phụ thuộc của độ hấp thụ A vào bước sóng ánh sáng λ. Thông thường người ta lấy độ hấp thụ cao nhất (λ_{max}) trong đồ thị là 100%, các độ hấp thụ ứng với các bước sóng khác đều nhỏ hơn hoặc bằng 100%.



Hình 5.65

Chúng ta biết rằng không có một chất nào cho qua toàn bộ các miền bức xạ điện từ hay nói khác đi không hề hấp thụ ánh sáng một tí nào. Mỗi một chất đều hấp thụ ở miền này hay miền khác của phổ. Trên phổ ta thấy có những đoạn tăng đơn điệu, tiếp sau là những đoạn giảm đơn điệu. Một cách hình thức sự hấp thụ như vậy gọi là sự hấp thụ có tồn tại cực đại. Bước sóng ứng với sự hấp thụ cực đại gọi là bước sóng hấp thụ cực đại (λ_{max}). Miền phổ trong đó sự hấp thụ chuyển qua cực đại gọi là dải hấp thụ.

Cụ thể, trên hình 5.65 ta thấy khoảng bước sóng từ λ_1 đến λ_2 ứng với phần đường cong ABC có đỉnh cực đại B là dải hấp thụ.

http://tieulun.hopto.org

3. Ứng dụng quang phổ hấp thụ phân tử

Quang phổ hấp thụ phân tử được ứng dụng để nghiên cứu thành phần, cấu trúc của các chất. Phép phân tích các chất bằng quang phổ hấp thụ phân tử bảo đảm: nhạy, nhanh, chính xác và đặc biệt không cần tách riêng các thành phần trong một hỗn hợp nhiều chất, không làm hỏng mẫu nghiên cứu. Với phổ hấp thụ phân tử ta có thể thực hiện phép phân tích định tính và cả phân tích định lượng các chất.

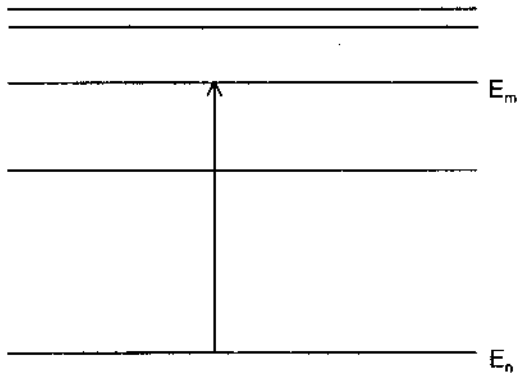
3.1. Phân tích định tính

Việc phân tích định tính các chất bằng quang phổ hấp thụ phân tử dựa trên mối quan hệ vô cùng khăng khít giữa bản chất vật chất và những tính chất quang phổ của chúng. Mỗi chất được đặc trưng bởi các bước sóng hấp thụ cực đại (λ_{max}). Giữa bước sóng hấp thụ cực đại và kích thước của các liên kết, hay nói khác đi với cấu trúc vật chất, có một mối liên quan xác định. Điều đó được giải thích bằng sự tồn tại các mức năng lượng xác định của các điện tử trong phân tử. Khi phân tử hấp thụ lượng tử ánh sáng, điện tử có thể chuyển lên những mức năng lượng kích thích khác nhau. Xác suất chuyển của điện tử tới phân mức dao động xác định nào đó tuân theo nguyên tắc Pauli và hoàn toàn phụ thuộc vào cấu trúc phân tử. Bước sóng λ_{max} là bước sóng ứng với xác suất lớn nhất để điện tử chuyển lên mức năng lượng kích thích E_m từ mức năng lượng E_n (hình 5.66).

$$E_m - E_n = \Delta E_{max} = \frac{hc}{\lambda_{max}} \qquad (5.98)$$

(E_n - mức năng lượng ban đầu của điện tử).

Chính vì vậy những chất có cấu trúc phân tử khác nhau có những bước sóng hấp thụ cực đại khác nhau. Do đó dựa vào vị trí cực đại của phổ hấp thụ ta có thể xác định một chất là chất gì hay hỗn hợp chất gồm những đơn chất nào.



Hình 5.66. Sự chuyển mức năng lượng của điện tử

Những kết quả thực nghiệm cho chúng ta thấy rằng nhiều nhóm chức cho ta các dải hấp thụ đặc trưng nằm trong những miền sóng xác định. Đa số các nhóm chức hữu cơ có cực đại hấp thụ điển hình nằm trong miền sóng từ 200nm đến 500nm. Miền sóng ứng với cực đại hấp thụ của nhóm chức không thay đổi dù nhóm chức đó ở chất này hay chất khác. Chẳng hạn các chất khác nhau có cùng nhóm chức CH_3 có hấp thụ cực đại ở đặc trưng ở 377,7 nm và 348,2nm. Chính vì vậy sự có mặt trong phổ hấp thụ cực đại ở bước sóng tương ứng với nhóm chức đó

http://tieulun.hopto.org

cho phép ta khẳng định sự tồn tại của nhóm chức đó trong hợp chất. Dựa vào tính chất này của vật chất mà người ta phân tích định tính các chất.

Thí dụ như để xác định thành phần cấu tạo của tế bào lympho chuột người ta đã chụp phổ hấp thụ của những tế bào đó. Mật độ quang học cực đại tại bước sóng λ_{max}= 260nm cho phép ta kết luận là thành phần chính của tế bào lympho này ta thấy còn có một điểm đặc biệt là bề rộng dải hấp thụ tương đối lớn so với phổ hấp thụ khác. Ta biết rằng λ = 280nm là bước sóng hấp thụ cực đại của các acid amin thơm (gốc triptophan, tyrosin). Tính tỉ số $\eta = \frac{D_{280}}{D_{260}}$, trong đó D_{280} và D_{260} là mật độ quang học của dung dịch tế bào tại các bước sóng 280nm và 260nm, người ta thu được giá trị η = 0,8 lớn hơn bình thường. Điều này chứng tỏ rằng trong tế bào lympho ngoài các acid nucleic còn có một phần đáng kể protein.

Với thí dụ trên chúng ta còn muốn nhấn mạnh rằng giữa bề rộng dải hấp thụ và cấu trúc vật chất có một mối liên quan chặt chẽ. Bề rộng, hình dáng phổ hấp thụ phụ thuộc vào mức độ phức tạp của cấu tạo phân tử. Ngoài ra, những yếu tố đặc trưng cho sự hấp thụ này còn phụ thuộc vào tính chất của môi trường bao quanh chúng.

Phương pháp phân tích định tính bằng quang phổ hấp thụ phân tử đặc biệt có hiệu quả trong những trường hợp mà các phương pháp hoá học không giải quyết được. Thí dụ: 3 chất nội tiết tố sinh dục nữ ostron, ostrion và ostradion có thành phần cấu tạo rất giống nhau, vì thế khó phân biệt được chúng bằng phương pháp hoá học. Nhưng nếu cho chúng tác dụng với H_2SO_4 ta sẽ được các hợp chất có màu xanh lá cây non có các cực đại hấp thụ rất điển hình.

Ostron	300nm
Ostrion	300nm và 460nm
Ostradion	370nm và 430nm.

Vị trí cực đại hấp thụ của nhóm chức hay gốc cấu tạo thay đổi tuỳ thuộc vào bản chất của nguyên tử bao quanh nhóm chức hay nhóm đó. Bảng dưới đây cho ta biết miền số sóng ($\bar{\upsilon}$) ứng với vị trí cực đại của nhóm chức cacbonyl trong các chất khác nhau.

Bảng 5.5

Miền số sóng (cm^{-1})	
1300-1420	Các acid bị ion hoá
1550 - 1610	Các acid bị ion hoá
1630 - 1700	Các acid của carboxylic
1710 - 1730	Các ceton và acid chưa no
1720 - 1740	Các aldehyt chưa no
1730 - 1760	Các β. Lactam (vòng không ngưng tụ)
1760 - 1780	Các β. lactam (vòng ngưng tụ)

http://tieulun.hopto.org

Từ bảng này ta rất dễ dàng phân biệt dạng acid bị ion hoá (miền số sóng 1300 ÷ 1420 cm^{-1}) và dạng acid không bị ion hoá (miền số sóng 1710 ÷ 1730 cm^{-1}). Acid bị ion hoá là những acid bị mất ion H^+ trong quá trình tương tác với những chất khác.

Dựa vào cơ sở trên người ta dùng phổ hấp thụ phân tử để phân tích cấu trúc phân tử của vật chất, nhận dạng chất tinh khiết, xác định (hay phủ định) sự có mặt của một chất tinh khiết nào đó trong một hỗn hợp cho trước.

3.2. Phân tích định lượng

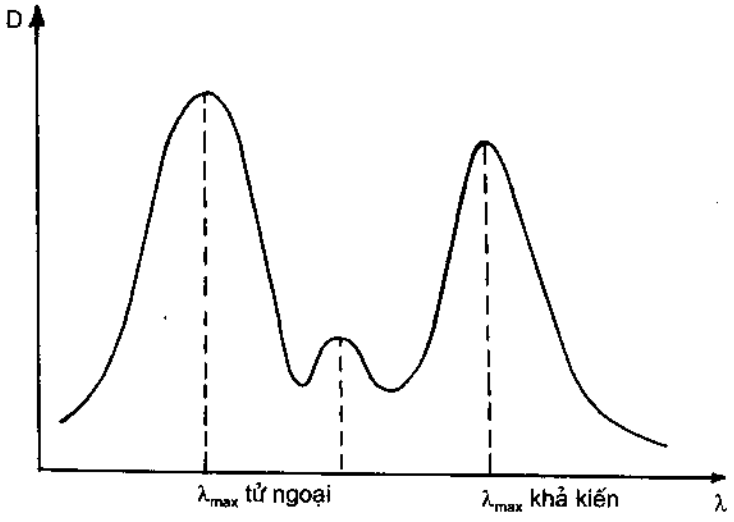
– Trường hợp chất cần xác định nồng độ là dung dịch loãng: Trong trường hợp này ứng dụng được định luật Bouguer Lambert Bear có nghĩa là mật độ quang học tỉ lệ thuận với nồng độ dung dịch.

Dựa vào phổ hấp thụ của dung dịch (hình 5.67) thu được trong thực nghiệm, chúng ta xác định mật độ quang học D_A tại vị trí λ_{max} đặc trưng cho chất A.

Ta có: $D_A = \varepsilon . C_A . x$

$$C_A = \frac{D_A}{x.\varepsilon} \qquad (5.99)$$

Trong đó ε là hệ số tắt của dung dịch và x là chiều dày lớp dung dịch mà chùm sáng truyền qua.



Hình 5.67. Phổ hấp thụ của dung dịch

Nếu dung dịch là hỗn hợp nhiều chất cùng hấp thụ trong một miền bước sóng, bằng cách đo mật độ quang học tại các vị trí λ_{max} đặc trưng cho mỗi chất và cách tính thích hợp, chúng ta cũng xác định được nồng độ của mỗi chất trong dung dịch khảo sát. Thí dụ dung dịch chứa hai chất A và B với các nồng độ C_A, C_B. Các cực đại hấp thụ của chất A và B tại các vị trí λ_1 và λ_2 tương ứng; D_1 và D_2 là mật độ quang học đo được tại các vị trí ứng với λ_1 và λ_2 (hình 5.68).

http://tieulun.hopto.org

Ta có:

$$D_1 = \varepsilon_A C_A + \varepsilon_B C_B$$

$$D_2 = \varepsilon'_A C_A + \varepsilon'_B C_B$$

trong đó ε_A, ε'_A, ε_B, ε'_B là các hệ số tắt của dung dịch các chất A và B tại các bước sóng λ_1, λ_2 tương ứng. Các hệ số này được cho biết trước (xem bảng cho sẵn trong các sách quang phổ) hoặc có thể xác định bằng phương pháp đồ thị với từng chất riêng biệt.

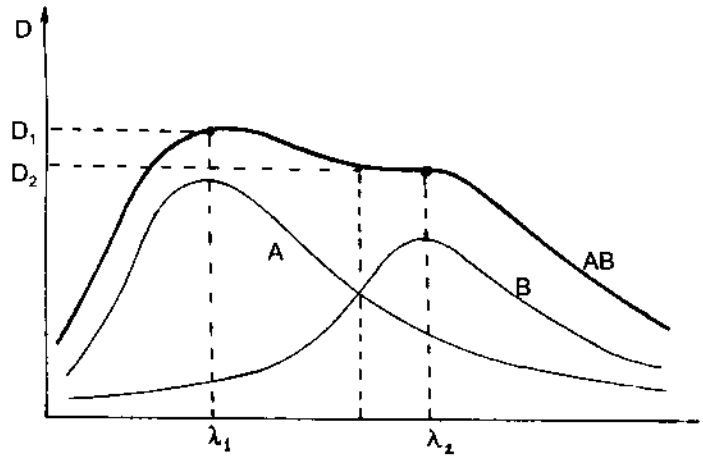
Giải hệ phương trình bậc nhất 2 ẩn số trên, ta được:

$$C_A = \frac{D_1.\varepsilon'_B - D_2.\varepsilon_B}{\varepsilon_A.\varepsilon'_B - \varepsilon'_A.\varepsilon_B} \qquad (5.100)$$

$$C_B = \frac{D_2.\varepsilon_A - D_1.\varepsilon'_A}{\varepsilon_A.\varepsilon'_B - \varepsilon'_A.\varepsilon_B} \qquad (5.101)$$

– Trường hợp chất xác định nồng độ là dung dịch đặc.

Trong trường hợp này mật độ quang học D không còn tỉ lệ thuận với nồng độ dung dịch C nữa, đồng thời ngay hệ số tắt cũng thay đổi.



Hình 5.68. Phổ hấp thụ khi dung dịch chứa hai chất (AB) và các phổ hấp thụ khi dung dịch chứa từng chất riêng rẽ A, B

Có thể dùng một trong hai phương pháp đơn giản sau:

+ Pha loãng dung dịch nhiều lần, định lượng với dung dịch loãng rồi tính ngược lại với dung dịch đặc.

+ Dùng đồ thị chuẩn. Phương pháp này được tiến hành theo những bước sau:

+ Pha dung dịch đặc chất A thành những dung dịch khác có nồng độ chuẩn C_1, C_2 ...C_n.

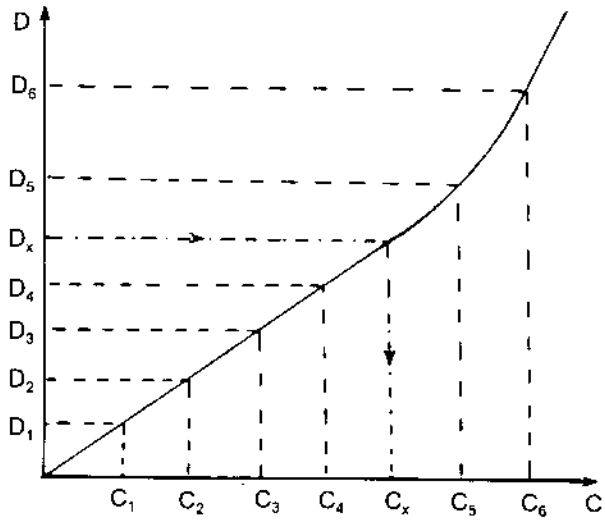
http://tieulun.hopto.org

+ Đo các mật độ quang học D (hoặc T, A...) ứng với các nồng độ C_1, C_2... C_n (gọi là D_1, D_2 ... D_n).

+ Dựng đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của D vào C (hình 5.69).

+ Đo mật độ quang học D_x của dung dịch A cần định lượng.

+ Dựa trên đồ thị suy ngược từ D_x ra C_x.



Hình 5.69. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của D vào C

3.3. Một số thiết bị ứng dụng phổ hấp thụ phân tử

a. Quang kế điện dùng một tế bào quang điện.

Hình 5.70 vẽ sơ đồ đơn giản của quang kế điện dùng một số tế bào quang điện. Bằng kính lọc S, người ta tách ra được chùm sáng đơn sắc thích hợp (độ đơn sắc $\Delta\lambda$ ứng với miền cực đại của dung dịch nghiên cứu). Ánh sáng sau khi đi qua dung dịch được chiếu vào một tế bào quang điện bán dẫn T. Dòng quang điện phát sinh được đo bằng một điện kế nhạy G (dòng quang điện này có thể được khuếch đại lên nhiều lần trước khi vào điện kế). F là ốc điều chỉnh độ rộng của chùm tia sáng đã chiếu vào tế bào quang điện.

Ta đã biết $I = I_o.10^{-\varepsilon.C.\ell}$. Nếu I_o và ℓ không đổi thì I chỉ phụ thuộc C. Cường độ dòng quang điện i tỉ lệ với I nên cũng phụ thuộc C. Vì vậy, dòng quang điện qua điện kế G phản ánh được nồng độ của dung dịch.

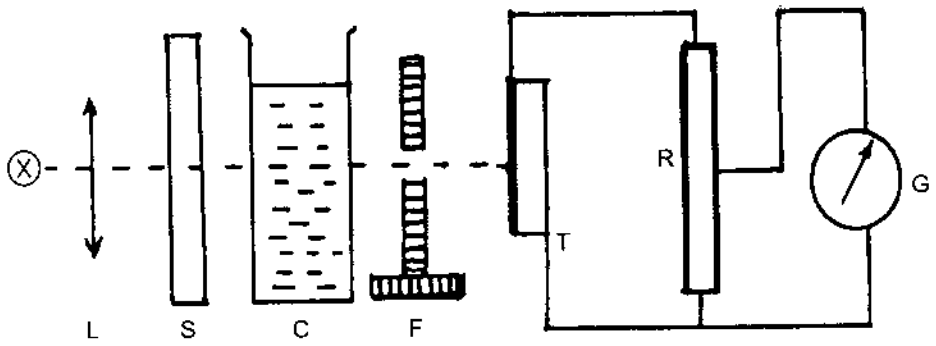
$$\frac{i_0}{i} = \frac{I_0}{I} = 10^{\varepsilon C\ell}$$

$$D = \lg\frac{I_0}{I} = \lg\frac{i_0}{i}$$

http://tieulun.hopto.org

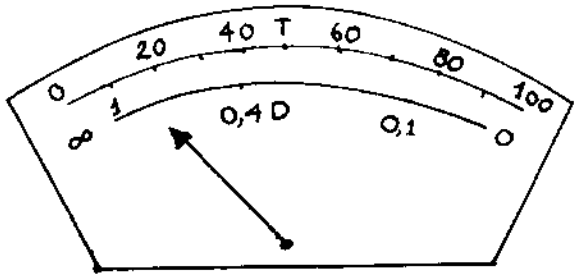
$$D = \ell g i_0 - \ell g i = \varepsilon C.\ \ell \qquad (5.102)$$

Mật độ quang học D bằng hiệu số logarit các cường độ dòng điện ứng với các cường độ ánh sáng trước và sau khi bị hấp thụ, hiệu số này tỉ lệ với C. Trên thang chia của điện kế, người ta không ghi giá trị tuyệt đối của dòng quang điện i mà ghi giá trị của mật độ quang học $D = \ell g i_0 - \ell g i$



Hình 5.70

Thông thường, điện kế G có hai thang chia: Thang chia phía trên biểu thị độ truyền qua tính bằng phần trăm, thang chia này tuyến tính (Các vạch chia đều nhau); thang chia phía dưới biểu thị mật độ quang học $D = 2 - \ell g T$, thang chia này gọi là thang chia logarit, các vạch chia không đều nhau (hình 5.71). Để loại trừ sự hấp thụ của dung môi, ban đầu ta cho dung môi vào cuvet, điều chỉnh chấn sáng D (hoặc chiết áp R) để kim chỉ D = 0, T = 100; sau đó đổ dung môi ra, cho dung dịch vào, đọc mật độ quang học D và độ truyền qua T tương ứng.



Hình 5.71

b) Máy quang phổ hấp thụ miền tử ngoại - nhìn thấy.

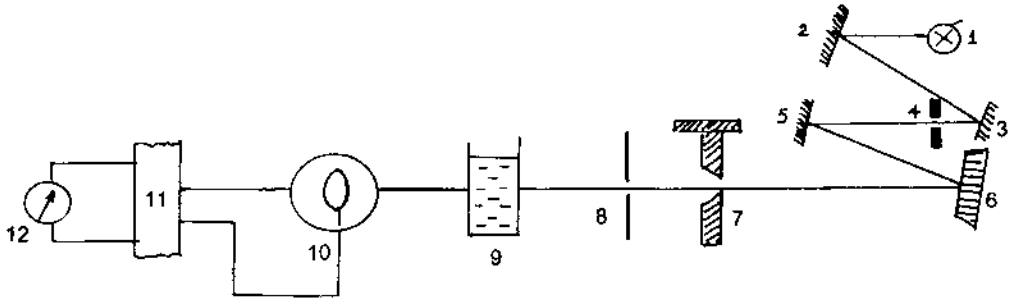
Về cơ bản, nguyên tắc cấu tạo của các máy quang phổ này cũng giống như nguyên tắc cấu tạo của các quang kế điện. Ở các quang kế người ta tách ra ánh sáng đơn sắc nhờ các kính lọc, các kính lọc thường bằng thuỷ tinh màu, vùng bước sóng truyền qua của kính lọc nằm trong một vùng rộng từ λ đến λ ± Δλ, Δλ vào khoảng 50 đến hàng trăm nm.

http://tieulun.hopto.org

Quang kế thường có từ 5 đến 12 kính lọc. Như vậy dùng quang kế, ta không thể thay đổi λ một cách tuỳ ý được, nghĩa là không cho phép ta nghiên cứu sự phụ thuộc D = f(λ), các quang kế thường chỉ làm việc trong miền nhìn thấy của phổ, nguồn sáng là một đèn có dây tóc bằng volfram nóng sáng, nguồn thu là tế bào quang điện.

Dòng quang điện phát sinh trong tế bào quang điện dưới tác dụng của ánh sáng thường được ghi trực tiếp bằng điện kế nhạy, hầu như trong các quang kế người ta không khuếch đại dòng quang điện trước khi ghi. Trong máy quang phổ, thay cho các kính lọc là bộ phận lọc đơn sắc bằng lăng kính hay cách tử nhiễu xạ cho phép thay đổi bước sóng từng 10, 5, 2 nm. Dòng điện phát sinh dưới tác dụng của ánh sáng được khuếch đại lên nhiều lần, có thể ghi lại dòng điện này bằng điện kế nhạy như trong quang kế hoặc trong các máy hiện đại người ta dùng bộ phận ghi để ghi phổ. Máy quang phổ tự ghi hiện đại cho phép nhận được đồ thị biểu diễn D theo λ hoặc T theo υ trên băng giấy một cách nhanh chóng.

Hình 5.72 biểu diễn sơ đồ của một máy quang phổ miền tử ngoại - nhìn thấy.



Hình 5.72

1 - Đèn (nguồn sáng); 2, 3, 5 - Gương phản xạ; 4 - Khe vào hệ lọc đơn sắc. 8 - Khe ra của chùm sáng sau lọc đơn sắc; 6 - bộ lọc đơn sắc (cách tử nhiễu xạ; phản xạ hay lăng kính); 7 - Chắn sáng điều chỉnh độ rộng của chùm tia và mức độ đơn sắc; 9 - cuvet đựng dung dịch nghiên cứu; 10 - Tế bào quang điện; 11 - Bộ khuếch đại; 12 - Bộ ghi.

Nguồn sáng (1) là đèn có dây nóng sáng phát ra phổ liên tục trong miền 340 nm - 1000nm hoặc là đèn phóng điện qua khí hydro phát phổ liên tục trong miền tử ngoại 220 - 340nm. Bộ lọc đơn sắc (6) cho phép thay đổi bước sóng một cách tuỳ ý, giá trị bước sóng của ánh sáng chiếu vào cuvet khi điều chỉnh 6 được ghi ở trên một thang chia độ. Màn chắn (7) để loại trừ sự hấp thụ của dung môi (như đã nói ở trong phần quang kế điện có một tế bào).

VI. KHÁI NIỆM VỀ LASER VÀ ỨNG DỤNG

1. Khái niệm về bức xạ cảm ứng

Theo thuyết lượng tử, một tập hợp hạt vi mô có thể nằm ở trạng thái ứng với các mức năng lượng xác định, giá đoạn W_1, W_2 ... W_n. Các hạt ở mức năng lượng cao có thể chuyển về trạng thái có mức năng lượng thấp hơn, nhất là mức năng lượng

http://tieulun.hopto.org

thấp nhất W_1; tương ứng một hạt khi chuyển mức sẽ phát ra photon có năng lượng xác định theo biểu thức:

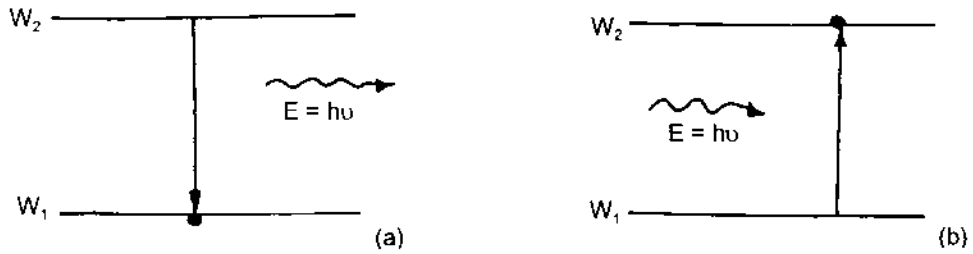
$$h\upsilon = W_{cao} - W_{thấp} \qquad (5.103)$$

Đó là sự phát xạ tự động, có xác suất chuyển dời không phụ thuộc thời gian và nhiệt độ.

Thí dụ trên hình 5.73 thì:

$$E = h\upsilon = W_2 - W_1 \qquad (5.104)$$

Ngược lại, chiếu tới photon tần số υ thì sự chuyển mức năng lượng từ thấp lên cao do hấp thụ photon cũng có xác suất chuyển dời xác định.

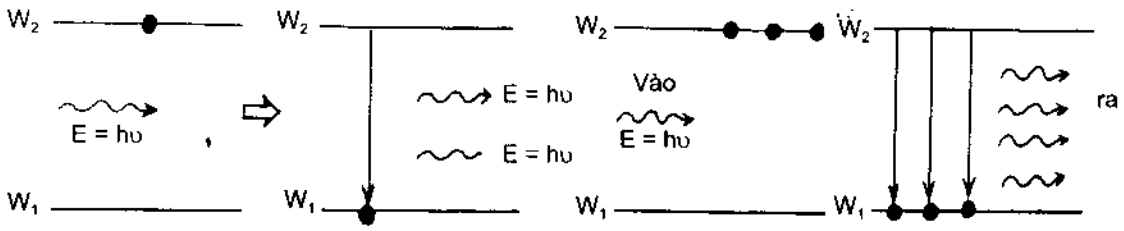


Hình 5.73

Khi hệ ở trạng thái cân bằng thì hai quá trình hấp thụ và phát xạ photon sẽ có số hạt chuyển dời mức năng lượng bằng nhau.

Từ năm 1917 Einstein nêu giả thuyết rằng, ngoài các loại chuyển dời kể trên, nếu ta tác dụng lên hệ một trường nào đấy tần số sóng tới cộng hưởng với tần số của photon chuyển mức năng lượng tự động, thì với một xác suất nào đó, sóng tới cũng có khả năng gây ra sự chuyển mức năng lượng từ W_{cao} xuống $W_{thấp}$, kèm theo sự phát xạ photon hυ. Sự chuyển dời mức năng lượng của hạt (nguyên tử, phân tử) dưới ảnh hưởng của trường bức xạ gọi là chuyển dời cảm ứng, còn bức xạ phát ra là bức xạ cảm ứng hay bức xạ cưỡng bức. Giả thuyết này là một trong 3 cơ sở của nguyên tắc tạo chùm tia laser.

Trên hình 5.74: trình bày các sơ đồ diễn tả sự phát bức xạ cảm ứng.



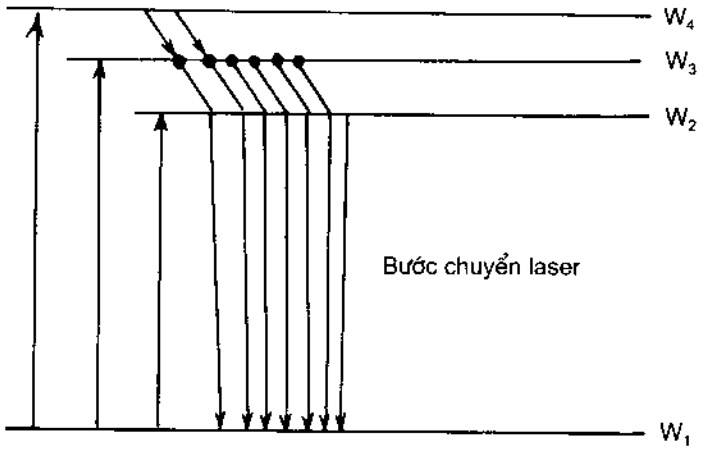
Hình 5.74

http://tieulun.hopto.org

2. Laser và máy phát tia laser

Từ laser là do tập hợp các chữ đầu của cụm từ tiếng Anh Light amplification by stimulated emission of radiation, có nghĩa là sự khuếch đại ánh sáng nhờ sự phát bức xạ cưỡng bức. Ta hiểu đơn giản đó là máy phát ánh sáng do bức xạ cảm ứng. Tia laser là ánh sáng phát ra do cảm ứng.

Sơ đồ thay đổi mức năng lượng và phát tia laser của môi trường hoạt động trình bày trên hình 5.75.



Hình 5.75

W_1, W_2, W_3, W_4 ... là các mức năng lượng có thể của các hạt tạo nên môi trường hoạt động (hay môi trường laser). Sự chuyển mức năng lượng $W_4 \rightarrow W_3 \rightarrow W_2$ không kèm theo phát quang, theo xu thế các hạt muốn chuyển về trạng thái có năng lượng thấp. Bước chuyển $W_2 \rightarrow W_1$ là bước chuyển phát tia laser.

Bước chuyển từ W_1 lên W_2, W_3, W_4 thực hiện được là do quá trình cấp năng lượng kích thích môi trường laser, người ta hay gọi tắt là "bơm năng lượng"

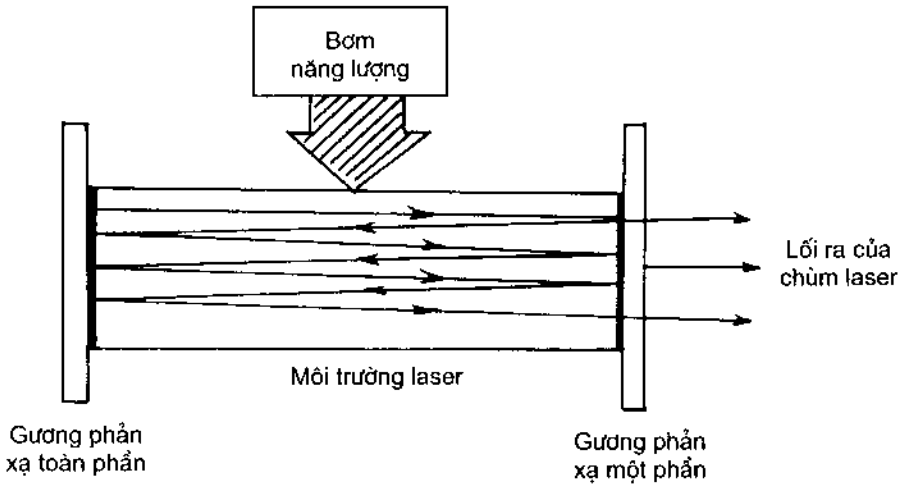
Hình 5.76 trình bày sơ đồ máy phát laser.

Bộ phận chính của máy phát laser là môi trường laser. Khi môi trường là chất rắn, thí dụ là một thanh Rubi (hồng ngọc), ta có laser chất rắn. Khi môi trường là chất khí (chẳng hạn hỗn hợp Neon và Heli) ta có laser chất khí. Với laser bán dẫn ta có môi trường là hai bản chất bán dẫn loại p và chất bán dẫn loại n đặt tiếp xúc mặt với nhau.

Bơm năng lượng có thể là một bộ phận phát ánh sáng (thí dụ đèn xenon cho laser Rubi), là máy phát tần số cao (dùng cho laser khí), là dòng điện có mật độ dòng điện lên đến hàng chục ampe trên centimet vuông (cho laser bán dẫn).

Các tia laser đầu tiên sinh ra trong môi trường laser phản xạ đi lại trong môi trường, kích thích môi trường làm phát ra hàng loạt các tia khác. Các tia laser qua gương phản xạ một phần mà ra ngoài, tạo thành lối ra của chùm laser. Chùm laser có thể phát ra liên tục hoặc phát ra thành xung (gián đoạn).

http://tieulun.hopto.org



Hình 5.76

3. Sơ lược về tính chất của chùm tia laser

Bản chất của tia laser là ánh sáng, cho nên tia laser có đầy đủ các tính chất của chùm sáng: Giao thoa, nhiễu xạ, phản xạ, khúc xạ ...

Bước sóng của chùm laser do Rubi phát ra là $\lambda = 0{,}694\mu m$, với các môi trường laser khác nhau sẽ có λ khác nhau, từ miền tử ngoại, nhìn thấy, hồng ngoại đến vi sóng. Tuy nhiên ta cần chú ý đến số điểm đặc biệt của chùm tia laser như sau:

– Sự phát xạ của tất cả các nguyên tử xảy ra hầu như đồng thời, nên các sóng phát ra từ các nguyên tử có cùng pha.

– Do các nguyên tử của môi trường laser cùng loại nên tia laser phát ra có cùng một bước sóng, thể hiện tính đơn sắc rất cao $(\frac{\Delta\upsilon}{\upsilon} = 10^{-12})$ hầu như không có hiệu ứng tán sắc

– Có thể tập trung chùm laser thành một chùm song song với góc phân kỳ cực nhỏ (chỉ vài phút).

– Có thể hội tụ chùm laser vào một điểm (một khoảng không gian rất nhỏ); vì tính đơn sắc cao, nên không có hiện tượng sắc sai và dẫn tới tại tụ điểm, mật độ dòng năng lượng cực cao (tới $50W/cm^2$) trên một diện tích dưới mức tế bào.

– Các xung laser mang những thông tin cần thiết, dễ dàng dẫn truyền trong cáp quang, dễ dàng khuếch đại và phân tích.

4. Ứng dụng của laser

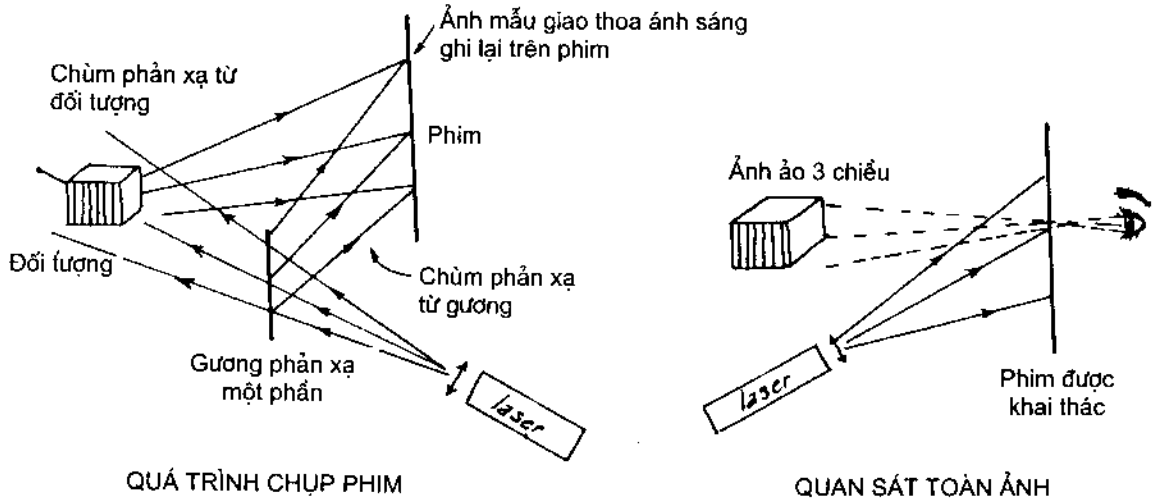
Hiện nay đã có rất nhiều ứng dụng của laser trong kỹ thuật, trong đời sống hàng ngày. Các ứng dụng này khai thác chủ yếu tính đơn sắc cao và mật độ dòng năng lượng lớn của chùm tia: thông tin bưu điện, in ấn, đĩa nhạc, băng đĩa dùng cho máy tính, kính hiển vi dùng nguồn sáng laser để quan sát từng phần nhỏ của tế bào do chùm sáng nhỏ...

http://tieulun.hopto.org

Trong vi phẫu thuật, nhất là phẫu thuật tim, não, mắt, người ta dùng dao mổ laser: chùm laser tập trung cao độ có tiết diện rất nhỏ và mật độ dòng năng lượng lớn có thể đốt cháy tế bào, cắt đứt mô đồng thời hàn kín ngay các mạch máu nhỏ (tương tự dao điện nhiệt nhưng hiệu quả cao hơn); trong phẫu thuật mắt chùm laser đi qua các thể trong suốt, tới võng mạc có thể hàn gắn võng mạc bị bong khỏi lớp màng mạch (bệnh bong võng mạc). Người ta cũng quan tâm đến tác dụng kích thích dinh dưỡng và vận mạch của các chùm laser công suất yếu, vì vậy đã có khá nhiều nghiên cứu ứng dụng loại này vào điều trị các vết loét, ổ dò, chống đau và trong châm cứu.

Gần đây còn có ứng dụng laser trong nghiệm pháp điều trị bằng quang động lực (Photodynamic Therapy - PDT) tức là chiếu những chùm tia laser có bước sóng thích hợp vào các mô và cơ quan để kích thích (hoạt hoá) các hoá chất đã được đưa vào trước đó. Khi ấy các hoá chất đó sẽ trở nên có tác dụng diệt bào hoặc kìm hãm sự phát triển của tế bào. Người ta đang tập trung nghiên cứu phương pháp điều trị bằng quang độc lực để chữa bệnh ung thư.

Trong nghiên cứu người ta chú ý tới phương pháp chụp ảnh toàn cảnh (hologram), nguyên lý của phương pháp này như trên hình 5.77.



Hình 5.77

Trong quá trình chụp phim, chùm laser tới gương phản xạ một phần chia làm 2 chùm: chùm xuyên qua gặp đối tượng 3 chiều phản xạ gặp chùm phản xạ từ gương tại phim, tạo ảnh mẫu giao thoa ánh sáng. Lúc quan sát ta chiếu chùm laser lên phim đã khai thác (hiện hình), người ta quan sát sẽ thấy ảnh ảo 3 chiều do kết quả của ảnh tạo bởi hiện tượng giao thoa.

http://tieulun.hopto.org

CHƯƠNG 6

BỨC XẠ ION HOÁ VÀ CƠ THỂ SỐNG

Phan Sỹ An
Nguyễn Quốc Trân
Phan Lê Minh

I. CẤU TẠO NGUYÊN TỬ VÀ HẠT NHÂN NGUYÊN TỬ

1. Cấu tạo nguyên tử

Trong các giáo trình vật lý và hoá học cơ sở người ta đã trình bày nhiều thí nghiệm, hiện tượng chứng minh sự tồn tại của nguyên tử. Trong phần này chúng tôi chỉ dành để nói đến các thuyết về cấu tạo nguyên tử.

1.1. Mẫu hành tinh nguyên tử, Bài toán Keple (Johames Kepler)

Đã từ lâu, người ta cho rằng mọi vật đều do những phần tử hết sức nhỏ bé, riêng rẽ cấu tạo thành. Đó là những nguyên tử, phân tử. Phân tử là phần tử phức tạp gồm một số nguyên tử. Còn nguyên tử là phần tử nhỏ bé nhất của vật chất, không thể chia cắt được.

Đến cuối thế kỷ XIX, khi nghiên cứu tia âm cực, các nhà hoá học đã tìm ra electron trong thành phần của mọi nguyên tử. Từ đó người ta đã xác nhận rằng nguyên tử có cấu tạo phức tạp, gồm những electron mang điện âm và những phần mang điện dương. Vì nguyên tử trung hoà về điện nên độ lớn điện tích dương phải đúng bằng tổng điện tích âm của các electron. Tuy nhiên các nhà khoa học còn chưa hình dung được cấu tạo cụ thể của nguyên tử. Kelvin, J.J. Thomson cho rằng điện tích dương và điện tích âm được phân bố trong toàn bộ nguyên tử.

Mãi đến đầu thế kỷ XX, năm 1911 Ernest Rutheford, nhà bác học nổi tiếng người Anh, căn cứ vào hàng loạt các kết quả thực nghiệm của mình, đã nêu lên một thuyết mới về cấu tạo nguyên tử, gọi là mẫu hành tinh nguyên tử của Rơdepho.

a. Mẫu hành tinh nguyên tử của Rơdepho

Mẫu hành tinh nguyên tử Rơdepho có các nội dung chính như sau:

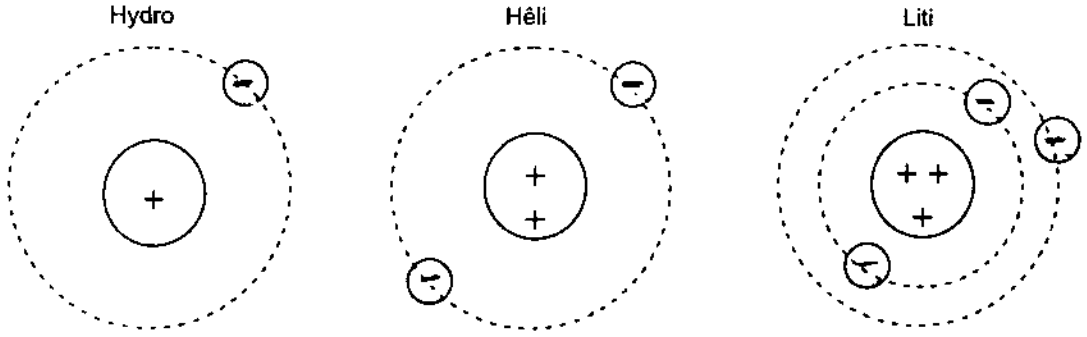
– Ở mỗi tâm nguyên tử có một hạt nhân mang điện dương, có kích thước vô cùng nhỏ (đường kính khoảng 10^{-13} - 10^{-12} cm) so với kích thước của nguyên tử. Chung quang hạt nhân có những electron mang điện âm chuyển động theo những quĩ đạo khác nhau.

– Điện tích dương của hạt nhân đúng bằng tổng số điện tích âm của electron, nhưng trái dấu, tức là bằng Ze, trong đó Z là số thứ tự của nguyên tố trong hệ thống tuần hoàn của Mendeleep, e là điện tích nguyên tố dương.

http://tieulun.hopto.org

– Toàn bộ khối lượng của nguyên tử coi như tập trung ở hạt nhân, vì khối lượng của electron rất nhỏ, không đáng kể (bằng 1/1840 khối lượng hạt nhân hydro) và vì số electron không nhiều lắm. Hình 6.1.1 là sơ đồ cấu tạo của một số nguyên tử theo mẫu của Rơdepho.

Như vậy mẫu nguyên tử của Rơdepho giống như một hệ thái dương thu nhỏ, nên gọi là mẫu hành tinh của nguyên tử.



Hình 6.1.1

b. Bài toán Kêple

Chúng ta xét chuyển động của điện tử xung quanh hạt nhân có điện tích +Ze và khối lượng rất lớn so với khối lượng điện tử. Như vậy có thể xem hạt nhân là một tâm cố định. Các thí nghiệm tán xạ của hạt α do Rơdepho thực hiện đã chứng tỏ rằng với khoảng cách 10^{-12} cm vẫn còn có tác dụng của lực Cu-lông. Do đó lực tương tác giữa hạt nhân với điện tử là Ze^2/r^2, và thế năng tương tác là:

$$U = -\frac{Ze^2}{r} \qquad (6.1.1)$$

Rõ ràng là với những điều kiện như thế, bài toán của chúng ta đồng nhất với bài toán về chuyển động của các hành tinh xung quanh mặt trời, vì thế ta gọi là bài toán Kêple.

Để giải bài toán này chúng ta áp dụng các định luật bảo toàn năng lượng và bảo toàn mômen động lượng. Trong hệ toạ độ độc cực, các định luật này được viết dưới dạng:

$$\frac{m}{2}\left[\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 + r^2\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\right] - \frac{Ze^2}{r} = E \qquad (6.1.2)$$

$$mr^2\frac{d\varphi}{dt} = P \qquad (6.1.3)$$

trong đó E, P là hằng số. Từ (6.1.3) ta có:

http://tieulun.hopto.org

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{P}{mr^2}$$

Để chuyển từ đạo hàm theo thời gian sang đạo hàm theo góc φ, ta dùng hệ thức sau:

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\varphi}\cdot\frac{d\varphi}{dt} = \frac{P}{mr^2}\cdot\frac{dr}{d\varphi} \qquad (6.1.4)$$

Do đó (6.1.2) được viết thành dạng:

$$\frac{m}{2}\left[\frac{P^2}{m^2r^4}\cdot\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 + \frac{P^2}{m^2r^2}\right] = E + \frac{Ze^2}{r}$$

Sau một vài phép biến đổi nhỏ, ta có:

$$\frac{1}{r^4}\left(\frac{dr}{d\varphi}\right)^2 = \frac{2mE}{P^2} + \frac{2mZe^2}{P^2}\frac{1}{r} - \frac{1}{r^2} \qquad (6.1.5)$$

Dùng biến số mới $\rho = \frac{1}{r'}$ vì $\frac{d\rho}{d\varphi} = -\frac{1}{r^2}\cdot\frac{dr}{d\varphi}$ nên (6.1.5) có dạng:

$$\left(\frac{dp}{d\varphi}\right)^2 = \frac{2mE}{P^2} + \frac{2mZe^2}{P^2}\rho - \rho^2 \qquad (6.1.6)$$

Đạo hàm một lần nữa theo biến số φ hai vế của (6.1.6) ta có:

$$2\frac{d\rho}{d\varphi}\cdot\frac{d^2\rho}{d\varphi^2} = \frac{2mZe^2}{P^2}\cdot\frac{d\rho}{d\varphi} - 2\rho\frac{d\rho}{d\varphi}$$

hay:

$$\frac{d\rho}{d\varphi}\left[\frac{d^2\rho}{d\varphi^2} + \rho - \frac{mZe^2}{P^2}\right] = 0 \qquad (6.1.7)$$

Nói chung $\frac{d\rho}{d\varphi} \neq 0$ do đó từ (6.1.7) ta suy ra:

$$\frac{d^2\rho}{d\varphi^2} + \rho = \frac{mZe^2}{P^2} \qquad (6.1.8)$$

(6.1.8) là một phương trình vi phân cấp 2 không thuần khiết, nghiệm của nó có dạng:

$$\rho = \frac{mZe^2}{P^2} + A\cos\varphi \qquad (6.1.9)$$

http://tieulun.hopto.org

(6.1.9) là phương trình quĩ đạo của điện tử. Ta thấy nó là một tiết diện hoá (hình conic)

– Trường hợp $\frac{d\rho}{d\varphi} = 0$, nghĩa là ρ đạt cực trị từ (6.1.6) ta có:

$$\rho^2 - 2\frac{mZe^2}{P^2}\rho - \frac{2mE}{P^2} = 0 \qquad (6.1.10)$$

Đó là một phương trình bậc hai. Theo tính chất nghiệm của phương trình bậc hai, ta có:

$$\rho_{max} + \rho_{min} = \frac{2mZe^2}{P^2}; \qquad \rho_{max} - \rho_{min} = -\frac{2mE}{P^2}; \qquad (6.1.11)$$

+ Nếu năng lượng E âm (E < 0) thì $\rho_{max} - \rho_{min} > 0$, do đó tồn tại hai giá trị, dương của ρ (ứng với 2 giá trị của r) mà với nó $\frac{d\rho}{d\varphi} = 0$ trong đó một giá trị là cực đại của ρ (tức là cực tiểu của r), giá trị kia là cực tiểu của ρ (tức là cực đại của r). Như vậy khi E < 0 quĩ đạo của điện tử là elip.

+ Ngược lại, khi E > 0, thì $\rho_{max} \times \rho_{min} < 0$. Như vậy không thể có hai giá trị dương của ρ ứng với cực đại, cực tiểu của r, nhưng tồn tại một giá trị âm, một giá trị dương. Hai giá trị đó của bán kính vectơ ứng với hai nhánh khác nhau của hypecbon. Như vậy, khi E > 0, quĩ đạo của điện tử là một hypecbon.

1.2. Mẫu nguyên tử của Bo (Niels Bohr)

Năm 1913 Niels Bohr dựa vào thuyết lượng tử của Plăng (Max Planck) đã đưa ra một học thuyết mới về cấu tạo nguyên tử. Ông vẫn giữ mẫu nguyên tử của Rơdepho, nhưng đưa ra các định đề giải quyết được những khó khăn chính của mẫu hành tinh nguyên tử.

a. Các định đề của Bo có thể tóm tắt như sau:

– Mỗi electron không thể chuyển động trên những quĩ đạo bất kỳ mà chỉ quay trên những quĩ đạo có bán kính xác định gọi là quĩ đạo cân bằng động (quĩ đạo dừng).

– Khi electron chuyển động trên một quĩ đạo lượng tử trên thì nguyên tử không thu hay phát năng lượng.

– Khi electron chuyển từ một quĩ đạo lượng tử có năng lượng E_1 sang một quĩ đạo khác gần hạt nhân hơn có năng lượng E_2, nguyên tử sẽ phát ra một photon có tần số υ được tính bởi hệ thức: $h\upsilon = E_1 - E_2$ (6.1.12) trong đó h là hằng số Plăng, có giá trị $h = 6{,}6.10^{-34}$J.s. Ngược lại, khi electron hấp thụ một photon năng lượng hυ nó sẽ chuyển từ quĩ đạo gần hạt nhân sang quĩ đạo xa hạt nhân hơn, các giá trị E_2, E_1 ứng với 2 quĩ đạo đó phải tuân theo (6.1.12)

b. Bo chỉ xét quĩ đạo chuyển động tròn của điện tử quanh hạt nhân và áp dụng điều kiện lượng tử hoá đối với một bậc tự do. Ông đã dẫn đến kết quả sau:

http://tieulun.hopto.org

– Bán kính quĩ đạo chuyển động tròn của điện tử quanh hạt nhân là:

$$r = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2 mZe^2} \qquad (6.1.13)$$

Trong đó n là số tự nhiên khác 0, m là khối lượng của điện tử, Z là số thứ tự của nguyên tử và e là điện tích nguyên tố.

Áp dụng (6.1.13) cho quĩ đạo thứ nhất của nguyên tử hydro, (Z = 1, n = 1), ta có:

$$r = r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 me^2} = 0{,}528.10^{-8}\,cm$$

giá trị này được gọi là bán kính Bohr.

– Năng lượng của điện tử khi chuyển động trên quĩ đạo ứng với một giá trị xác định của n là:

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{2\pi^2 mZ^2e^4}{h^2} \qquad (6.1.14)$$

c. Xom-mơ-phin (Arnold Sommerfeld) xét đến trường hợp tổng quát của nghiệm bài toán Kêple là quĩ đạo elip. Áp dụng điều kiện lượng tử hoá đối với hai bậc tự do (ở đây là hai toạ độ r và φ), ông dẫn đến kết quả sau:

– Độ lớn của hai bán trục của elip là:

+ Bán trục lớn: $a = n^2 \frac{h^2}{4\pi^2 me^2.Z} = n^2 \frac{r_1}{Z}$

+ Bán trục nhỏ: $b = n.n_\varphi \frac{r_1}{Z}$

trong đó n là số lượng tử chính, có thể lấy các giá trị là số tự nhiên khác 0. n_φ gọi là số lượng tử quĩ đạo, có thể lấy giá trị là số tự nhiên từ 1 đến n:

$n = 1, 2, 3.....,$

$n_\varphi = 1, 2,....., n$

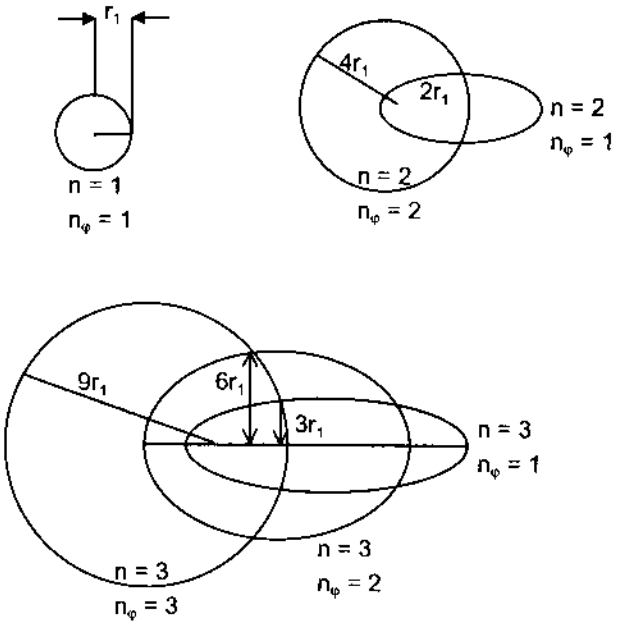
Thí dụ:

n = 1	$a = \frac{r_1}{Z}$	$n_\varphi = 1$	$b = \frac{r_1}{Z}$	Quĩ đạo tròn
n = 2	$a = 4\frac{r_1}{Z}$	$n_\varphi = 1$	$b = 2\frac{r_1}{Z}$	Quĩ đạo elip
		$n_\varphi = 2$	$b = 4\frac{r_1}{Z}$	Quĩ đạo tròn

http://tieulun.hopto.org

$$n = 3 \qquad a = 9\frac{r_1}{Z} \qquad \begin{cases} n_\varphi = 1 & b = 3\dfrac{r_1}{Z} & \text{Quĩ đạo elip} \\ n_\varphi = 2 & b = 6\dfrac{r_1}{Z} & \text{Quĩ đạo elip} \\ n_\varphi = 3 & b = 9\dfrac{r_1}{Z} & \text{Quĩ đạo tròn} \end{cases}$$

Hình 6.1.2 vẽ các dạng quĩ đạo ứng với ba số lượng tử chính n = 1,2,3.



Hình 6.1.2

– Năng lượng của điện tử khi chuyển động trên một quĩ đạo là:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{h^2}$$

Như vậy, ta thấy ứng với một giá trị xác định của n khác 1, điện tử có thể chuyển động trên những quĩ đạo khác nhau, nhưng có cùng một năng lượng.

1.3. Mẫu nguyên tử theo cơ học lượng tử

Theo cơ học lượng tử, các điện tử trong nguyên tử (hay phân tử) không chuyển động theo các quĩ đạo có thể hoàn toàn xác định (như đã trình bày ở trên) mà tạo thành "đám mây điện tử" bao quanh hạt nhân. Trạng thái của mỗi điện tử được đặc trưng bằng các mức năng lượng và được xác định bằng 4 số lượng tử.

+ Số lượng tử chính của n, nhận các giá trị nguyên, dương (1, 2, 3, 4 ...), xác định năng lượng của điện tử ứng với quĩ đạo của nó.

http://tieulun.hopto.org

+ Số lượng tử ℓ có thể nhận các giá trị nguyên, dương từ 0 đến (n-1) (với n là số lượng tử chính), đặc trưng cho mômen cơ học quĩ đạo.

+ Số lượng tử từ m, đặc trưng cho mômen từ quĩ đạo của điện tử, nhận các giá trị, nguyên từ - 1 đến +1, kể cả giá trị 0.

+ Số lượng tử spin, đặc trưng cho sự quay của điện tử quanh trục riêng của nó. Spin chỉ có thể nhận giá trị $+\frac{1}{2}$ và $-\frac{1}{2}$. Hai điện tử này quay quanh trục của mình theo hai hướng ngược nhau, tạo thành một cặp có spin đối song song.

+ "Lớp mây điện tử" của nguyên tử được tạo nên theo qui luật xác định và chặt chẽ. Trong tất cả những trạng thái có thể ở nguyên tử, điện tử luôn luôn chiếm trạng thái sao cho năng lượng của nó là cực tiểu; đồng thời không thể có hai điện tử trong cùng một nguyên tử có 4 số lượng tử hoàn toàn giống nhau (nguyên lý Pauli - Wolfgang Pauli). Trạng thái của nguyên tử (hay phân tử) sẽ thay đổi khi có ít nhất một số lượng tử của một điện tử thay đổi.

2. Cấu tạo hạt nhân nguyên tử

Sau khi tổng kết những tài liệu thực nghiệm về hạt nhân nguyên tử, năm 1932 Ivanenkô (UBAHEKO) và Haidenbec (Werner Heisenberg) đưa ra giả thuyết cho rằng hạt nhân của mọi nguyên tử đều được cấu thành từ hai loại hạt sau:

Proton (ký hiệu là p): là loại hạt mang điện dương, về giá trị tuyệt đối đúng bằng điện tích cơ bản tức là điện tích electron: $1,6.10^{-19}$C, và có khối lượng bằng khối lượng hạt nhân hydro nhẹ. Nói khác đi hạt nhân của nguyên tử hydro nhẹ thực chất chỉ là một hạt proton.

– Nơtron (ký hiệu là n): là loại hạt trung hoà về điện, có khối lượng lớn hơn khối lượng của proton một ít (m_p = 1,00759 đvnt; m_n = 1,00898đvnt; đvnt là đơn vị khối lượng nguyên tử và bằng $1,66.10^{-24}$g).

Cả hai loại hạt proton và nơtron có một tên chung là nucleon (cấu tử hạt nhân). Những thực nghiệm tiến hành sau 1932 cũng xác nhận giả thuyết của Ivanenkô và Haidenbec là đúng.

Số proton trong hạt nhân đúng bằng số thứ tự Z trong bảng tuần hoàn Menđêleep của nguyên tố tương ứng. Z cũng chính là điện tích hạt nhân khi ta tính bằng đơn vị điện tích nguyên tố. Tổng số các nucleon có trong hạt nhân là số khối lượng và ký hiệu là A. Do đó số nơtron trong hạt nhân sẽ là N = A - Z. Người ta thường ký hiệu một hạt nhân nguyên tử sau: ${}^{A}_{Z}X$ hay ${}_{Z}X^{A}$ trong đó X là ký hiệu của nguyên tố hoá học tương ứng.

Thí dụ: hạt nhân hêli: ${}^{4}_{2}He$ hoặc ${}_{2}He^{4}$ (Z = 2, A = 4)

Hạt nhân liti: ${}^{7}_{3}Li$ hoặc ${}_{3}Li^{7}$ (Z = 3, A = 7)

Những hạt nhân có cùng số Z nhưng có số N khác nhau (nghĩa là cùng điện tích nhưng khác nhau về khối lượng) được gọi là những hạt nhân đồng vị và các nguyên tố tương ứng gọi là những nguyên tố đồng vị, chúng được xếp vào cùng một ô trong bảng tuần hoàn Menđêlêep. Chẳng hạn hydro có 3 đồng vị sau:

http://tieulun.hopto.org

Hydro: $_1H^1$

Đơteri: $_1H^2$ (hoặc $_1D^2$, hoặc d)

Triti: $_1H^3$ (hoặc $_1T^3$, hoặc t)

Thông thường mọi nguyên tố hoá học đều có những nguyên tố đồng vị khác nhau. Hiện nay người ta đã tìm thấy hơn 300 đồng vị tự nhiên và có được gần 1000 đồng vị phóng xạ nhân tạo. Bảng 6.1.1. giới thiệu các đồng vị tồn tại trong thiên nhiên của một số nguyên tố thường gặp trong nghiên cứu lý sinh.

Bảng 6.1.1

Nguyên tố	Nguyên tử số	Đồng vị	Tỷ lệ % trong thiên nhiên
Hydro	01	H^1	99,984
		H^2	0,0156
		H^3	rất ít
Heli	02	He^3	$1,3 \times 10^{-4}$
		He^4	~ 100
Cacbon	06	C^{12}	98,892
		C^{13}	1,108
		C^{14}	rất ít
Nguyên tố	**Nguyên tử số**	**Đồng vị**	**Tỷ lệ % trong thiên nhiên**
Nitơ	07	N^{14}	99,636
		N^{15}	0,364
Oxy	08	O^{16}	99,759
		O^{17}	0,037
		O^{18}	0,204
Natri	11	Na^{22}	100,00
Phospho	15	P^{31}	100,00
Lưu huỳnh	16	S^{32}	95,06
		S^{33}	0,74
		S^{34}	4,18
		S^{36}	0,02
Clo	18	Cl^{35}	75,40
		Cl^{37}	24,60
Kali	19	K^{40}	0,01
		K^{39}	93,08
		K^{41}	6,91
Sắt	26	Fe^{54}	5,90
		F^{56}	91,52
		Fe^{57}	2,24
		Fe^{58}	0,34
Iot	53	I^{127}	100,00
Vàng	79	Au^{197}	100,00

http://tieulun.hopto.org

Vật lý hạt nhân hiện đại đã phát hiện những quy luật xác định cho phép con người hiểu biết sự phân bố của các nucleon trong hạt nhân nguyên tử. Sự sắp xếp các nuleon trong hạt nhân cũng được đặc trưng bởi các số lượng tử xác định và ứng với những mức năng lượng xác định. Trong điều kiện bình thường hạt nhân ở trạng thái cơ bản, ứng với mức năng lượng thấp nhất, gọi là mức năng lượng cơ bản E_o. Trong điều kiện có tác nhân kích thích, hạt nhân được bổ sung năng lượng thích hợp, sự sắp xếp các nucleon sẽ khác sự sắp xếp ở trạng thái cơ bản, hạt nhân chuyển sang trạng thái bị kích thích ứng với mức năng lượng E_i (i = 1, 2, 3 ..., n) tất nhiên $E_i > E_o$. Người ta nhận thấy với một loại hạt nhân xác định các giá trị của E_i là hữu hạn và xác định. Trong điều kiện nào đó khi hạt nhân chuyển từ trạng thái bị kích thích ứng với mức năng lượng cao về một trong những trạng thái ứng với mức năng lượng thấp hơn, hạt nhân sẽ phát ra một photon có năng lượng đúng bằng hiệu số hai mức năng lượng đó. Như vậy hạt nhân là một hệ lượng tử.

3. Năng lượng hạt nhân. Phản ứng hạt nhân

3.1. Hệ thức Anhstanh (Albert Eeinstein) áp dụng vào hạt nhân

Theo Anhstanh, một hạt tự do (không liên kết) có khối lượng m, tương đương với một năng lượng:

$$E = mc^2 \qquad (6.1.15)$$

Trong đó c là tốc độ ánh sáng trong chân không.

Như vậy, hạt nhân ${}_ZX^A$ có khối lượng ${}_ZM^A$, theo hệ thức Anhstanh sẽ tương đương với một năng lượng: ${}_ZM^Ac^2$ (6.1.16)

Mặt khác, hạt nhân ${}_ZM^A$ có chứa Z proton, và N = A - Z nơtron. Nếu các nucleon này ở trạng thái không liên kết thì năng lượng tổng cộng của chúng sẽ là:

$$(Zm_p + Nm_n)c^2 \qquad (6.1.17)$$

với m_p và m_n là khối lượng tĩnh của proton và nơtron.

Nhưng ta biết rằng các nucleon trong nhân tham gia vào liên kết rất mạnh và luôn luôn chuyển động. Cho nên khi áp dụng vào hạt nhân, ta phải hiệu chỉnh phần năng lượng nằm trong các mối liên kết đó. Theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$${}_ZM^Ac^2 = (Zm_p + Nm_n)c^2 - \Delta E \qquad (6.1.18)$$

3.2. Năng lượng liên kết của hạt nhân

Từ công thức (6.1.18) chúng ta thấy rằng nếu một hạt nhân nào đó tồn tại bằng sự liên kết của Z proton và N nơtron thì bao giờ cũng thoả mãn:

$${}_ZM^A < Zm_p + Nm_n \qquad (6.1.19)$$

http://tieulun.hopto.org

Thực nghiệm cũng đã chứng minh bất đẳng thức này: chẳng hạn, hạt nhân Hêli gồm 2 proton và 2 nơtron nên tổng khối lượng tĩnh của 4 hạt khi chưa liên kết (chưa tạo thành nhân Hêli) sẽ là:

$$2m_p + 2m_n = 2.1{,}00759 + 2.1{,}00898 = 4{,}03314 \text{ dvn.}$$

Trong khi đó hạt nhân ${}_2He^4$ có khối lượng là:

$$M\,({}_2He^4) = {}_2M^4 = 4{,}00276 \text{ đvnt}$$

Vậy liên kết hạt nhân đã gây nên sự hao hụt khối lượng của các hạt. Nếu ký hiệu hụt khối đó là Δm ta sẽ có:

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - {}_ZM^A \qquad (6.1.20)$$

Chính sự hụt khối này đã là nguyên nhân tạo ra liên kết hạt nhân. Vậy theo hệ thức Anhstanh, năng lượng liên kết toàn phần của hạt nhân ${}_ZX^A$ sẽ là:

$$\Delta E = \Delta mc^2 = [(Zm_p + Nm_n) - {}_ZM^A].c^2 \qquad (6.1.21)$$

Chẳng hạn: $\Delta E\,({}_2He^4) = (4{,}03314 - 4{,}00276)c^2 = 28{,}28$ MeV

Bằng lý thuyết kết hợp với thực nghiệm, người ta đưa ra một công thức cụ thể hơn về năng lượng liên kết toàn phần của một hạt nhân như sau:

$$\Delta E = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3\left(\frac{Z}{A}\right)^2 A^{5/3} - \varphi(z, A) \qquad (6.1.22)$$

Trong đó a_1, a_2, a_3 là những hằng số dương đo được bằng thực nghiệm còn (A, Z) là hàm số bổ sung, giá trị của nó tuỳ thuộc vào các số A và Z chẵn hoặc lẻ.

Trong thực tế, khi Z tăng từ 1 đến 92, tỷ số $\frac{A}{Z}$ thay đổi không đáng kể. Vậy từ (6.1.22) ta thấy rằng hạt nhân có A càng lớn càng kém bền vững (ΔE càng bé). Kết quả tính toán thấy rằng nếu $\frac{Z^2}{A} < 25$ hay $Z < 50$ là những hạt nhân bền vững nhất và có dạng hình cầu. Nếu $\frac{Z^2}{A} > 45$ nghĩa là $Z > 90$ là những hạt nhân không bền và có thể phân huỷ tự phát. Nếu $\frac{Z^2}{A} > 50$ nghĩa là $Z > 125$ thì tính bền vững hoàn toàn bị thủ tiêu. Hay nói cách khác, trong thực tế không có những nguyên tố mà $Z > 125$.

Năng lượng liên kết toàn phần chính là năng lượng toả ra khi tổng hợp hạt nhân, đồng thời cũng chính là năng lượng cần thiết tối thiểu để tách các nuleon ra khỏi hạt nhân đưa về trạng thái tự do.

Để đánh giá chính xác hơn tính bền vững của một hạt nhân, người ta dùng khái niệm năng lượng liên kết riêng. Năng lượng liên kết riêng là năng lượng liên

http://tieulun.hopto.org

kết tính trung bình cho một cấu tử (một nucleon) trong nhân. Nếu gọi năng lượng liên kết riêng là ε ta sẽ có:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A} = \frac{\Delta m}{A} c^2 = f(A) \qquad (6.1.23)$$

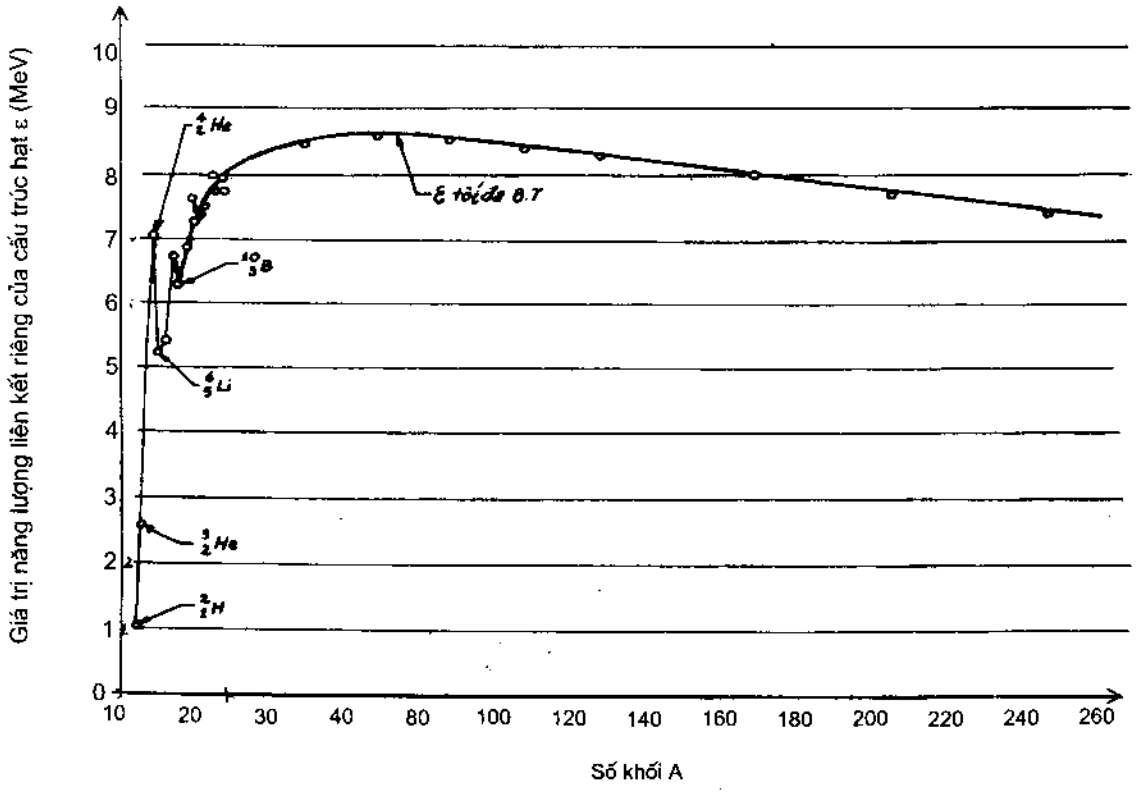
Nói chung, hạt nhân nào có ε càng lớn thì hạt nhân đó càng bền. Hình (6.1.3) cho ta thấy sự phụ thuộc của ε vào A. (Đồ thị của hàm f(A).

Qua đồ thị ta thấy rằng:

– Các hạt nhân nhẹ, năng lượng liên kết riêng tăng nhanh từ 1,1 MeV ($_1H^2$) đến 2,8 MeV ($_1H^3$) và đạt đến 7MeV($_2H^4_e$).

– Các hạt nhân nặng, có A từ 140 đến 240, năng lượng liên kết riêng giảm dần nhưng rất chậm từ 8 MeV đến 7 MeV.

– Các hạt nhân trung bình, có A từ 40 đến 140, năng lượng liên kết riêng có giá trị lớn nhất và nằm trong khoảng 8 - 8,6 MeV. Điều đó giải thích tại sao trong thực tế, các hạt nhân trung bình lại bền nhất. Vì hầu hết các hạt nhân đều có năng lượng liên kết riêng trong khoảng 7 - 8,6 MeV nên có thể xem giá trị của năng lượng liên kết riêng trong khoảng đó là không đổi và gọi là giá trị bão hoà. Giá trị bão hoà của năng lượng liên kết riêng được giải thích là do tính chất tác dụng ngắn và tính chất bão hoà của lực hạt nhân. Còn sự giảm chậm của năng lượng liên kết riêng về phía các hạt nhân nặng là do lực đẩy Culông tăng lên khi tăng số proton.



Hình 6.1.3

http://tieulun.hopto.org

3.3. Năng lượng toàn phần của hạt nhân

Nếu hạt nhân có khối lượng tĩnh ${}_ZM^A$ thì năng lượng toàn phần của nó sẽ là $E = {}_ZM^Ac^2$, theo (6.1.18) và (6.1.22) ta có:

$$E = (Zm_p + Nm_n)c^2 - \Delta E$$

$$= (Zm_p + Nm_n)c^2 - a_1A + a_2A^{2/3} + a_3\left(\frac{Z}{A}\right)^2 A^{5/3} + \varphi(Z,A) \qquad (6.1.24)$$

Công thức (6.1.24) cho ta năng lượng của một hạt nhân ở trạng thái cơ bản. Cũng tương tự như nguyên tử, hạt nhân có thể tồn tại ở những mức năng lượng gián đoạn khác nhau trên mức cơ bản khi chúng được bổ sung năng lượng do một tác nhân kích thích nào đó và khi hạt nhân chuyển trạng thái năng lượng từ mức cao trở về mức thấp hơn cũng phát ra những photon có tần số xác định. Người ta nói, hạt nhân cũng là một hệ lượng tử.

3.4. Phản ứng hạt nhân

Như trên ta thấy, phần lớn các hạt nhân là bền vững. Muốn làm biến đổi một hạt nhân bền thành một hạt nhân khác, cần phải truyền cho nó một năng lượng rất lớn, thường là phải bắn phá chúng bằng các hạt vi mô (không mang điện hoặc mang điện). Sự bắn phá này sẽ gây nên sự bất cân bằng tạm thời trong hạt nhân dùng làm bia. Kết quả sẽ dẫn đến việc phát xạ các hạt hoặc sóng điện từ và tạo thành những dạng khác nhau của hạt nhân nguyên tử. Đó là phản ứng hạt nhân.

Có thể viết tóm tắt 1 phản ứng hạt nhân như sau:

$$a + A \longrightarrow b + B \text{ hoặc có thể viết } A\,(a,b)B$$

trong đó:

a: Hạt vi mô dùng làm "đạn" bắn phá.

A: Hạt nhân đồng vị bền bị bắn phá.

b: Hạt vi mô phát ra từ phản ứng.

B: Hạt nhân đồng vị mới.

Hạt bắn phá thường là proton, nơtron, đơtêri, alpha, electron ... các hạt được phát ra do phản ứng hạt nhân thường là nơtron, proton, gamma, alpha. Đôi khi do quá trình tương tác này các hạt nhân của những nguyên tố bị phân chia (ký hiệu f) tạo thành 2 hạt nhân mới nhẹ hơn. Nếu xét về các "đạn" bắn phá và các hạt phát ra sau đó, người ta đã thực hiện được các phản ứng hạt nhân như sau:

(α.n),	(p.n),	(d.n),	(n.n),	(γ.n)
(α.p),	(p.p),	(d,p),	(n,p),	(γ.p)
(α.γ),	(p. γ),	(đ.γ),	(n. γ),	(γ.α)
(α.f),	(p.α),	(d.α),	(n.α)	(γ.f)
	(p.f),	(p.f),	(n.f),	

http://tieulun.hopto.org

Rơdepho là người thực hiện được phản ứng hạt nhân đầu tiên vào năm 1919 bằng cách dùng hạt alpha của Radi bắn phá nguyên tử Nitơ:

$$_7N^{14} + _2He^4 \longrightarrow _8O^{17} + _1H^I \qquad (6.1.25)$$

phản ứng được viết tắt là N^{14} (α,p) O^{17}.

Trong phản ứng hạt nhân cũng tồn tại qui luật bảo toàn về năng lượng, động lượng, spin ... nhưng thường được lưu ý nhất là sự bảo toàn về điện tích (tức số proton Z) và số khối A (tức số nucleon) ở các thành phần tham gia và tạo thành sau phản ứng. Nếu các thành phần tham gia và tạo thành sau phản ứng được ký hiệu lần lược là 1, 2, 3, 4 thì các định luật bảo toàn điện tích và số khối trong phản ứng hạt nhân do bắn phá có thể viết như sau:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$$

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

Ở phản ứng 6.1.25 của Rơdepho qui luật bảo toàn điện tích thể hiện:

$$7 + 2 = 8 + 1$$

và bảo toàn số khối:

$$14 + 4 = 17 + 1$$

Một trong những phản ứng hạt nhân quan trọng có giá trị lịch sử do ông bà Marie và Giôliô Quyri (Joliot - Cuire) thực hiện. Ở phản ứng này, năm 1932 lần đầu tiên thu nhận được hạt nơtron:

$$_4Be^9 + _2He^4 \longrightarrow _6C^{12} + _0n^1$$

Tuy vậy mãi đến năm 1939 ông bà Marie và Giolio Quyri mới thu được đồng vị phóng xạ đầu tiên khi dùng hạt alpha bắn phá vào tấm nhôm:

$$_{13}Al^{27} + _2He^4 \longrightarrow _{15}P^{30} + _0n^1$$

Có thể viết tắt phản ứng đó là $_{13}Al^{27}$ (α, n) $_{15}P^{30}$.

$_{15}P^{30}$ thu được sau phản ứng là một đồng vị phóng xạ.

Nó phát ra tia bêta dương để biến thành $_{14}Si^{30}$:

$$_{15}P^{30} \longrightarrow _{14}Si^{30} + _{+1}\beta^0$$

Về sau người ta đã tìm cách bắn phá các hạt nhân nguyên tử của nhiều nguyên tố khác nhau để sản xuất các đồng vị phóng xạ nhân tạo. Kết quả của phản ứng này tuỳ thuộc vào hạt nhân của đồng vị bền, bản chất và năng lượng của hạt bắn phá. Phương pháp cơ bản là dùng các loại hạt không mang điện tích (nơtron). Nơtron không cần có động năng lớn mới đột nhập được vào hạt nhân nguyên tử. Hơn thế nữa các nơtron càng chậm càng có nhiều khả năng gây ra phản ứng hạt nhân, bởi vì lúc đó xác suất tương tác với hạt nhân tăng lên. Những nơtron nhiệt (chuyển động với năng lượng trung bình như trong chuyển động nhiệt, khoảng

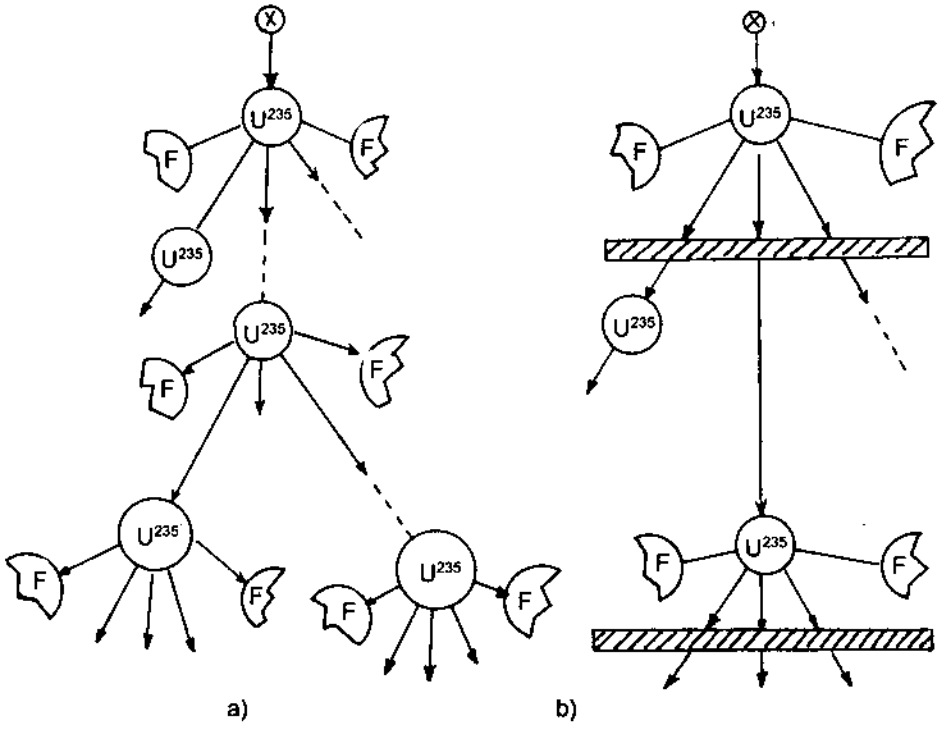
http://tieulun.hopto.org

0,03 eV ở nhiệt độ 20°C) có khả năng gây ra phản ứng hạt nhân nhiều hơn cả. Có thể làm chậm các hạt nơtron bằng nhiều môi trường khác nhau. Người ta thu được các nơtron từ mộtvài đồng vị phóng xạ hoặc từ lò phản ứng phân chia các hạt nhân nặng như: $_{92}U^{235}$ .. Các hạt nhân U^{235} và Pu^{239} khi tiếp nhận một nơtron thì sẽ trở về trạng thái không cân bằng đưa đến việc hạt nhân bị phân chia thành 2 mảnh và một số nơtron khác được phát ra. Vì vậy quá trình đó ký hiệu (n.f). Phản ứng được viết như sau:

$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow {}_{38}Sr^{90} + {}_{54}Xe^{144} + 2.{}_0n^1 + \gamma + 200MeV$$

Dưới tác dụng của lực Culông 2 mảnh nhân đó sẽ chuyển động ngược chiều nhau với động năng rất lớn, còn các nơtron lại có thể gây nên những sự phân chia hạt nhân tiếp theo ở hạt nhân khác. Cứ như vậy, khi có 1 hạt nhân bị phân chia làm mồi sẽ dẫn đến một dây chuyền các phản ứng kế tiếp nhau. Qua đó người ta thu được một nguồn nơtron rất lớn, một năng lượng lớn dưới dạng nhiệt và các bức xạ gamma. Đó là phản ứng hạt nhân dây chuyền. Quá trình đó được minh hoạ ở hình 6.1.4a.

Có thể điều khiển tốc độ phản ứng bằng cách điều chỉnh sự hấp thụ nơtron qua các tấm chắn (hình 6.1.4b). Ngoài ra còn một số phản ứng hạt nhân mà nơtron là các hạt thu được sau phản ứng. Người ta đã tận dụng các nơtron đó làm "hạt" bắn phá để sản xuất các đồng vị phóng xạ.



Hình 6.1.4. Sơ đồ phản ứng dây chuyền

a. Bình thường b. Có tấm cản nơtron

http://tieulun.hopto.org

Ngày nay các hạt mang điện như electron, proton, đơtêri... còn được dùng làm "đạn" bắn phá. Chúng phải có động năng lớn mới có thể gây được phản ứng hạt nhân. Các máy gia tốc đã cung cấp cho các hạt vi mô động năng cần thiết đó. Hiện nay đã có những máy gia tốc cho năng lượng cuối cùng của dòng hạt tới hàng vạn MeV.

II. TIA RƠNGHEN (TIA X)

Năm 1895 nhà bác học Rơnghen (Wilhelm Konrad Röntgen) người Đức trong quá trình nghiên cứu sự phóng điện trong khí kém đã phát hiện một tia có khả năng đâm xuyên qua lớp vật chất mỏng, làm đen kính ảnh, trong khi mắt người ta lại không thể nhận biết trực tiếp bình thường loại tia này như nhận biết ánh sáng nhìn thấy. Rơnghen đặt tên loại tia này là tia X, sau đó mọi người gọi là tia Rơnghen.

Tia Rơnghen có ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau: kỹ thuật kiểm tra sản phẩm, kỹ thuật điều khiển tự động, sinh học... Trong sinh học và y học, tia Rơnghen được ứng dụng theo hai hướng chính: thứ nhất, khai thác tác dụng của tia lên sự sống; thứ hai, khai thác đặc tính phản ánh cấu trúc vật chất của chùm tia sau khi xuyên qua lớp vật chất hay của chùm tia phản xạ, nhiễu xạ từ vật cản.

1. Nguồn phát tia Rơnghen

Trên hình 6.2.1 trình bày sơ đồ một máy phát tia Rơnghen loại đơn giản nhất, gồm có hai khối chính:

1.1. Khối thứ nhất chủ yếu là bóng Rơnghen

Bóng Rơnghen là một bóng thuỷ tinh kín, rút khí tới chân không cao độ (áp suất khí chỉ còn khoảng 10^{-7} mmHg (tor). Trong bóng có:

– Katôt (K) là một sợi dây vonphram sẽ được đốt nóng bằng dòng điện hạ thế cường độ 3 – 5A; khi katôt nóng tới khoảng 2000^{0}C thì sẽ trở thành nguồn phát nhiệt điện tử.

– Anôt (A) thường làm bằng Tungsten là kim loại nặng, có nhiệt độ nóng chảy cao (khoảng 3350^{0}C). Các điện tử từ katôt bắn sang, đập vào anôt làm nó nóng lên rất nhanh, nên trong thực tế kỹ thuật người ta phải sử dụng nhiều biện pháp khác nhau để làm nguội anôt).

1.2. Khối thứ hai là bộ phận nguồn điện và các hệ thống điều khiển, chủ yếu gồm:

– Biến thế hạ thế để cung cấp dòng điện đốt nóng katôt, hiệu điện thế có giá trị 6 – 12V.

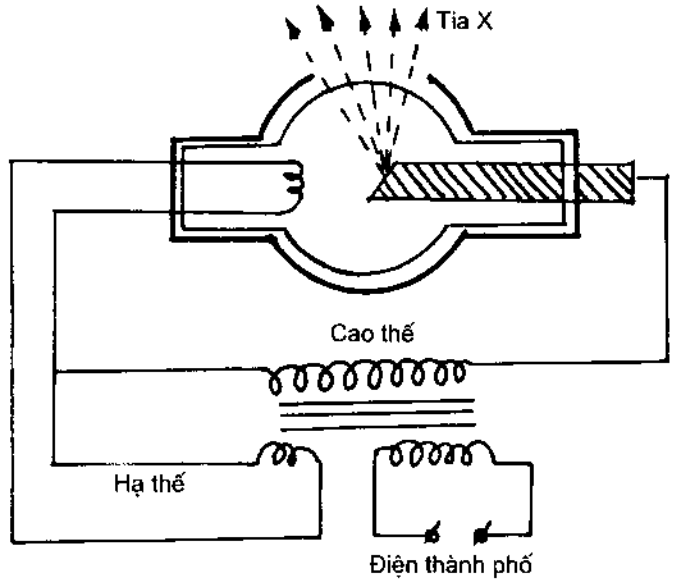
– Biến thế tăng thế để cung cấp hiệu điện thế cao (trên dưới 100kV) giữa anôt và katôt.

– Các thiết bị điều khiển điện thế và cường độ dòng điện.

Khi katôt đã được đốt nóng đủ mức, nó phát ra các nhiệt điện tử. Dưới tác dụng của điện trường mạnh giữa anôt và katôt (do hiệu điện thế cao gây ra), các

http://tieulun.hopto.org

nhiệt điện tử chuyển động về phía anôt với vận tốc và gia tốc rất lớn, đập vào anôt và dừng lại đột ngột. Từ anôt phát ra chùm tia Rơnghen theo mọi hướng. Để định hướng chùm tia, người ta sử dụng nhiều chi tiết kỹ thuật khác nhau (anôt đặt nghiêng, bóng bọc chì kín có để cửa sổ xác định...)



Hình 6.2.1

Cần chú ý rằng dòng điện đi qua bóng Rơnghen chỉ theo một chiều xác định là do:

– Bản thân bóng Rơnghen là một đèn điện tử hai cực, chỉ cho dòng điện theo một chiều từ anôt sang katôt (điện tử từ katôt sang anôt).

– Có thể dùng một hệ thống chỉnh lưu cao thế ở bên ngoài trước khi cho cao thế này tác dụng với bóng Rơnghen.

2. Phổ phát xạ của tia Rơnghen

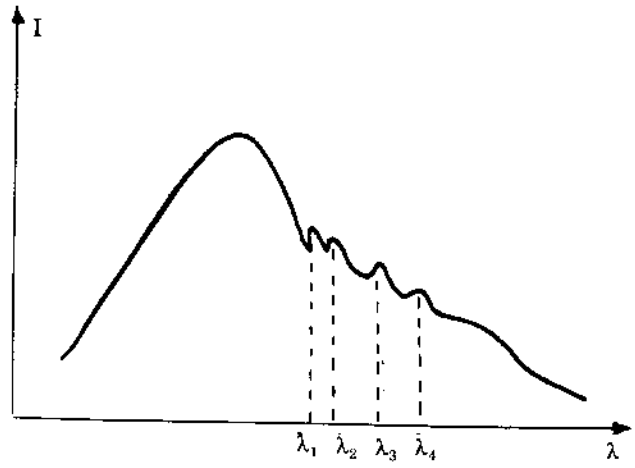
Tia Rơnghen có bản chất là sóng điện từ. Khảo sát sự phụ thuộc vào bước sóng λ của cường độ chùm tia I phát ra từ một bóng Rơnghen, người ta thu được đồ thị vẽ trên hình (6.2.2). Đó là phổ phát xạ của tia Rơnghen. Nhận xét đồ thị này ta thấy:

– Cường độ I thay đổi liên tục theo bước sóng. Những tia Rơnghen thuộc phần thay đổi liên tục này gọi là bức xạ hãm.

– Có những bước sóng đặc biệt λ_1, λ_2... ở đó cường độ thay đổi đột ngột.

Những tia Rơnghen ứng bước sóng này gọi là bức xạ đặc tính.

http://tieulun.hopto.org



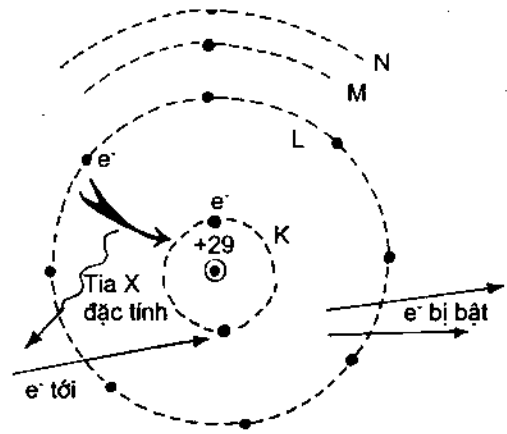
Hình 6.2.2

Sự phát tia Rơnghen và phổ của chùm tia có thể được giải thích như sau: khi chùm điện tử từ katôt bay đến anôt, qua quá trình được điện trường gia tốc, vận tốc trước lúc đập vào anôt có giá trị rất lớn. Khi đập vào anôt điện tử dừng lại đột ngột, nghĩa là có gia tốc rất lớn. Theo điện động lực học cổ điển, một hạt tích điện khi chuyển động có gia tốc sẽ phát sóng điện từ vào không gian xung quanh. Điện tử ở bóng Rơnghen có gia tốc rất lớn như vậy sẽ phát sóng điện từ vào không gian xung quanh, đó là tia Rơnghen. Năng lượng của tia Rơnghen là động năng của điện tử chuyển hoá thành. Vì lúc dừng lại, các điện tử bị gia tốc rất khác nhau nên phổ tia Rơnghen phát ra là liên tục, đó là phổ bức xạ hãm. Mặt khác, các điện tử lúc đập vào anôt có thể làm cho một số điện tử vành K của các nguyên tử tạo nên anôt bị bật khỏi nguyên tử. Khi ấy, các điện tử của các vành L, M... phía ngoài có thể nhảy vào chiếm chỗ, phần năng lượng dư thừa của điện tử được phát ra dưới dạng bức xạ đặc tính với bước sóng λ thoả mãn hệ thức:

$$\varepsilon = h.\upsilon = h\frac{c}{\lambda} = E_{L,M,\ldots} - E_k \qquad (6.2.1)$$

Trong đó ε là năng lượng của photon Rơnghen, υ là tần số và λ là bước sóng của tia Rơnghen, c là vận tốc ánh sáng trong chân không, E_k là mức năng lượng của điện tử ở vành K, $E_{L,\ M}$... là mức năng lượng của điện tử ở vành L, M.

Trên hình 6.2.3 trình bày sơ đồ giải thích cơ chế xuất hiện bức xạ đặc tính ở đồng (làm anôt).



Hình 6.2.3

http://tieulun.hopto.org

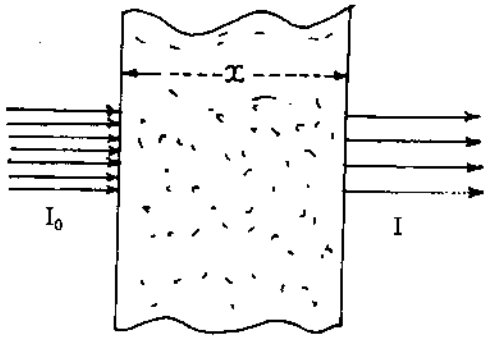
Bức xạ với bước sóng tương ứng sự dịch chuyển của điện tử từ lớp L sang lớp K tạo vạch quang phổ gọi là vạch Kα. Nếu bước chuyển thực hiện từ lớp M sang lớp K thì tạo vạch Kβ. Dãy L tương ứng với những bước chuyển từ các lớp năng lượng cao hơn đến lớp L. Phần năng lượng dư thừa đối với bước chuyển dãy L nhỏ hơn phần dư thừa tương ứng đối với dãy K cho nên bức xạ dãy L có bước sóng lớn hơn bức xạ dãy K. Thí dụ đối với đồng, bước sóng của các vạch dãy L khoảng 13Å, còn dãy K là 1,4Å.

3. Định luật hấp thụ tia X. Lọc tia X

Chiếu một chùm tia Rơnghen song song có cường độ I_0 tới một lớp vật chất có bề dày x (hình 6.2.4). Cường độ chùm tia ló sau lớp vật chất đó là I. Dễ dàng chứng minh được qui luật hấp thụ sau:

$$I = I_0.e^{-\mu.x} \qquad (6.2.2)$$

Trong đó e là cơ số lôgarit tự nhiên, μ gọi là hệ số hấp thụ bậc nhất.



Hình 6.2.4

Nhận xét biểu thức 6.2.2. ta thấy:

Khi x càng lớn (lớp vật chất càng dày) thì cường độ chùm tia ló I càng nhỏ, nghĩa là chùm tia Rơnghen bị hấp thụ càng nhiều.

Khi μ càng lớn (hệ số hấp thụ lớn) thì chùm tia Rơnghen bị hấp thụ càng nhiều.

Về cơ chế của hiện tượng hấp thụ tia Rơnghen, người ta thấy có 3 hiệu ứng: hiệu ứng Comtơn (Arthur. H. Compton), hiệu ứng quang điện tử, hiệu ứng tạo cặp (xem chi tiết hơn trong phần IV.2).

Riêng về hiệu ứng quang điện tử là hiệu ứng dễ xảy ra đối với các photon năng lượng thấp, người ta thấy các photon của chùm tia Rơnghen bị hấp thụ chỉ trong trường hợp nếu năng lượng của chúng lớn hơn năng lượng liên kết của điện tử trong nguyên tử. Chính vì vậy mà bức xạ tương ứng vạch Kα của đồng khó bị đồng hấp thụ. Khó có thể chuyển điện tử từ lớp K sang lớp L là lớp đã chứa đầy điện tử, tuy nhiên các bức xạ này vẫn có thể làm bứt những điện tử nằm trong lớp L và các lớp có năng lượng cao hơn.

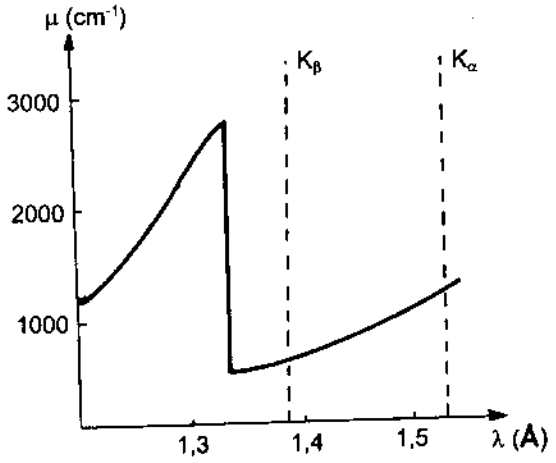
http://tieulun.hopto.org

Khảo sát chi tiết sự phụ thuộc của hệ số hấp thụ bậc nhất μ vào các điều kiện người ta thấy:

Khối lượng riêng ρ của chất làm vật cản càng lớn thì μ càng lớn.

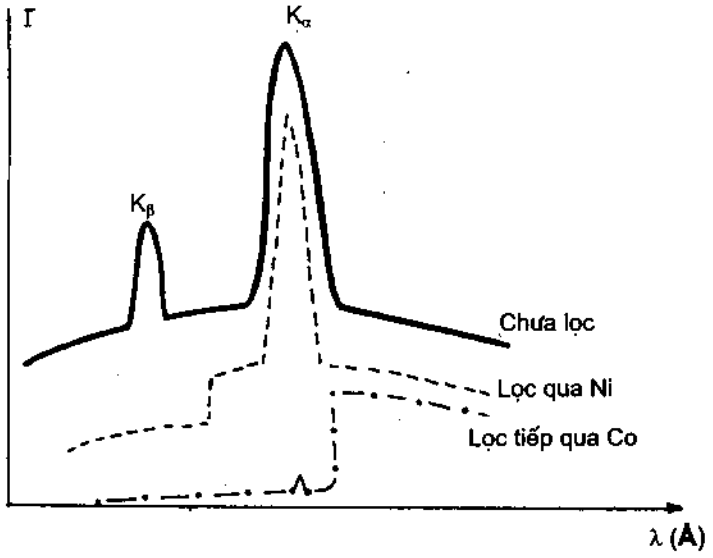
Số thứ tự Z của nguyên tố làm vật cản càng lớn thì μ càng lớn.

Đối với một chất làm vật cản cho trước thì μ phụ thuộc vào bước sóng của tia Rơnghen. Đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của μ vào bước sóng λ gọi là phổ hấp thụ. Trên hình 6.2.5 trình bày phổ hấp thụ tia Rơnghen trong đồng, ta dễ dàng thấy ngay phổ hấp thụ khác với phổ phát xạ.



Hình 6.2.5

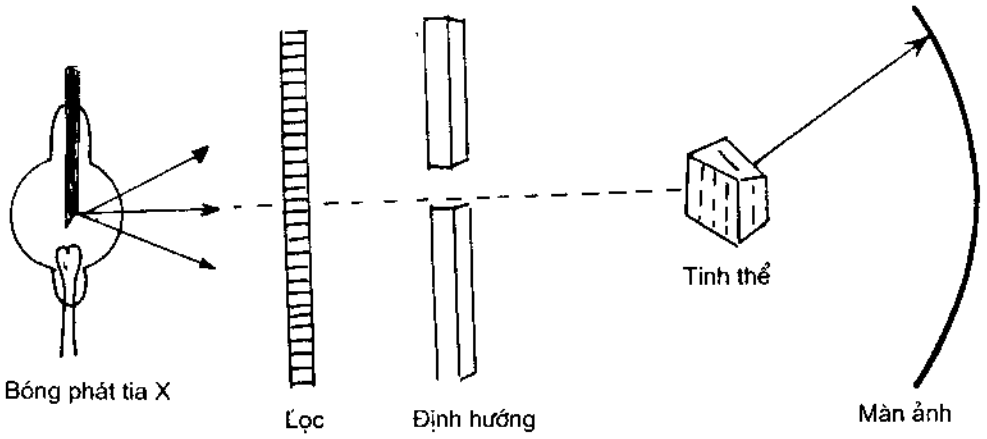
Những bước sóng mà hệ số hấp thụ ở đấy thay đổi đột ngột được gọi là biến hấp thụ. Các photon của chùm tia Rơnghen mà bước sóng nằm phía bên trái biến K có năng lượng đủ để bứt điện tử từ lớp K, còn những photon của chùm mà bước sóng nằm phía bên phải có năng lượng nhỏ không đủ ion hoá lớp này.



Hình 6.2.6

http://tieulun.hopto.org

Đối với những biến hấp thụ khác ta cũng có tình huống tương tự, do đó ta có khả năng thu được chùm tia Rơnghen hầu như đơn sắc từ chùm tia Rơnghen không đơn sắc bằng cách chọn những tấm lọc tương ứng phù hợp. Biến K ở Niken ở vị trí 1,48 Å, bởi vậy tấm lọc niken cho qua vạch Kα của đồng còn hấp thụ mạnh vạch Kβ. Nguyên tố tiếp theo ở bảng tuần hoàn là Cobalt, biến K nằm ở 1,60Å do đó nguyên tố này sẽ hấp thụ mạnh cả hai vạch K của đồng. Như vậy có thể chọn chiều dầy của các tấm lọc bằng những kim loại này để cho kết quả chung là chúng cho qua vạch đơn sắc K_α của đồng. Trên hình 6.2.6 trình bày phổ phát xạ của đồng trước và sau khi lọc. Trên hình 6.2.7 trình bày sơ đồ bố trí thiết bị để thu được chùm tia Rơnghen định hướng đơn sắc dùng trong nghiên cứu tinh thể.



Hình 6.2.7

III. HIỆN TƯỢNG PHÓNG XẠ, BẢN CHẤT VÀ NGUỒN GỐC TIA PHÓNG XẠ

1. Định nghĩa hiện tượng phóng xạ

Năm 1892 Beccơren (Henri Becquerel) đã quan sát thấy muối Uran và những hợp chất của nó có tính phát ra những tia không nhìn thấy được và có sức đâm xuyên khá mạnh. Dùng phương pháp điện từ trường để phân tích thì thấy rằng chùm tia đó gồm 3 thành phần lần lượt được đặt tên là tia alpha (α) mang điện dương, tia bêta (β) mang điện âm và tia gamma (γ) không mang điện, tương tự tia X. Về sau người ta nghiên cứu sâu hiện tượng này, nhất là những công trình của Mari Curi (Marie Curie) và Pie Curi (Pierre Curie), đã chứng tỏ rằng chùm tia đó phát ra từ hạt nhân chứ không phải từ lớp vỏ nguyên tử và đó là tính chất chung của một nhóm các nguyên tố chứ không riêng gì Uran. Người ta gọi tính chất đó của các nguyên tố là tính phóng xạ. Ngày nay, hiện tượng phóng xạ được hiểu tóm tắt là hiện tượng hạt nhân nguyên tử tự biến đổi để trở thành hạt nhân nguyên tử của nguyên tố khác, hoặc từ một trạng thái năng lượng cao về một trạng thái năng lượng thấp hơn, trong quá trình biến đổi đó hạt nhân phát ra những tia không nhìn thấy được có năng lượng cao hơn gọi là tia phóng xạ hay bức xạ hạt nhân. Nguyên tố hoá học mà hạt nhân của nó mang tính phóng xạ được gọi là đồng vị phóng xạ,

http://tieulun.hopto.org

những đồng vị phóng xạ do con người chế tạo ra bằng những phương pháp kỹ thuật khác nhau gọi là đồng vị phóng xạ nhân tạo.

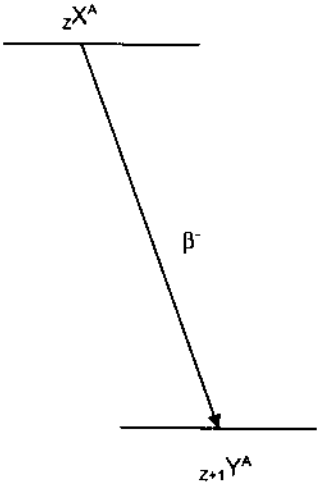
Để biểu diễn ngắn gọn hiện tượng phóng xạ của một đồng vị phóng xạ người ta dùng sơ đồ phân rã phóng xạ. Trên sơ đồ người ta ghi ký hiệu của hạt nhân trước và sau khi xảy ra hiện tượng phóng xạ, chu kỳ bán rã của quá trình và các phần trăm xác suất của mỗi dạng phân rã. Trạng thái cơ bản của hạt nhân trước và sau hiện tượng phóng xạ được biểu diễn bằng vạch đậm nét nằm ngang, các trạng thái bị kích thích của hạt nhân mới tạo thành sau phân rã được biểu diễn bằng các vạch nằm ngang đậm nét hơn, có ghi kèm theo giá trị của mức năng lượng tương ứng. Quá trình phân rã dẫn đến tạo thành hạt nhân mới có điện tích lớn hơn hạt nhân ban đầu được ký hiệu bằng mũi tên đi xuống và hướng về bên phải, nếu hạt nhân mới có điện tích nhỏ hơn hạt nhân ban đầu thì quá trình phân rã được ký hiệu bằng mũi tên đi xuống và hướng về bên trái; còn quá trình phân rã không làm thay đổi điện tích của hạt nhân thì được ký hiệu bằng mũi tên hình sóng, đi xuống và thẳng đứng.

Khi xảy ra hiện tượng phóng xạ ở một hạt nhân, hạt nhân đó có thể chịu một quá trình biến đổi hay nhiều quá trình biến đổi liên tiếp nhau hoặc đồng thời với nhau với những xác suất nhất định. Mỗi quá trình biến đổi đó được gọi là một phân rã phóng xạ (gọi tắt là phân rã).

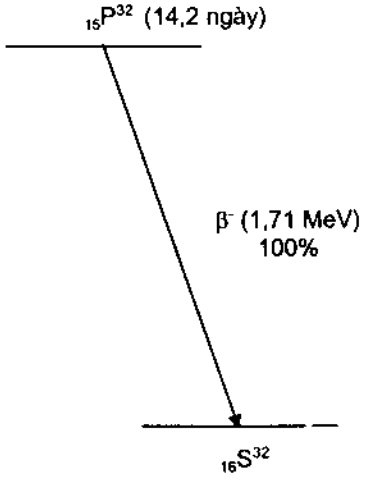
2. Các dạng phân rã phóng xạ. Bản chất các tia phóng xạ

Các dạng phân rã thường gặp là phân rã bêta âm, phân rã bêta dương, phân rã alpha và phát xạ tia gamma từ hạt nhân:

2.1. Phân rã bêta âm - negatron (β^-): Với những điều kiện nhất định, trong hạt nhân có những đồng vị có số nơtron nhiều hơn số proton có thể xảy ra hiện tượng biến một nơtron thành một proton đồng thời phát ra một hạt electron (hạt β^-). Electron này được sinh ra từ trong lòng hạt nhân và không liên quan gì với các electron quỹ đạo, tuy nhiên chúng là những hạt cơ bản hoàn toàn đồng nhất.



Hình 6.3.1a



Hình 6.3.1b

http://tieulun.hopto.org

Hình 6.3.1a biểu diễn sơ đồ chung của các loại phân rã này. Hình 6.3.1b là sơ đồ phân rã phóng xạ của P^{32}, một đồng vị phóng xạ phân rã β^- thuần tuý, được sử dụng nhiều trong y sinh vật học.

Phương trình biến đổi của phân rã β^- được viết như sau:

$$_ZX^A \rightarrow {}_{Z+1}Y^A + \beta^- + Q$$

Bản chất của phân rã này:

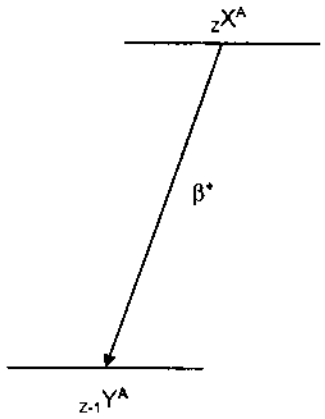
$$n \rightarrow p + \beta^- + Q$$

Bức xạ β^- (negatron) dẫn đến việc tăng điện tích hạt nhân lên một đơn vị nhưng không làm thay đổi số khối của nó.

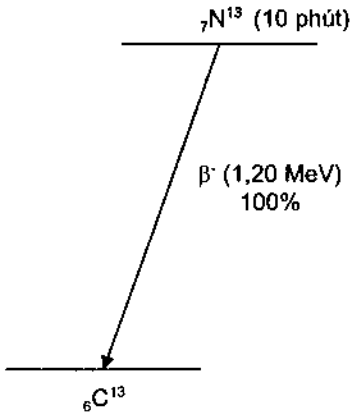
2.2. Phân rã bêta dương - Pozitron (β^+)

Trong hạt nhân của những đồng vị có số proton nhiều hơn số nơtron có thể xảy ra hiện tượng biến một proton thành một nơtron đồng thời phát ra hạt pozitron (β^+). Hạt pozitron có khối lượng đúng bằng khối lượng của điện tử, điện tích bằng điện tích của điện tử nhưng trái dấu (một điện tích nguyên tố dương), vì vậy nó được gọi là điện tử dương (e^+).

Hình 6.3.2a biểu diễn sơ đồ chung của loại phân rã này. Hình 6.3.2b là sơ đồ phân rã phóng xạ của N^{13}, một đồng vị phóng xạ phân rã β^+ đơn thuần.



Hình 6.3.2a



Hình 6.3.2b

Phương trình biến đổi của phân rã β^+ được viết như sau:

$$_ZX^A \rightarrow {}_{Z-1}Y^A + \beta^+ + Q$$

Bản chất của phần này là:

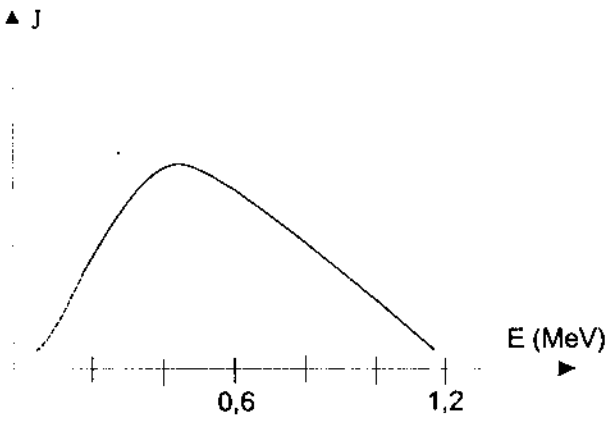
$$p \rightarrow n + \beta^+ + Q$$

http://tieulun.hopto.org

Bức xạ β^+ dẫn đến việc giảm điện tích hạt nhân đi một đơn vị nhưng không làm thay đổi số khối của nó.

Việc trình bày phương trình biến đổi và bản chất của các phân rã β^-, β^+ như trên lúc đầu được chấp nhận vì nó hợp với các kết quả thực nghiệm thời đó.

Sau này đi sâu vào việc giải thích phổ năng lượng liên tục của các tia $\beta^\pm$ phát ra từ mọi nguồn phóng xạ (hình 6.3.3) năm 1931 Paoli đã đưa ra giả thuyết là trong các hiện tượng phân rã $\beta^\pm$, ngoài hạt pozitron hoặc electron, từ hạt nhân còn phát ra một hạt khác, gọi là nơtrino (ν). Hạt này không mang điện, khối lượng tĩnh bằng 0. Năm 1957, người ta đã ghi nhận được hạt nơtrino và giả thuyết của Paoli về bản chất của các phân rã $\beta^\pm$ đã hoàn toàn được chấp nhận. Như vậy, bản chất của các phân rã $\beta^\pm$ là sự biến đổi tương hỗ giữa n và p theo các phản ứng sau:



Hình 6.3.3. Phổ năng lượng của chùm tia $\beta^\pm$ phát ra từ đồng vị phóng xạ $_{83}Bi^{210}$

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu + Q$$

$$n \rightarrow p + \beta^- + \nu + Q$$

2.3. Phân rã alpha (α): Loại phân rã này chỉ xảy ra trong phạm vi các hạt nhân của những nguyên tố có khối lượng nguyên tử lớn. Trong quá trình này từ hạt nhân phát ra hạt alpha (α). Hạt α là hạt nhân của nguyên tử Hêli được tạo thành bởi mối liên kết mạnh giữa một cặp proton và một cặp nơtron. Bởi vậy sự phân rã này dẫn đến việc làm giảm khối lượng và điện tích của hạt nhân một cách đáng kể (khối lượng giảm 4, điện tích giảm 2).

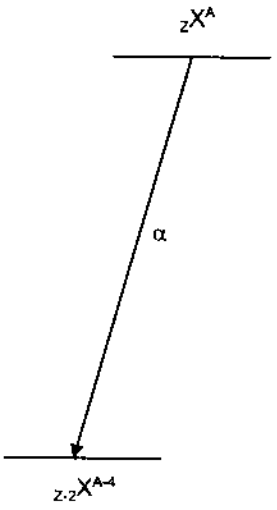
Hình 6.3.4a là sơ đồ chung của phân rã α. Hình 6.3.4b biểu diễn sơ đồ phân rã α của đồng vị phóng xạ $_{88}Ra^{226}$.

Phương trình biến đổi của phân rã α là:

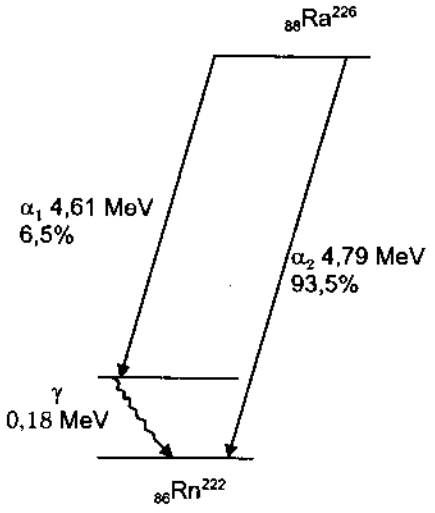
$$_ZX^A \rightarrow {}_{Z-2}Y^{A-4} + {}_2He^4 + Q$$

Q là năng lượng phát ra thể hiện dưới dạng động năng của các hạt alpha. Các hạt alpha phát ra từ cùng một loại phân rã của cùng một loại hạt nhân có năng lượng giống nhau. Đó là đặc điểm đơn năng của chùm tia alpha.

http://tieulun.hopto.org

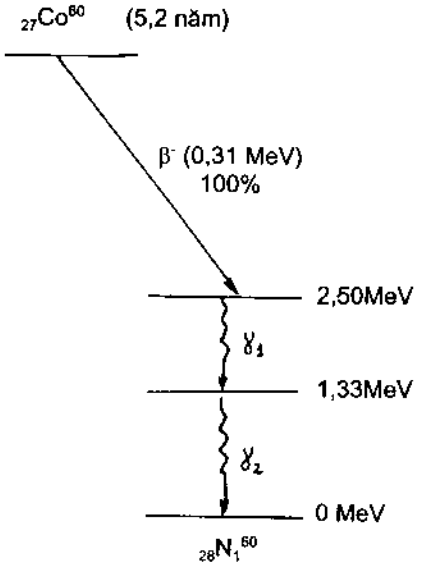


Hình 6.3.4a

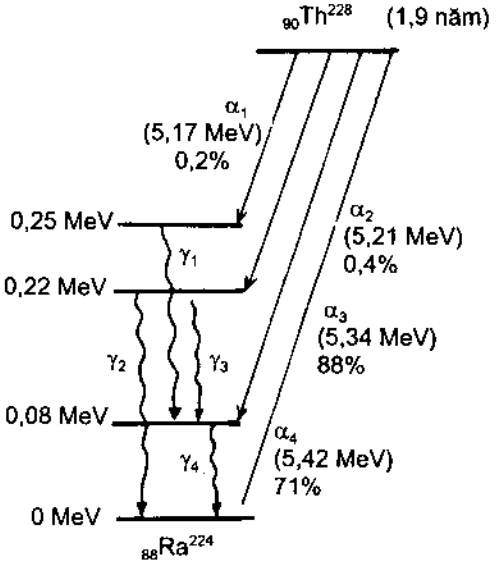


Hình 6.3.4b

2.4. Phát xạ tia gamma (γ) từ hạt nhân



Hình 6.3.5a



Hình 6.3.5b

Trường hợp hạt nhân chuyển từ trạng thái bị kích thích về trạng thái cơ bản hay về trạng thái bị kích thích ứng với mức năng lượng thấp hơn, từ hạt nhân sẽ phát ra tia gamma (còn gọi là lượng tử gamma, hay photon gamma (- γ). Bản chất tia γ là sóng điện từ có bước sóng cực ngắn. Vì vậy quá trình phát tia γ không làm thay đổi thành phần cấu tạo của hạt nhân mà chỉ làm thay đổi trạng thái năng lượng của nó.

http://tieulun.hopto.org

Đa số các hạt nhân mới tạo thành sau các phân rã $\beta^{\pm}$, α... đều ở trạng thái bị kích thích. Vì vậy sau các phân rã này thường có phát ra tia gamma. Do đó cần chú ý rằng khi có hiện tượng phóng xạ xảy ra ở một hạt nhân, hạt nhân đó có thể bị biến đổi nhiều hơn một lần, do đó có thể phát ra nhiều tia phóng xạ.

Hình 6.3.5a, b là sơ đồ phân rã phóng xạ của một vài đồng vị phóng xạ có phát tia γ thường được sử dụng trong y sinh học.

Như vậy tia phóng xạ là những tia được phát ra từ hạt nhân bị biến đổi phóng xạ, có năng lượng cao. Bản chất tia phóng xạ có thể là hạt vi mô tích điện (có khối lượng tĩnh, có điện tích) như các tia $\beta^{\pm}$, hay α, có thể là lượng tử năng lượng cao - sóng điện từ với bước sóng cực ngắn, như tia gamma.

3. Định luật phân rã phóng xạ

Trong một nguồn phóng xạ số hạt nhân có tính phóng xạ sẽ giảm dần theo thời gian. Giả sử tại thời điểm t số hạt nhân có tính phóng xạ là Nt. Do ngẫu nhiên hạt nhân này có thể phân rã trước hạt nhân khác, tất cả chúng không phân rã cùng một lúc. Sau một khoảng thời gian dt, số hạt nhân giảm đi là -dNt tỷ lệ với Nt và dt:

$$-dN_t = \lambda N_t dt \qquad (6.3.1)$$

trong đó λ là hằng số phân rã, phụ thuộc vào bản chất của hạt nhân có tính phóng xạ. Chính λ là xác suất phân rã của một hạt nhân trong đơn vị thời gian. Từ (6.3.1) ta có:

$$\frac{dN_t}{N_t} = -\lambda.dt \qquad (6.3.2)$$

Giải phương trình vi phân (6.3.2) với điều kiện ban đầu là ở thời điểm bắt đầu xét quá trình (t = 0) số hạt nhân có tính phóng xạ là N_0, ta có:

$$N_t = N_0.e^{-\lambda t} \qquad (6.3.3)$$

Các nguồn phóng xạ khác nhau về bản chất của hạt nhân có tính phóng xạ, do đó có khác nhau về giá trị của hằng số λ và số lượng của hạt nhân có tính phóng xạ ở thời điểm ban đầu (N_0). Nếu λ càng lớn thì theo thời gian số hạt nhân có tính phóng xạ sẽ giảm càng nhanh. Thí dụ λ của I^{132} là 0,307 h^{-1}, của I^{131} là 0,0036h^{-1} như vậy I^{132} phân rã nhanh hơn I^{131} khoảng 100 lần.

Người ta còn dùng một số đại lượng khác để biểu diễn quy luật phóng xạ, như:

3.1. Chu kỳ bán rã: chu kỳ bán rã của một nguồn phóng xạ, ký hiệu là T, là khoảng thời gian cần thiết để số hạt nhân có tính phóng xạ của nguồn đó giảm xuống còn một nửa so với ban đầu, do phân rã phóng xạ. Từ (6.3.3) suy ra:

$$\ell nN_t = \ell n.\, N_0 - \lambda T$$

$$\ell n\frac{N_0}{N_t} = \lambda T$$

http://tieulun.hopto.org

Sau thời gian T thì $N_t = \frac{1}{2}N_0$ hay $\frac{N_0}{N_t} = 2$. Do đó:

$$\ell n2 = \lambda T$$

hay $$T = \frac{\ell n2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \qquad (6.3.4)$$

Như vậy chu kỳ bán rã của một nguồn chỉ phụ thuộc vào bản chất của hạt nhân có tính phóng xạ của nguồn đó. Nói khác đi, chu kỳ bán rã đặc trưng cho tính phóng xạ của nguyên tố phóng xạ.

3.2. Tốc độ phân rã phóng xạ hay hoạt độ phóng xạ: tốc độ phân rã phóng xạ còn gọi là hoạt độ phóng xạ của một nguồn là đại lượng vật lý cho biết rõ số hạt nhân có tính phóng xạ của nguồn đó bị phân rã trong một đơn vị thời gian, ký hiệu là q. Từ (6.3.3) ta có:

$$q = \left[\frac{dN_t}{dt}\right] = \lambda N_t \qquad (6.2.5)$$

Như vậy hoạt độ phóng xạ của một nguồn, phải được xét ở từng thời điểm, nó không những phụ thuộc vào bản chất của hạt nhân có tính phóng xạ của nguồn (λ), mà còn phụ thuộc vào số lượng hạt nhân có tính phóng xạ đó tồn tại trong nguồn tại thời điểm đang xét (N_t).

Đơn vị đo q là phân rã trên giây (Pr/s) hay Beccoren (Bq) được định nghĩa như sau: *"Một Bq là tốc độ phân rã của nguồn mà trung bình cứ mỗi giây có một hạt nhân bị phân rã".*

Ngoài ra còn dùng đơn vị khác là Curi (Ci) và các ước số của nó:

1 Ci	$= 3,7.10^{10}$Bq		
1 miliCuri	= 1 mCi	$= 10^{-3}$ Ci	$= 3,7.10^{7}$ Bq
1 microCuri	= 1 μCi	$= 10^{-6}$ Ci	$= 3,7.10^{4}$Bq
1 nanoCuri	= 1 nCi	$= 10^{-9}$ Ci	$= 3,7.10$ Bq
1 picroCuri	= 1 pCi	$= 10^{-12}$ Ci	$= 3,7.10^{-2}$ Bq

Ta cần chú ý rằng q không phải số tia phóng xạ phát ra từ nguồn trong một đơn vị thời gian, vì khi một hạt nhân phân rã có thể phát ra nhiều, chứ không phải một tia phóng xạ.

3.3. Mật độ bức xạ: Mật độ bức xạ tại một điểm trong không gian là số tia phóng xạ truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền của tia tại điểm đó trong một đơn vị thời gian.

Giả sử rằng một nguồn phóng xạ nào đó cứ mỗi đơn vị thời gian phát ra n tia phóng xạ. Ta coi nguồn phóng xạ là một điểm, sự hấp thụ tia phóng xạ của bản

http://tieulun.hopto.org

thân nguồn là không đáng kể và không kể đến sự hấp thụ tia phóng xạ của môi trường. Mật độ tia phóng xạ tại một điểm cách nguồn một khoảng R là:

$$J = \frac{n}{S} = \frac{n}{4\pi R^2} \qquad (6.3.6)$$

vì các tia phóng xạ phát ra theo mọi hướng đều đặn như nhau. Từ công thức 6.3.6 ta thấy ngay là mật độ bức xạ tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tới nguồn.

3.4. Cường độ bức xạ: cường độ bức xạ tại một điểm nào đó trong không gian là số năng lượng do tia phóng xạ truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền của tia tại điểm đó trong một đơn vị thời gian. Ký hiệu cường độ bức xạ là I, ta có:

$$I = J.E \qquad (6.3.7)$$

trong đó E là năng lượng của mỗi tia phóng xạ. Tất nhiên nếu các tia phóng xạ có năng lượng không đồng nhất thì:

$$I = \sum_{i=1}^{J} E_i$$

Đơn vị cường độ bức xạ là oát trên mét vuông (W/m^2). W/m^2 là cường độ của một chùm bức xạ truyền công suất một oát trên một mét vuông đặt vuông góc với phương truyền của nó.

IV. TƯƠNG TÁC CỦA BỨC XẠ ION HOÁ VÀ VẬT CHẤT

Mọi bức xạ ion hoá, dù là dạng photon hay các hạt vi mô đều mang trong mình chúng những giá trị năng lượng nhất định, vì vậy khi gặp vật chất năng lượng đó sẽ được truyền cho nguyên tử hoặc phân tử của vật chất. Cơ chế tương tác đó là quan trọng bởi vì không những nó quyết định kỹ thuật thích hợp để ghi đo mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến lớp vật chất được bức xạ chiếu tới. Sự tương tác này gây nên những hệ quả về vật lý, hoá học, sinh học. Trước hết ta khảo sát về phương diện vật lý.

Nhìn chung có 2 cơ chế cơ bản về phương diện vật lý chuyển giao năng lượng từ tia qua vật chất: kích thích và ion hoá vật chất. Kích thích là quá trình nguyên tử hoặc phân tử hấp thụ một giá trị năng lượng từ tia rồi chuyển về một trạng thái năng lượng mới, không bền vững (trạng thái kích thích) mà không kéo theo bất cứ sự tách rời (bứt) một điện tử cấu tạo nào. Nguyên tử hoặc phân tử kích thích đó rất dễ dàng và nhanh chóng phát xạ năng lượng đã hấp thụ được dưới dạng những photon, bức xạ nhiệt hoặc phản ứng hoá học để trở về trạng thái ban đầu. Ion hoá là quá trình năng lượng từ tia tới làm bật điện tử quĩ đạo của nguyên tử hoặc phân tử thành phần của vật chất. Từ đó tạo ra một cặp ion: ion âm (hoặc điện tử) và ion dương (phần còn lại của nguyên tử hoặc phân tử).

http://tieulun.hopto.org

Người ta chia các bức xạ ion hoá ra làm 2 loại: bức xạ dạng sóng điện từ như photon gamma, tia X (tia Rơnghen) và bức xạ là các hạt vi mô tích điện hoặc không tích điện như chùm điện tử, proton, mezon, nơtron, đơteri, hạt alpha... Việc phân loại các tia như vậy chỉ là tương đối và để dễ xem xét. Thực ra vật chất có bản chất 2 mặt sóng và hạt luôn luôn khăng khít nhau. Trong những điều kiện nhất định nào đó, bản chất sóng được thể hiện rõ hơn và lúc đó bản chất hạt bị lu mờ đi. Trong những điều kiện khác thì ngược lại.

1. Tương tác của hạt vi mô tích điện và vật chất

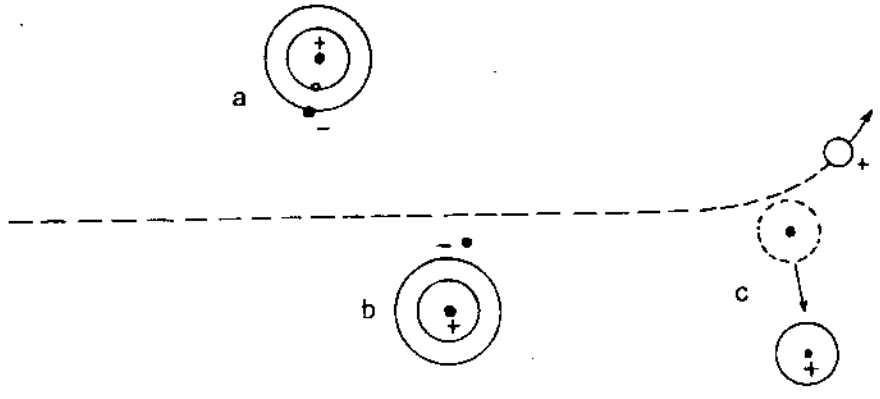
Khi chùm hạt vi mô tích điện tương tác với vật chất, bản thân hạt vi mô hoặc điện trường của nó có thể tương tác với điện tử trên quĩ đạo hoặc với hạt nhân của nguyên tử vật chất. Đó là các hạt vật chất có khối lượng và điện tích nhất định. Vì vậy lực tác dụng ở đây là lực tĩnh điện F. Giữa 2 điện tích q và q' đó sẽ xuất hiện lực hút nếu chúng trái dấu nhau và lực đẩy nếu cùng dấu. Độ lớn của F tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách d giữa 2 điện tích:

$$F = k\frac{q.q'}{d^2}$$

Như vậy xác suất tương tác phụ thuộc vào mật độ, kích thước và điện tích của hạt tới đồng thời phụ thuộc cả mật độ, kích thước và điện tích của các thành phần cấu tạo vật chất.

1.1. Hạt vi mô tương tác với các điện tử quĩ đạo

Khi tương tác với vật chất, hạt vi mô dễ dàng truyền một phần năng lượng của nó cho điện tử đang chuyển động trên quĩ đạo của nguyên tử vật chất. Năng lượng hấp thụ được đó sẽ làm dịch chuyển điện tử từ quĩ đạo thấp lên quĩ đạo có năng lượng lớn hơn mà không bứt điện tử ra khỏi nguyên tử. Như vậy là hạt vi mô đã đưa nguyên tử về trạng thái kích thích (trạng thái a trong hình 6.4.1).



Hình 6.4.1 a,b,c

http://tieulun.hopto.org

Trạng thái này không tồn tại lâu dài mà nguyên tử dễ dàng trở về trạng thái ổn định ban đầu bằng cách phát ra các bức xạ như đã nói ở trên.

Năng lượng từ hạt tới cũng có thể làm một điện tử quĩ đạo bứt ra khỏi nguyên tử. Nguyên tử lúc đầu trung hoà về điện nay trở thành một cặp ion: ion âm (hoặc điện tử bị bật ra) và ion dương (phần còn lại của nguyên tử). Như vậy là nguyên tử (phân tử) đã bị ion hoá (hình 6.4.1b). Điện tử bật ra cũng có một động năng nhất định nên có thể gây ra hiện tượng ion hoá tiếp theo đối với các nguyên tử và phân tử khác xung quanh. Điều cần lưu ý ở đây là hạt vi mô tới khi va chạm với nguyên tử, phân tử vật chất không chuyển giao toàn bộ năng lượng của nó trong một lần va chạm. Năng lượng của tia tới chỉ mất một giá trị nhất định và hướng đi của tia tới bị lệch đi nhiều ít tùy thuộc lực tương tác F và độ lớn của tiết diện tác dụng. Phần năng lượng tia tới mất đi được dùng để bứt điện tử ra khỏi quĩ đạo và cung cấp cho điện tử đó một động năng nhất định. Đó là sự ion hoá trực tiếp. Trên đường đi qua vật chất, một hạt vi mô có nhiều lần va chạm như vậy và có thể tạo ra rất nhiều cặp ion. Quĩ đạo của nó không phải là đường thẳng. Năng lượng của tia tới giảm dần trên quĩ đạo. Ở cuối quĩ đạo, các hạt vi mô không còn năng lượng đủ lớn để ion hoá vật chất, sẽ liên kết với các ion trái dấu để thành nguyên tử (phân tử) trung hoà về điện hoặc tồn tại tự do ở trạng thái chuyển động nhiệt.

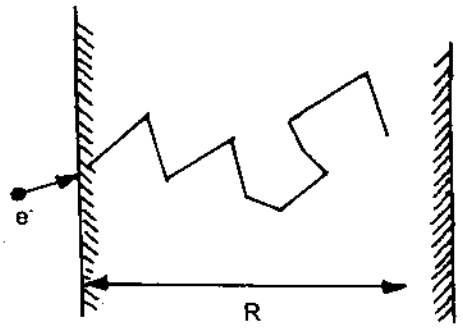
Như vậy, dọc theo quĩ đạo của hạt vi mô qua vật chất, xuất hiện nhiều cặp ion. Các ion này không tồn tại lâu mà gây nên các phản ứng hoá học tiếp theo hoặc kết hợp lại với nhau để thành những phân tử trung hoà về điện. Để biểu diễn độ lớn của khả năng ion hoá này người ta dùng khái niệm độ ion hoá tuyến tính. Độ ion hoá tuyến tính được đo bằng số cặp ion do hạt vi mô tới tạo ra trên một đơn vị chiều dài dọc theo đường đi của nó. Giá trị năng lượng để tạo ra 1 cặp ion trong không khí khô không lớn chỉ vào khoảng 34eV. Như vậy chùm tia bêta có năng lượng 0,34MeV (của ^{131}I chẳng hạn) có thể tạo ra được 10.000 cặp ion trong không khí ở điều kiện tiêu chuẩn.

Với một hạt vi mô xác định khi tương tác với vật chất thì xác suất tương tác để gây ra ion hoá tỷ lệ với khối lượng, điện tích và tốc độ hạt tới. Điện tích và khối lượng càng lớn, tốc độ càng bé thì xác suất tương tác càng lớn. Vì vậy ở cuối quĩ đạo, số cặp ion bao giờ cũng nhiều hơn ở đoạn đầu. Chính vì vậy độ ion hoá của các hạt alpha lớn hơn nhiều so với điện tử. Sự lệch hướng trên quĩ đạo xảy ra đối với hạt alpha cũng ít hơn so với điện tử. Vì vậy quĩ đạo của hạt alpha thường ít gấp khúc hơn quĩ đạo của điện tử. Chùm tia alpha phát ra từ một nguồn xạ thường đơn năng (năng lượng của các tia riêng biệt trong một chùm gần bằng nhau) nên do vậy khả năng đâm xuyên của các tia từ một nguồn đó cũng giống nhau. Người ta gọi khả năng đâm xuyên trong vật chất của một chùm tia là quãng chạy. Thông thường quãng chạy R của tia alpha không vượt quá 10cm trong không khí; 0,1mm trong nước và 0,06mm trong nhôm. Vì vậy việc che chắn chùm tia alpha dễ thực hiện.

Hướng của hạt bêta (điện tử) khi tương tác với vật chất bị lệch đi nhiều hơn, tạo ra một quĩ đạo có nhiều gấp khúc (hình 6.4.2). Vì vậy quãng chạy R của tia bêta không phải là quĩ đạo thực tế trong vật chất mà được tính bằng bề dày cực đại của lớp vật chất mà nó có thể xuyên qua được. Phổ năng lượng của một chùm bêta là đa năng (tức là gồm các tia từ năng lượng thấp đến năng lượng cao) trình bày trên hình 6.3.3. Do vậy có khái niệm quãng chạy trung bình của chùm bêta.

http://tieulun.hopto.org

Trong y sinh học, các hiệu ứng xảy ra phụ thuộc vào độ ion hoá tuyến tính. Nhưng để áp dụng cho tất cả các bức xạ kể cả photon người ta còn dùng một khái niệm nữa là hệ số truyền năng lượng tuyến tính viết tắt theo tiếng Anh là LET (linear energy transfer) để diễn đạt giá trị năng lượng chùm tia đã chuyển giao vật chất:



Hình 6.4.2

$$LET = \frac{\Delta E}{\Delta x}$$

ΔE là giá trị năng lượng từ hạt vi mô hoặc photon được chuyển giao trên chiều dài Δx của quĩ đạo. Đơn vị đo của LET là J/m hoặc keV/mm. Giá trị LET cũng nói lên khả năng ion hoá và tỷ lệ với độ ion hoá tuyến tính của chùm hạt vi mô. Như vậy với các tia tới khác nhau có cùng một năng lượng thì giá trị LET khác nhau vì khả năng ion hoá của chúng khác nhau. LET của hạt alpha lớn hơn của hạt bêta và của photon gamma. Giá trị LET ở đoạn cuối quĩ đạo của một hạt nào đó cũng lớn hơn ở đầu quĩ đạo vì ở cuối quĩ đạo vận tốc hạt chậm hơn, xác suất tương tác lớn hơn và do đó độ ion hoá cũng lớn hơn. Bảng 6.1 cho biết giá trị LET của một số bức xạ.

Bảng 6.1. Giá trị LET của các bức xạ ion hoá

Bức xạ	Điện tích	Năng lượng tia (MeV)	Giá trị LET (keV/μm)
Điện tử	-1	0,0001	12,3
		0,01	2,3
		0,1	0,42
		1,0	0,25
Proton	+1	thấp	92
		2	16
		5	8
		10	4
Alpha	+2	thấp	260
		3	140
		5	95
Nơtron	0	2,5	15-80
		14,1	3-30
Tia X, γ	Từ bóng 200KV		0,4-36
	Từ nguồn Co - 60		0,2-2

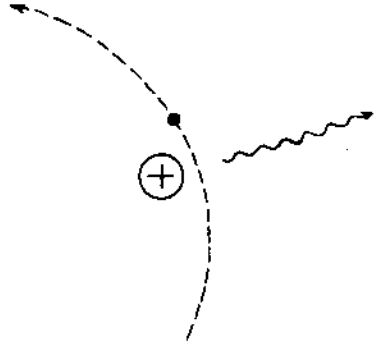
http://tieulun.hopto.org

1.2. Hạt vi mô tương tác với hạt nhân nguyên tử. Các hạt vi mô tích điện có thể gây ra phản ứng hạt nhân tạo ra các hạt nhân nguyên tử mới như thí nghiệm cổ điển của Rutherford đã thực hiện vào năm 1919:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al}(\alpha,\mathrm{n})^{30}_{15}\mathrm{P}$$

Đây là một khả năng rất hiếm xảy ra nên chúng ta không đề cập kỹ ở đây.

Khả năng dễ xảy ra hơn là khi một hạt vi mô tích điện tới gần hạt nhân nguyên tử vật chất (cũng mang điện) thì chúng sẽ tương tác với nhau. Sự tương tác đó sẽ tạo ra lực hút hoặc đẩy tùy theo dấu điện tích của hạt tới. Độ lớn của lực tĩnh điện này cũng phụ thuộc vào các yếu tố đã nêu ở trên. Nhìn chung khối lượng của hạt tới nhỏ hơn nhiều so với hạt nhân nguyên tử nên quĩ đạo và vận tốc của nó bị thay đổi nhiều, tạo ra chuyển động cong. Đó là chuyển động có gia tốc (Hình 6.4.3). Theo điện động lực học cổ điển, khi hạt vi mô tích điện chuyển động có gia tốc thì sẽ phát ra sóng điện từ (bức xạ photon). Hiện tượng này xảy ra với tất cả các hạt vi mô nhưng đặc biệt quan trọng đối với điện tử. Bức xạ photon phát ra ở đây được gọi là bức xạ hãm (Bremsstrahlung hoặc Braking radiation). Năng lượng của bức xạ hãm phụ thuộc vào độ giảm vận tốc (gia tốc) của chuyển động, nghĩa là phụ thuộc vào giá trị điện tích Z của hạt nhân nguyên tử, điện tích z và khối lượng m của hạt tới. Phổ năng lượng của chùm bức xạ hãm phát ra từ một nguồn là liên tục. Cần chú ý rằng bức xạ hãm cũng có thể phát ra từ các tổ chức của cơ thể sinh vật bị chiếu xạ bởi các nguồn bêta có năng lượng khoảng 1,71 MeV (của ^{32}P). Năng lượng bức xạ hãm phụ thuộc nhiều vào số Z của nguyên tử vật chất nên trong thực tế người ta ít dùng vật liệu có số Z lớn để che chắn các nguồn phát tia bêta.



Hình 6.4.3

Trong tương tác này, hạt vi mô tiếp tục di chuyển lệch hướng và giảm dần năng lượng còn vị trí và năng lượng của hạt nhân ít bị thay đổi. Xác suất xảy ra rất nhỏ và nó có tên gọi là sự va chạm đàn hồi.

Hạt pozitron khi tương tác với vật chất cũng gây ra hiện tượng kích thích và ion hoá và tạo ra bức xạ hãm như điện tử. Tuy nhiên ở cuối quĩ đạo, nó rất dễ kết hợp với điện tử tự do để tạo ra 2 photon có năng lượng xác định là 0,511 MeV, tương ứng với khối lượng tĩnh của 2 hạt đó. Hai photon này di chuyển theo 2 hướng ngược chiều nhau. Đó là hiện tượng huỷ hạt (annihilating). Người ta vận dụng hiện tượng này để ghi đo các đồng vị phóng xạ phát ra pozitron.

http://tieulun.hopto.org

2. Tương tác của photon năng lượng cao (tia γ và tia X) và vật chất

Trên đây ta biết tia γ, tia X có bản chất là sóng điện từ với bước sóng cực ngắn, là photon năng lượng lớn. Khác với các hạt vi mô tích điện, khi xuyên qua vật chất photon năng lượng lớn truyền hết năng lượng của nó không phải sau nhiều lần tương tác mà chỉ sau một lần tương tác. Sản phẩm của quá trình tương tác đó lại là những hạt vi mô tích điện (điện tử, pozitron) có năng lượng lớn. Các hạt vi mô này sẽ ion hoá vật chất (như đã trình bày ở trên). Vì vậy người ta nói các photon năng lượng lớn đã ion hoá gián tiếp vật chất.

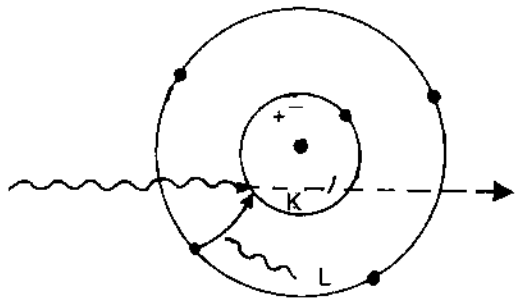
Tương tác của photon năng lượng lớn với vật chất thông qua 3 hiệu ứng sau đây:

2.1. Hiệu ứng quang điện

Đó là hiện tượng các điện tử bị bứt ra khỏi lớp vỏ điện tử của nguyên tử, do tác dụng của tia γ (tia X). Khi điện tử nằm trên quĩ đạo dừng, nó có một năng lượng liên kết ω xác định (bằng công ion hoá). Như vậy, muốn bứt điện tử ra khỏi quĩ đạo, tia γ (tia X) phải có năng lượng lớn hơn ω. Trong hiệu ứng này, tia γ tương tác với điện tử quĩ đạo và trao toàn bộ năng lượng của nó ($E = h.\upsilon$) cho điện tử. Năng lượng này một phần dùng làm công ion hoá, phần còn lại dùng làm động năng E_d cho điện tử:

$$h.\upsilon = \omega + E_d$$

Cần chú ý rằng công ion hoá ω chỉ chiếm một phần nhỏ của hυ, còn đại bộ phận của hυ đã được biến thành động năng của điện tử sau khi bứt ra khỏi quĩ đạo. Chính vì vậy nó tương tác với vật chất và gây hiện tượng ion hoá thứ cấp trong vật chất. Về phía nguyên tử vật chất, khi một điện tử bị bật ra khỏi quĩ đạo, điện tử khác ở vành ngoài có thể đến thế chỗ. Năng lượng dư thừa do sự chênh lệch của E_q giữa 2 quĩ đạo, sẽ được phát ra dưới dạng một photon. Giá trị năng lượng E_q phụ thuộc vào các quĩ đạo, vào số nguyên tử Z nên photon thứ cấp này có giá trị xác định và được gọi là bức xạ đặc tính (hình 6.4.4):



Hình 6.4.4

$$h\upsilon = E_{qL} - E_{qK}$$

E_{qK} và E_{qL} là E_q năng lượng liên kết trên quỹ đạo của điện tử ở vành K và vành L.

Xác suất xảy ra hiệu ứng quang điện phụ thuộc vào số nguyên tử Z của vật chất hấp thụ tức là vào điện tích của hạt nhân nguyên tử vật chất và giảm đi khi năng lượng của photon tới tăng lên. Người ta thấy hiệu ứng quang điện thường xảy ra với những chùm photon có năng lượng nhỏ hơn 0,1 MeV.

http://tieulun.hopto.org

2.2. Hiệu ứng Comtơn (Compton)

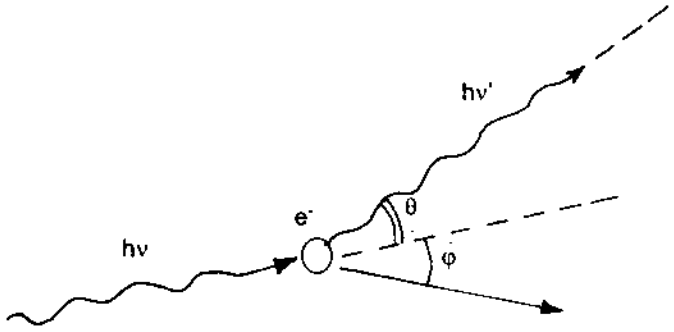
Comtơn là người đầu tiên phát hiện thấy rằng photon có năng lượng trong khoảng 0,1 - 2 MeV đi qua vật chất sẽ tương tác với điện tử tự do có trong đó. Điện tử này nhận toàn bộ năng lượng hν, của photon tới, giữ lấy một phần làm động năng của mình để dịch chuyển, phần còn lại sẽ phát ra dưới dạng một photon khác có tần số nhỏ hơn (năng lượng thấp hơn) và có một hướng truyền làm thành một góc với hướng truyền của photon tới. Người ta gọi chúng là điện tử lùi và photon thứ cấp của hiệu ứng Comtơn (hình 6.4.5). Có thể viết tóm tắt quá trình đó như sau:

$$h\nu = h\nu' + E_d$$

hν: năng lượng của photon tới

hν': năng lượng của photon thứ cấp

E_d: động năng của điện tử tự do



Hình 6.4.5

Chính điện tử lùi với động năng E_d sẽ tiếp tục tương tác với vật chất, gây hiện tượng ion hoá như ta đã biết trong phần trên.

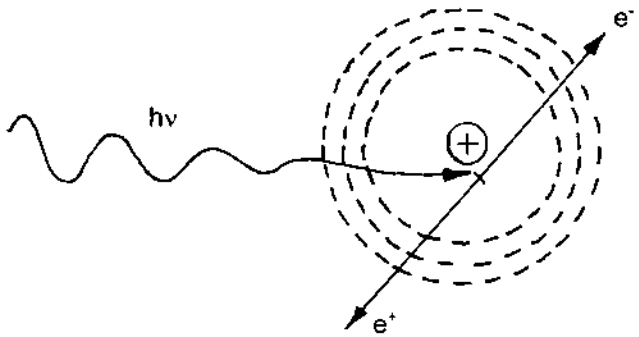
2.3. Hiệu ứng tạo cặp

Những photon có năng lượng bằng và lớn hơn 1,02 MeV có thể gây ra hiệu ứng tạo cặp: khi những photon đó đến gần hạt nhân có số Z lớn, chúng tương tác với trường hạt nhân và biến mất, đồng thời xuất hiện một cặp pozitron - electron. Như vậy, năng lượng của photon đã chuyển hoá thành 2 hạt e^+ và e^- và động năng của chúng (hình 6.4.6). Hệ thức năng lượng trong quá trình tạo cặp là:

$$h\nu = E_d^+ + E_d^- + 1{,}02\ \text{MeV}$$

Trong đó E^+_d, E_d^- là động năng của pozitron và electron: 1.02 MeV = 0,511 MeV x 2 là phần năng lượng tương đương với khối lượng tĩnh của hai hạt pozitron và electron, tính theo công thức của Anhstanh $E = mc^2$, trong đó E là năng lượng tương đương với khối lượng m, c là tốc độ ánh sáng trong chân không.

http://tieulun.hopto.org



Hình 6.4.6

Như vậy các pozitron và electron được tạo ra trong hiệu ứng này có động năng. Chính chúng sẽ tương tác với vật chất và gây quá trình ion hoá tiếp tục, do đó sẽ giảm dần động năng rồi chuyển về dạng chuyển động nhiệt.

Xác suất của hiệu ứng này tăng tỷ lệ với giá trị năng lượng của photon và tỷ lệ với Z^2 của nguyên tử vật chất mà tia γ (tia X) xuyên qua.

3. Định luật hấp thụ các bức xạ ion hoá

Do các quá trình tương tác trên, khi bức xạ ion hoá đi xuyên qua vật chất, năng lượng của tia có thể giảm đi, mật độ chùm tia có thể giảm đi và do đó cường độ chùm tia sẽ giảm đi. Tuy nhiên tuỳ theo bản chất và đặc điểm của mỗi loại tia, quy luật giảm cường độ được thể hiện khác nhau.

3.1. Đối với tia α

Vì các hạt α trong chùm tia nói chung có năng lượng đồng đều như nhau, quĩ đạo của hạt α trong vật chất là đường thẳng, do tương tác năng lượng của từng hạt α sẽ giảm dần dọc theo quĩ đạo của nó cho đến khi dừng lại. Vì vậy với tia α, tồn tại quy luật giảm mật độ tia (J) như sau:

Gọi J_0 là mật độ chùm tia α song song, có cùng năng lượng xuyên vuông góc với bề mặt của lớp vật chất, x là chiều dày lớp vật chất chùm tia xuyên qua, J là mật độ chùm tia ló sau khi đi qua lớp vật chất, ta có:

$$J = J_0 \text{ nếu } x < R$$

$$J = 0 \text{ nếu } x \geq R$$

Trong đó R là quãng chạy của chùm tia α trong vật chất mà nó đi qua.

3.2. Đối với tia $\beta^{\pm}$, tia γ, tia X

Do chùm tia $\beta^{\pm}$ có phổ năng lượng liên tục, quĩ đạo của hạt $\beta^{\pm}$ trong vật chất là đường gấp khúc quanh co, do các hiệu ứng tương tác của tia γ, tia X với vật chất xảy ra theo quy luật xác suất, nên đối với các chùm tia này không tồn tại quy luật giảm mật độ tia đơn giản như đối với tia α mà thay vào đó là quy luật giảm cường độ tia.

http://tieulun.hopto.org

Gọi I_0 là cường độ chùm tia γ (hoặc tia X, hoặc tia $\beta^{\pm}$) tới mặt bản, I là cường độ sau khi ra khỏi bản, x là chiều dày của bản (tính bằng cm) người ta chứng minh được:

$$I = I_0 . e^{-\mu_x . x} \qquad (6.4.1)$$

Trong đó μ_x gọi là hệ số giảm bậc nhất. Nếu bức xạ ion hoá có dạng khác nhau, năng lượng khác nhau, vật chất mà nó xuyên qua khác nhau thì μ_x sẽ khác nhau.

Đối với sự làm giảm cường độ bức xạ, khoảng chiều dày của một bản vật chất tính bằng đơn vị dài chưa nêu hết được khả năng làm giảm cường độ bức xạ của bản đó. Hiển nhiên là hai bản cùng chiều dày nhưng làm bằng những chất khác nhau (tức là có mật độ vật chất ρ khác nhau) thì sẽ làm giảm cường độ tia phóng xạ một cách khác nhau, ρ càng lớn thì sự làm giảm càng mạnh. Vì vậy để nêu hết được khả năng làm giảm cường độ bức xạ của một bản vật chất chiều dày x (cm), có mật độ vật chất ρ (g/cm^3) ta phải dùng tích số:

$$d = x . \rho$$

d gọi là chiều dày khối của bản vật chất, được đo bằng đơn vị g/cm^2.

Công thức (6.4.1) có thể biến đổi như sau:

$$I = I_0 e^{-\frac{\mu_x}{\rho} \cdot x \cdot \rho} = I_0 e^{-\mu . d} \qquad (6.4.2)$$

Trong đó $\mu = \frac{\mu_x}{\rho}$ được gọi là hệ số làm giảm khối (hệ số hấp thụ khối) của bản vật chất đối với bức xạ.

Đơn vị để đo μ là cm^2/g.

Đối với tia $\beta^{\pm}$, sự giảm cường độ này là do sự lệch hướng của hạt $\beta^{\pm}$ sau tương tác với hạt thành phần của vật chất và sự dừng của hạt $\beta^{\pm}$ trong vật chất khi năng lượng của nó giảm tới bằng năng lượng của chuyển động nhiệt. Hệ số hấp thụ khối μ phụ thuộc vào năng lượng cực đại của hạt $\beta^{\pm}$ có trong chùm tia đó.

Đối với tia γ, tia X, sự giảm cường độ là do sự biến mất khỏi hướng ban đầu của chùm tia khi xảy ra một trong các hiệu ứng đã nêu. Ta có:

$$\mu = \tau + \sigma + \chi$$

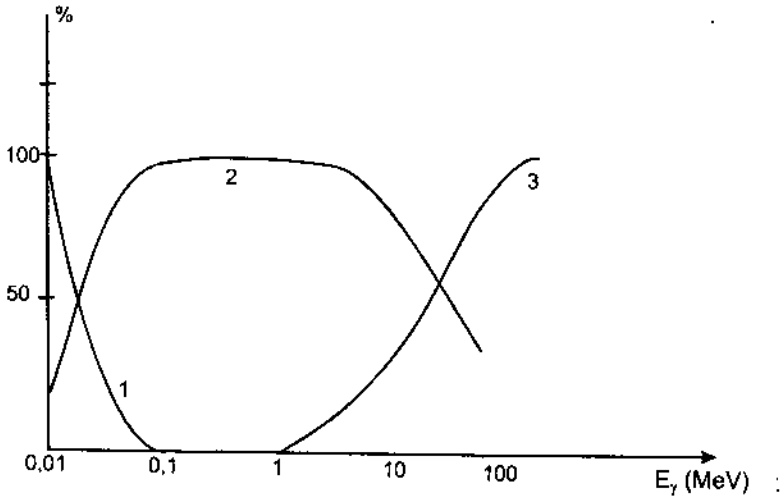
Trong đó μ là hệ số hấp thụ khối (toàn phần) của tia γ, tia X.

τ là hệ số hấp thụ khối quang điện.

σ là hệ số hấp thụ khối tán xạ Comtơn.

χ là hệ số hấp thụ theo hiệu ứng tạo cặp.

http://tieulun.hopto.org



Hình 6.4.7

1. Xác suất tương đối của hiệu ứng quang điện.
2. Xác suất tương đối của hiệu ứng Comtơn.
3. Xác suất tương đối của hiệu ứng tạo cặp.

Các hệ số hấp thụ khối μ, τ, σ, χ và tỷ lệ các giá trị của τ, σ, χ trong hệ số hấp thụ khối toàn phần μ phụ thuộc vào năng lượng của photon. Hình 6.4.7 cho biết sự phụ thuộc vào năng lượng tia γ, tia X của xác suất tương đối của ba quá trình hấp thụ quang điện, tán xạ Comtơn và hiệu ứng tạo cặp. Chúng ta có thể nhận thấy trên hình 6.4.7 là trong một khoảng năng lượng khá lớn (từ 0,1 MeV đến 5 MeV), hiệu ứng Comtơn đóng vai trò chủ yếu.

4. Liều lượng bức xạ

4.1. Các khái niệm liều lượng bức xạ

Trong thực hành, đặc biệt là thực hành y học để đánh giá tác dụng của chùm tia ion hoá lên vật chất nói chung và lên cơ thể sống nói riêng, người ta dùng một đại lượng gọi là liều lượng bức xạ. Cơ sở để định nghĩa liều lượng bức xạ là kết quả tương tác giữa tia ion hoá với vật chất thông qua các quá trình mà ta đã nói ở trên. Trong thực tế tuỳ trường hợp cụ thể người ta dùng hai loại liều lượng: liều lượng hấp thụ và liều lượng chiếu.

– Liều lượng hấp thụ: Liều lượng hấp thụ D là tỷ số giữa năng lượng ΔE mà một đối tượng hấp thụ từ chùm tia chiếu tới và khối lượng Δm của nó:

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Trong hệ SI đơn vị của liều hấp thụ là jun kilogam (J/kg), được đặt tên là Gray (Gy). Gray là liều lượng hấp thụ của một chùm bức xạ ion hóa đối với một đối tượng nào đó khi đối tượng này bị chiếu bởi chùm tia đó thì cứ mỗi kilôgam vật chất của nó nhận được một năng lượng là một jun. Một đơn vị khác của liều hấp thụ là rad. Giữa rad và Gray có mối liên hệ sau:

http://tieulun.hopto.org

$$1 \text{ rad} = 0{,}01 \text{ Gy hay } 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Người ta còn dùng một ước số của rad là milirad (mrad)

$$1 \text{ mrad} = 10^{-3} \text{rad}$$

Suất liều lượng hấp thụ là tỷ số giữa liều hấp thụ ΔD và thời gian chiếu Δt để có liều lượng hấp thụ ấy:

$$P = \frac{\Delta D}{\Delta t}$$

Đơn vị của suất liều lượng hấp thụ là Gray trên giây (Gy/s). Ta có:

$$1 \text{Gy/s} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg.s}} = 1 \text{W/kg}$$

Ngoài ra còn dùng các đơn vị rad/s, rad/h.

– Liều lượng chiếu: liều lượng chiếu chỉ dùng cho tia γ và tia X. Liều lượng chiếu là đại lượng cho biết tổng số điện tích của các ion cùng dấu được tạo ra trong một đơn vị khối lượng không khí ở điều kiện tiêu chuẩn dưới tác dụng của các hạt mang điện tích sinh ra do tia gamma hoặc tia X tương tác với các nguyên tử, phân tử khí.

$$D_c = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

Trong hệ SI đơn vị liều chiếu là Culông trên kilogam (C/kg). Đó là liều chiếu của một chùm tia γ hay tia X mà nếu chùm tia ấy chiếu vào không khí ở điều kiện tiêu chuẩn thì sẽ gián tiếp hoặc trực tiếp ion hoá và tạo ra được một lượng điện tích tổng cộng là một Culông (cộng theo một dấu) trong một kilogam không khí. Đơn vị khác của liều chiếu là Rơnghen (R). Giữa R và C/kg có mối liên hệ sau:

$$1\text{R} = 2{,}57976.10^{-4} \text{ C/kg hay } 1 \text{ C/kg} \approx 3876 \text{ R}$$

R là đơn vị trước đây hay dùng trong y học và phóng xạ sinh học. Rơnghen là liều chiếu của chùm photon khi nó chiếu vào 1cm^3 không khí (tức 1,293mg) ở điều kiện tiêu chuẩn sẽ tạo ra một số ion mà điện tích tổng cộng các ion cùng dấu là một đơn vị điện tích (tức là khoảng $2{,}09 \times 10^9$ cặp ion). Người ta còn gọi liều lượng chiếu là liều biểu kiến.

Suất liều lượng chiếu là liều chiếu trong một đơn vị thời gian:

$$P_c = \frac{\Delta D_c}{\Delta t}$$

Đơn vị của suất liều lượng chiếu là C/kg.s hay A/kg (Ampe trên kilôgam). Ngoài ra còn dùng các đơn vị R/s hoặc R/h.

Ta có thể tính được giá trị năng lượng hấp thụ từ 1R như sau:

$$2{,}09 \times 10^9 \times 34^{ev}/\text{cặp ion} = 7{,}1 \times 10^{10} \text{ eV}$$

http://tieulun.hopto.org

Trong 1g không khí sẽ là:

$$7{,}1\times10^{10}\text{eV}\times\frac{1000^{\text{mg}}}{1{,}293^{\text{mg}}}=5{,}4\times10^{13}\text{eV}=$$

$$5{,}4\ \text{x}\ 10^{13}\ \text{eV}\ =\ 87{,}7\text{erg}\ \approx\ 0{,}877\ \text{rad}$$

Trong 1g nước sẽ là:

$$5{,}4\ \text{x}\ 10^{13}\ \text{x}\ 1{,}12\ =\ 6{,}05\ \text{x}\ 10^{13}\ \text{eV}\ =\ 97{,}4\ \text{erg}\ \approx\ 1\text{rad}$$

1,12 là tỷ số điện tử trong 1g nước/1g không khí

Để áp dụng cho các hạt vi mô người ta dùng khái niệm đương lượng vật lý của Rơnghen: (Roentgen equivalent physical): REP. REP là liều lượng của bất cứ loại tia nào (photon hay hạt vi mô) làm cho 1g vật chất hấp thụ được một giá trị năng lượng như của chùm photon gây ra tức là 87,7 erg cho không khí ở điều kiện tiêu chuẩn hoặc 97,4 erg cho nước.

Trong phóng xạ sinh học người ta thấy các mô của cơ thể khi hấp thụ một giá trị năng lượng như nhau lại có những tác dụng sinh học khác nhau. Để diễn đạt sự khác nhau đó người ta dùng một khái niệm khác là hiệu ứng sinh học tương đối, viết tắt theo tiếng Anh là RBE (relative biological effectiveness). Từ đó lại nẩy sinh một khái niệm là đương lượng sinh học của Rơnghen viết tắt là REM (Roentgen equivalent man). REM là số năng lượng hấp thụ được trong 1g mô đủ tạo ra một hiệu ứng sinh học tương đương với hiệu ứng do 1R của bức xạ photon gây ra. Như vậy ta có:

$$\text{REM} = \text{RBE x REP (hay R)}$$

Ngày nay trong hệ SI đương lượng sinh học tính bằng Sievert (Sv). 1Sv = 100 REM

4.2. Xác định liều lượng bức xạ

Việc xác định liều lượng bức xạ có thể thực hiện bằng các phép đo lường chính xác hoặc bằng các phép tính lý thuyết.

Ở phần sau của chương này sẽ nói rõ các thiết bị ghi đo bức xạ cho phép đo lường chính xác liều lượng bức xạ. Trong phần này chỉ trình bày một vài phương pháp tính liều lượng bằng lý thuyết.

– Trường hợp nguồn bức xạ ion hoá ở ngoài cơ thể: Trong trường hợp này người ta chỉ chú ý đến liều chiếu do tia X, tia γ gây ra. Việc tính liều chiếu do tia X gây ra rất phức tạp, cần phải biết đến nhiều thông số kỹ thuật nên không được sử dụng trong thực tế. Ở đây chỉ trình bày cách tính liều chiếu do tia γ gây ra.

Đối với một nguồn phóng xạ phát tia gamma, để đặc trưng cho khả năng ion hóa vật chất của chùm tia gamma đó, người ta dùng hệ số ion hoá gamma (ký hiệu là Iγ). Iγ là suất liều lượng chiếu Pc của một nguồn điểm có hoạt độ phóng xạ q = 1 Ci ở tại điểm cách nguồn một khoảng r bằng 1m và khi mỗi phân rã phóng xạ phát

http://tieulun.hopto.org

ra 1 tia gamma; đơn vị đo Iγ là $Rm^2/Ci.h$. Như vậy, suất liều lượng P_c của một nguồn phóng xạ gamma có hoạt độ phóng xạ q (Ci) cho trước tại điểm cách nguồn r (m) là:

$$P_c = \frac{I_\gamma . q}{r^2}$$

Trong đó Pc tính bằng R/h.

Bảng 6.4.2 cho biết hệ số Iγ của một số đồng vị phóng xạ thường dùng.

Bảng 6.4.2

Đồng vị phóng xạ	Tp	Năng lượng tia (MeV)	Số tia cho 100 phân rã	Iγ
Na^{24}	15h	4,14	0,04	
		2,76	100	1,91
		1,38	100	
Cl^{38}	38 phút	2,15	47	0,71
		1,60	31	
K^{42}	12,5h	1,51	25	0,19
Cr^{51}	27,8 ngày	0,32	8	0,02
Fe^{59}	47 ngày	1,289	45	0,68
Co^{58}	71,3 ngày	0,81	100	0,56
		0,51	30	
Co^{60} 5,3 năm	1,33	100		
		1,17	100	
Br^{82}	35,9h	1,35	100	
		0,787	100	1,48
		0,547	100	
Ru^{86}	18,7 ngày	1,08	9	0,05
Tc^{99m}	6h	0,142	1,0	
		0,140	99	0,07
		0,002	99	
In^{113m}	112 phút	0,393	64,4	0,15
I^{125}	80 ngày	0,035	100	0,07
I^{131}	8 ngày	0,722	2,8	
		0,637	9,3	
		0,364	80,9	0,23
		0,284	6,3	
Xe^{133}	5,4 ngày	0,081	35,7	0,01
Au^{198}	2,7 ngày	1,091	0,5	
		0,680	1,0	0,23
		0,411	100	
Hg^{203}	47 ngày	0,279	78,8	0,13

http://tieulun.hopto.org

– Trường hợp nguồn bức xạ ion hoá lọt vào bên trong cơ thể. Trong trường hợp này cần chú ý đến liều lượng do các tia γ, tia $\beta^{\pm}$ và nhất là tia α gây ra. Các đồng vị phóng xạ α ít được sử dụng trong y học để đưa vào trong cơ thể nhằm mục đích điều trị. Nó chỉ có thể lọt vào cơ thể do ngẫu nhiên hoặc trong các tai nạn nguyên tử, vì vậy việc tính toán liều lượng do tia α ít được chú ý đến. Trường hợp các đồng vị phóng xạ vừa phát tia β, vừa phát tia γ, liều lượng do nó gây nên cho một tổ chức (hay cơ quan) nào đó của cơ thể là tổng của liều lượng do tia β (D_β) và liều lượng do tia γ (D_γ) gây ra cho cơ quan đó:

$$D = D_\beta + D_\gamma$$

Người ta sử dụng các công thức dưới đây để tính D_β, D_γ:

$$D_\beta = 73{,}8.C\bar{E}T_{hd}$$

$$D_\gamma = 0{,}0346C.\rho.g.I_\gamma.T_{hd}$$

Trong đó:

D_β,D_γ là liều lương hấp thụ tính bằng rad

C: nồng độ đồng vị phóng xạ trong tổ chức, tính bằng μCi/g

$\bar{E}$: năng lượng trung bình của tia β; tính bằng MeV.

ρ: mật độ vật chất của tổ chức.

g: thông số hình học của tổ chức.

Iγ: hằng số ion hoá của đồng vị phóng xạ

T_{hd}: chu kỳ bán rã hiệu dụng, tính bằng ngày, ta có:

$$\frac{1}{T_{hd}} = \frac{1}{T_p} + \frac{1}{T_{SV}} \qquad \text{do đó} \qquad T_{hd} = \frac{T_p.T_{SV}}{T_p + T_{SV}}$$

trong đó T_p : chu kỳ bán rã vật lý.

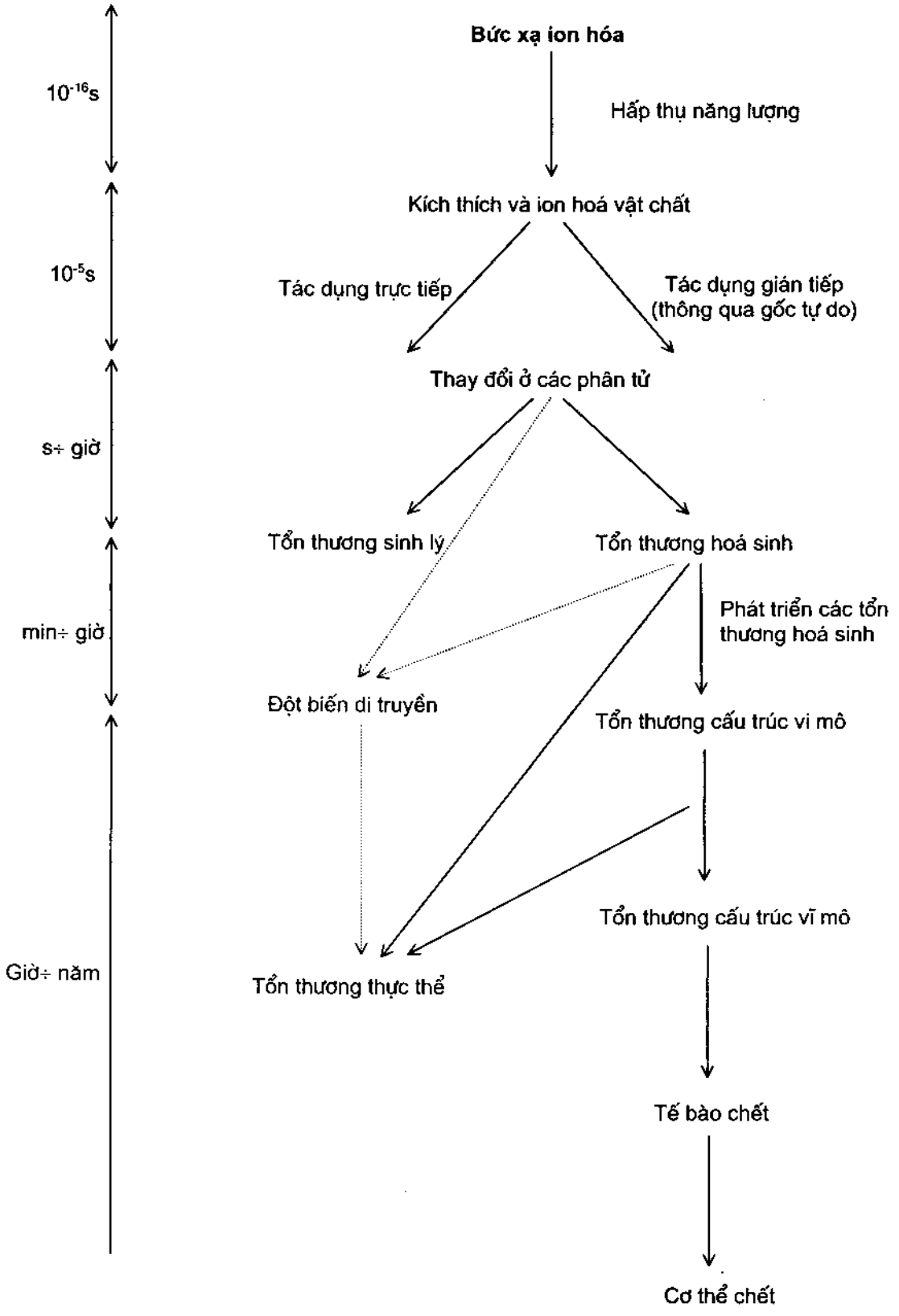
T_{SV}: chu kỳ bán thải sinh vật của đồng vị đối với tổ chức.

V. TÁC DỤNG SINH VẬT CỦA BỨC XẠ ION HOÁ

Đã từ lâu con người biết đến tác dụng của bức xạ ion hoá lên các tổ chức sinh học và những hậu quả của nó. Những hiểu biết sâu sắc về cơ chế tác dụng, các yếu tố ảnh hưởng đến hậu quả tác dụng đó làm cho con người có thể lợi dụng hoặc ngăn ngừa, hạn chế tác dụng sinh học do bức xạ ion hoá. Có thể tóm tắt các quá trình tác dụng đó theo sơ đồ dưới đây.

Ở các phần trên chúng ta đã khảo sát bản chất các hiện tượng vật lý trong quá trình tương tác giữa bức xạ và vật chất. Tuy nhiên quá trình truyền năng lượng của bức xạ lên tổ chức sinh học và gây tác dụng ở đó có những cơ chế phức tạp hơn. Hiện nay người ta vẫn cho rằng có hai cơ chế tác dụng của bức xạ ion hoá lên tổ chức sinh học.

http://tieulun.hopto.org



http://tieulun.hopto.org

1. Cơ chế tác dụng trực tiếp

Năng lượng của bức xạ trực tiếp chuyển giao cho các phân tử cấu tạo tổ chức sinh học mà chủ yếu là các đại phân tử hữu cơ. Năng lượng đó gây nên các quá trình kích thích và ion hoá các nguyên tử, phân tử. Tiếp theo là các phản ứng hoá học xảy ra giữa các phân tử mới tạo thành sau khi bị kích thích hoặc ion hoá. Hai giai đoạn này xảy ra rất nhanh trong khoảng phần ngàn mili giây. Các phân tử hữu cơ quan trọng bị tổn thương gây nên các tác dụng sinh học tiếp theo như tổn thương chức năng hoạt động, gây đột biến gen, huỷ diệt tế bào... Người ta có thể mô hình hoá các quá trình trên bằng sơ đồ sau đây:

$$\rightsquigarrow \quad AB \rightarrow AB^* \rightarrow AB + h\upsilon$$

$$\rightsquigarrow \quad AB \rightarrow AB^* \rightarrow A^* + B' \text{ hoặc } A' + B^*$$

Đó là kích thích phân tử. Năng lượng tia $\rightsquigarrow$ có thể truyền cho phân tử AB và đưa AB về trạng thái kích thích (AB^*). Ở trạng thái đó, phân tử AB^* dễ kết hợp với các phân tử khác tạo ra phản ứng hoá học mới hoặc chuyển giao năng lượng đã tiếp nhận được ($h\upsilon$) cho phân tử khác để trở về trạng thái ổn định ban đầu (AB).

Cũng có khi phân tử ở trạng thái kích thích AB^* bị phân ly thành các phân tử nhỏ hơn và cũng ở trạng thái kích thích (A^*, B^*), dễ gây các phản ứng hoá học mới và các phân tử mới với những động năng nhất định (A', B'), di chuyển trong môi trường.

Các phân tử bị ion hoá theo sơ đồ sau:

$$\rightarrow AB \rightarrow (AB)^+ + e$$

$$\swarrow \qquad \searrow$$

$$A^+, B' \text{ hoặc} \qquad B^+, A'$$

$$\text{Và} \quad AB + e \rightarrow (AB)^- \begin{cases} \nearrow A^-, B' \\ \searrow B^-, A' \end{cases}$$

Năng lượng tia ($\rightsquigarrow$) có thể ion hoá các phân tử hữu cơ tạo ra các ion âm hoặc dương (AB^+, AB^-). Các ion này dễ kết hợp với nhau hoặc tự phân ly thành các ion (A^+, B^+, A^-, B^-) và các phân tử nhỏ hơn với những động năng nhất định (A', B'). Các sản phẩm mới này dễ tạo ra các phản ứng hoá học mới với các phân tử hữu cơ khác trong tổ chức sinh học.

Các quá trình kích thích và ion hoá các nguyên tử, phân tử; các phản ứng hoá học xảy ra giữa các phân tử trước hết gây nên các tổn thương tại đó và sau có thể lan truyền ra các phân tử khác ở xung quanh.

Một trong những luận điểm chứng minh cho cơ chế tác dụng trực tiếp của bức xạ ion hoá lên tổ chức sinh học là thuyết "điểm nóng" Déseauer. Déseauer giải thích

http://tieulun.hopto.org

rằng năng lượng của bức xạ được hấp thụ tập trung vào những điểm rất nhỏ trong phân tử. Do vậy nhiệt độ tại điểm đó tăng cao làm cho cấu trúc phân tử bị phá huỷ. Các cấu trúc bị phá huỷ trước hết là các mạch nối giữa các phân tử carbon (C-C) hoặc giữa carbon và hydro (C-H). Để hiểu rõ hơn về lý luận đó chúng ta xét một ví dụ sau:

– Trọng lượng một phân tử hữu cơ là 15.000 đvnt, 1 đơn vị nguyên tử = 1,66 x 10^{-24}g. Vậy trọng lượng phân tử hữu cơ đó là:

$$15.000 \times 1,66 \times 10^{-24} = 2,5 \times 10^{-20}g$$

– Nếu năng lượng hấp thụ từ chùm tia là 100ev, lev = 1,6 x 10^{-19} Jun. Vì đương lượng nhiệt của Jun là 4,18 calo/Jun, cho nên:

$$100eV = \frac{100x1,6x10^{-19}}{4,18} = 3,8x10^{-18}\,calo$$

– Nhiệt độ tại chỗ được tăng lên là:

$$\frac{3,8x10^{-18}}{2,5x10^{-20}} = 150^0C$$

Trong nghiên cứu thực nghiệm người ta thường dùng đại lượng biểu diễn hiệu suất tác dụng trực tiếp G. Đó là tỷ số giữa số phân tử bị hư hại M và giá trị năng lượng E mà tổ chức sinh học hấp thụ được từ chùm tia chiếu vào:

$$G = \frac{M}{E}$$

Thông thường người ta quy về giá trị 100eV của E. Lúc đó ta có:

$$G = \frac{M}{100}$$

2. Cơ chế tác dụng gián tiếp

Tuy nhiên với lý thuyết cơ chế tác dụng trực tiếp người ta không giải thích được một số kết quả thực nghiệm và quan sát thực tế.

– *Ví dụ 1*: Liều chiếu toàn thân 500 - 1000r có thể gây tử vong ở người. Qua thực nghiệm người ta tính được rằng với liều hấp thụ 1 rad trong 1μm^3 ở mô chỉ có 2 phân tử hữu cơ bị tổn thương. Mỗi tế bào trung bình có khối lượng khoảng 500μm^3 và chứa khoảng 10^{12} phân tử hữu cơ. Vậy nếu hấp thụ 1 rad trong tế bào sẽ có khoảng 1000 phân tử bị tổn thương trực tiếp. Tỷ số đó rất nhỏ ($10^3/10^{12} = 1/10^9$) so với hậu quả thực tế (tử vong).

– *Ví dụ 2*: Thực nghiệm đã cho thấy là tác dụng sinh học còn phụ thuộc vào độ linh động của phóng xạ, vào hàm lượng nước, một số chất (oxy chẳng hạn) có trong tổ chức sinh học.

http://tieulun.hopto.org

Ta biết nước chiếm một tỷ lệ rất cao (70 đến 90%) trong các tổ chức sinh học. Vì vậy có thể coi tổ chức sinh học như một môi trường bao gồm các phân tử hữu cơ và nước. Do vậy có thể nghĩ rằng bên cạnh cơ chế tác dụng trực tiếp còn có một cơ chế khác không kém phần quan trọng với vai trò to lớn của các phân tử nước làm trung gian. Đó là lý thuyết cơ chế tác dụng gián tiếp của bức xạ ion hoá lên tổ chức sinh học.

Bức xạ ion hoá tác dụng lên các phân tử nước, gây nên những biến đổi ở đó tạo ra các sản phẩm hoá học mới là các ion dương hoặc âm (H_2O^-, H_2O^+, H^+, OH^-) và các phân tử ở trạng thái kích thích (H_2O^*, H^*, OH^*, HO_2^*, v.v...). Các sản phẩm mới này sẽ gây nên các phản ứng hoá học với các phân tử hữu cơ của tổ chức sinh học và làm biến đổi chúng. Như vậy năng lượng của chùm tia đã tác dụng lên các phân tử hữu cơ của tổ chức, gián tiếp thông qua phân tử nước có trong đó.

Lee là người đầu tiên đã làm nhiều thí nghiệm và chứng minh được các quá trình của cơ chế tác dụng gián tiếp. Có thể tóm tắt các quá trình đó bằng sơ đồ sau đây:

– *Kích thích phân tử nước:*

$$\longrightarrow H_2O \rightarrow H_2O^* \begin{cases} \nearrow H^* \\ \searrow OH^* \end{cases}$$

– *Ion hoá phân tử nước:*

Bức xạ làm bật điện tử của phân tử nước và biến nó thành ion dương $(H_2O)^+$.

$$\longrightarrow H_2O \rightarrow (H_2O)^+ + e$$

$$(H_2O)^+ \rightarrow H^+ + OH^*$$

Phân tử nước có thể nhận được một điện tử và trở thành ion âm $(H_2O)^-$

$$e + H_2O \rightarrow (H_2O)^- \begin{cases} \nearrow OH^- \\ \searrow H^* \end{cases}$$

Các phân tử ở trạng thái kích thích H^*, OH^* rất dễ kết hợp với nhau tạo ra các sản phẩm hoá học mới:

$$H^* + H^* \rightarrow H_2^*$$

$$OH^* + H^* \rightarrow H_2O^*$$

$$OH^* + OH^* \rightarrow H_2O_2$$

H_2O_2 là một hợp chất rất độc đối với các phân tử hữu cơ vì đó là một chất oxy rất mạnh. Trên thực tế lượng H_2O_2 được sản sinh ra nhiều hơn vì có các phản ứng sau đây nếu trong tổ chức có nhiều O_2:

http://tieulun.hopto.org

$$H_2O^* + O_2 \rightarrow OH^* + HO_2^*$$

hoặc:
$$H^* + O_2 \rightarrow HO_2$$
$$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$$

Nếu hàm lượng oxy trong môi trường càng nhiều thì lượng H_2O_2 được sản sinh càng lớn. Nếu trong nước có các chất hoà tan thì HO_2^* sẽ lấy điện tử của chất đó và biến thành HO_2^- rồi sau đó tương tác với H cũng để thành peroxyd.

$$HO_2^* + e^- \rightarrow HO_2^- + H^+ \rightarrow H_2O_2$$

Phần lớn các phân tử hữu cơ (RH) trong tổ chức bị phá huỷ bởi các phân tử H_2O_2. Ngoài ra các gốc tự do (phân tử, nguyên tử ở trạng thái kích thích) H^*, OH^* cũng dễ phản ứng với các phân tử hữu cơ gây nên những biến đổi tại đó và tạo ra thêm những gốc kích thích R^* và RO_2^* theo cơ chế sau đây:

$$RH + H^* \rightarrow R^* + H_2$$

và
$$RH + OH^* \rightarrow R^* + H_2O$$

Các gốc R^* bị kích thích cũng dễ gây ra các phản ứng hoá học mới làm cho số lượng các phân tử hữu cơ bị tổn thương tăng lên rất nhiều vì các phản ứng dây chuyền sau đây:

$$R^* + O_2 \rightarrow RO_2^*$$
$$RO_2^* + RH \rightarrow ROOH + R^*$$

Dựa vào lý thuyết này người ta hiểu được tác dụng lan truyền ra xa, tác dụng kéo dài sau khi chiếu xạ, tác dụng của hàm lượng nước, oxy trong môi trường chiếu và nhiều hiện tượng khác trong phóng xạ sinh học.

Trong cơ chế tác dụng của bức xạ ion hoá lên tổ chức sinh học, 2 lý thuyết tác dụng trực tiếp và tác dụng gián tiếp đều có giá trị quan trọng của nó. Ở mọi lúc, mọi chỗ, cả 2 cơ chế đó đều tồn tại nhưng tuỳ thuộc môi trường và điều kiện mà có lúc cơ chế này có vị trí và vai trò lớn hơn cơ chế kia. Hai cơ chế đó hỗ trợ cho nhau và giúp chúng ta hiểu được sâu sắc hơn bản chất của các quá trình phóng xạ sinh học, làm cho chúng ta hành động có hiệu quả hơn trong công tác thực tiễn.

3. Tổn thương do bức xạ ion hoá

3.1. Tổn thương ở mức độ phân tử

Trong các tổ chức sinh học có các phân tử vô cơ và hữu cơ nhưng quan trọng nhất là các đại phân tử hữu cơ. Các tổn thương ở phân tử hữu cơ là cơ sở đầu tiên gây nên tổn thương ở mức độ tế bào, mô và toàn cơ thể. Năng lượng của chùm tia được truyền trực tiếp hay gián tiếp cho các phân tử hữu cơ tại chỗ chiếu hay lan ra xa xung quanh. Như trên đã nói, bức xạ ion hoá có thể kích thích hoặc ion hoá các nguyên tử cấu tạo nên phân tử. Từ đó phá vỡ các mối liên kết, phân ly các phân tử, tạo ra các sản phẩm hoá học mới gây nên tổn thương lớn hơn và lan rộng hơn.

http://tieulun.hopto.org

Như vậy sau khi chiếu xạ, xuất hiện trong tổ chức sinh học các phân tử có trọng lượng phân tử nhỏ hơn, có cấu trúc khác bởi vì đã xảy ra sự phân ly, đứt đoạn các phân tử hữu cơ bị phá vỡ ở cấu trúc cấp 3, cấp 2 và thậm chí ở các mạch chính.

Biểu hiện của các tổn thương phân tử do chiếu xạ là:

– Giảm hàm lượng của một hợp chất hữu cơ nhất định nào đó sau chiếu xạ so với trước lúc chiếu xạ. Thông thường đó là các men sinh học (enzym), các protein đặc hiệu, các acid nhân v.v... Hàm lượng của các hợp chất bị giảm vì quá trình tổng hợp và sản sinh chúng bị kìm hãm hoặc do chúng bị phân huỷ trong quá trình chiếu xạ mà chủ yếu là do các nhóm chức hoá học như gốc amin (NH_2), carboxyl (COOH), gốc SH ... bị tách lìa khỏi cấu trúc của phân tử hữu cơ.

– Hoạt tính sinh học của các phân tử hữu cơ bị suy giảm hoặc mất hẳn do cấu trúc phân tử bị phá vỡ hoặc bị tổn thương. Ta biết mỗi phân tử hữu cơ có một cấu trúc nhất định. Cấu trúc đó quyết định chức năng hoạt động của nó. Bức xạ ion hoá tách rời hoặc phá huỷ các nhóm chức hoá học khỏi cấu trúc phân tử làm cho chúng không còn hoạt động sinh học đặc biệt nữa.

– Tăng hàm lượng một số chất có sẵn hoặc xuất hiện những chất lạ có trong tổ chức sinh học. Thông thường đó là những chất có hại, độc cho tổ chức sinh học. Đó là sản phẩm mới của sự phân huỷ các phân tử hữu cơ hoặc của các phản ứng hoá học mới xảy ra do chiếu xạ. Điển hình là H_2O_2, histamin v.v...

Các phân tử hữu cơ bị tổn thương, ảnh hưởng đến sự phát triển và hoạt động của tế bào, giảm khả năng hoạt động chức năng một số mô. Một trong những tổn thương phân tử ảnh hưởng đến chức năng sinh học quan trọng là tổn thương phân tử ADN. Sau khi bị chiếu xạ, phân tử ADN có thể bị tách bỏ hoặc bị phá huỷ gốc purin, pirimiđin, gốc NH_2, gốc đường v.v...

Nghiên cứu kỹ hơn người ta thấy bức xạ ion hoá có thể làm thay đổi các phản ứng sinh tổng hợp các base, ngưng quá trình nhân đôi các base, làm biến đổi cấu trúc hoặc tách các base ra khỏi khung ribophosphat của ADN. Bức xạ cũng làm đứt chuỗi polynucleotid, tạo ra các mảnh đứt của phân tử ADN. Từ đó tạo ra hiện tượng khâu mạch, tạo gel, sắp xếp lại thể nhiễm sắc. Như thế tổn thương có thể xảy ra ở các cấu trúc không gian của ADN kể cả cấu trúc bậc 1 và bậc 2 như đứt chuỗi polynucleotid, đứt liên kết phosphodieste và tạo ra các mối liên kết hoá học mới thông qua hiện tượng kết hợp chéo (cross linking). Tất cả các mạch nối hydro vị trí số 1 đến số 5 trong gốc đường đều có thể bị tổn thương.

Tóm lại khi bị chiếu xạ, phân tử ADN có thể bị 3 loại tổn thương sau đây:

– Tổn thương các base và các gốc đường.

– Gẫy các mạch nối đơn trong cấu trúc của ADN.

– Phá huỷ cấu trúc không gian của phân tử ADN.

Do phân tử ADN bị tổn thương nên có thể ảnh hưởng đến thuộc tính di truyền mà các phân tử ADN đó đảm nhiệm trong việc sản xuất các hợp chất sinh học cần thiết và đảm bảo việc chuyển các đặc tính di truyền khi phân bào.

http://tieulun.hopto.org

Với các phân tử protein, tác dụng của tia phóng xạ lại càng phức tạp. Nhiều biến đổi bên trong cấu trúc phân tử có thể xảy ra và rất khó phát hiện. Nhìn chung có những loại biến đổi sau đây do bức xạ ion hoá;

– Đứt gẫy mạch chính làm giảm trọng lượng phân tử protein.

– Khâu mạch: là sự chắp nối sai lệch các mảnh lại với nhau. Có hai loại khâu mạch: khâu mạch ngay bên trong một phân tử protein và khâu mạch giữa các phân tử trong hệ.

– Phá huỷ cấu trúc thứ cấp, cấu trúc không gian. Thông thường cấu trúc này duy trì được nhờ lực hoá trị của liên kết hydro. Bức xạ ion hoá có thể phá vỡ cấu hình này.

Biểu hiện của sự biến đổi các phân tử protein là thay đổi các tính chất hoá lý như độ dẫn điện, độ nhớt, trọng lượng phân tử, tính chất quang phổ, độ hoà tan v.v...

Trong các loại protein, men là đối tượng được quan tâm nhất vì men có ý nghĩa rất quan trọng trong hoạt động sinh học. Vì vậy nhiều nghiên cứu về phóng xạ sinh học tiến hành trên các loại men sinh học.

3.2. Tổn thương ở mức độ tế bào - Độ nhạy cảm phóng xạ

Khi các phân tử cấu tạo nên tế bào bị tổn thương do bức xạ thì hoạt động chức năng và đời sống tế bào bị ảnh hưởng.

Chức năng của tế bào bị ảnh hưởng trước hết phụ thuộc vào việc các phân tử hữu cơ nào đảm nhiệm chức năng hoạt động gì của tế bào bị tổn thương và năng lượng hấp thụ như thế nào để ảnh hưởng đến mức độ huỷ hoại.

Ta biết mỗi loại tế bào đều có một chức năng đặc hiệu. Sự mất chức năng đặc hiệu gắn với tổn thương những loại phân tử nhất định. Từ "Phân tử chủ chốt" (Key Molecules) dùng để chỉ đến những phân tử hữu cơ có trong tế bào quyết định hoạt động chức năng và đời sống tế bào. Nếu các phân tử đó bị thương tổn, chức năng tế bào bị rối loạn hoặc cả tế bào chết phụ thuộc vào giá trị năng lượng được hấp thụ. Người ta đưa ra giả thuyết tâm nhạy và còn gọi là thuyết đích (Target Theory). Các "phân tử chủ chốt" nằm ở tâm nhạy của tế bào. Ở đó tập trung mọi sự điều phối chức năng quan trọng nhất của tế bào, trong đó có chức năng sinh sản. Nếu tâm nhạy bị hư hại thì tế bào chết. "Phân tử chủ chốt" nhất là ADN. Nếu số lớn các phân tử ADN của tế bào bị tổn thương, khả năng sinh sản của tế bào bị hư hại.

Nhìn chung rối loạn chức năng của tế bào xảy ra với những liều lớn (hàng trăm Gray) với một ngoại lệ là chức năng sản xuất kháng thể của tế bào máu plasmocyt có thể xảy ra ở liều thấp hơn nhiều.

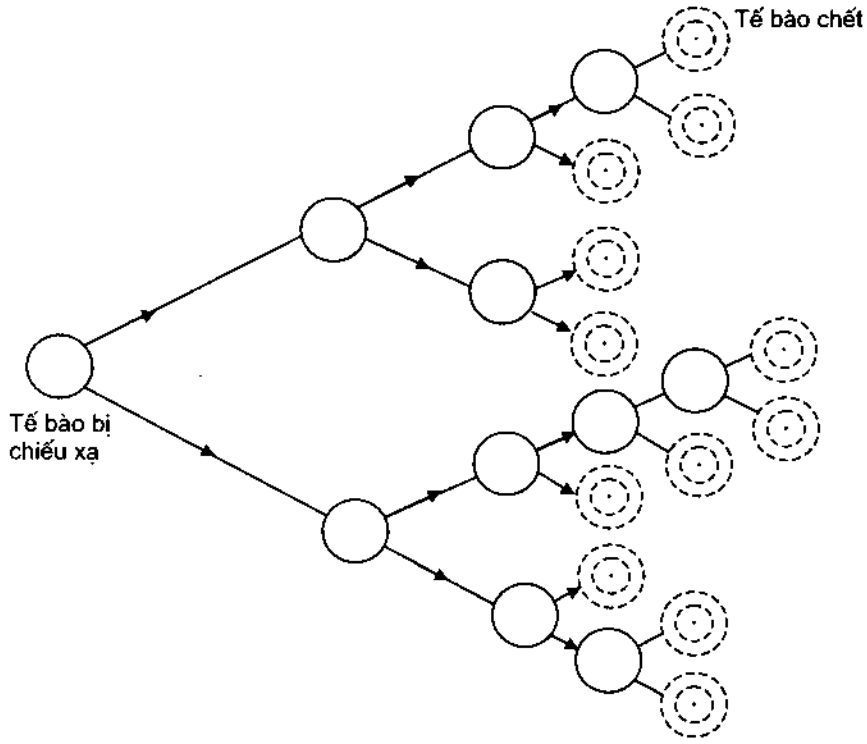
Rối loạn chức năng của tế bào cũng gắn với hiện tượng nhiễm độc tố mới được tạo ra do chiếu xạ hoặc các men tràn ra từ sự phá huỷ các tiểu vật trong bào tương.

Một trong những chức năng quan trọng của tế bào là chức năng sinh sản. Đó là khả năng phân chia tế bào để tạo ra các tế bào mới cho thế hệ sau. Khả năng đó có thể bị mất tạm thời (hồi phục được) hoặc vĩnh viễn dưới tác dụng của bức xạ ion hoá. Có 2 biểu hiện tổn thương chức năng sinh sản:

http://tieulun.hopto.org

– Sự phân bào bị chậm trễ: Thường chỉ là tạm thời (chỉ mấy chục giờ) xuất hiện khi liều hấp thụ khoảng vài centi Gray. Nguyên nhân là giai đoạn G_2 bị ách tắc và giai đoạn S bị kéo dài do quá trình tổng hợp AND bị suy giảm.

– Tế bào chết (celular death hoặc reproductive death): Với liều từ 1-2 Gy người ta đã quan sát thấy lúc đầu bị phân bào chậm trễ rồi sau đó tế bào mất khả năng phân chia (sinh sản). Sự mất khả năng phân bào này có thể xẩy ra ở ngay tế bào bị chiếu xạ hoặc ở 1 đến 2 thế hệ sau (Hình 6.5.1).



Hình 6.5.1

Những tế bào chết ngay có thể do bị tổn thương nặng ở nhân, ở các thể nhiễm sắc. Lúc này tế bào mất khả năng sản xuất các enzym cần thiết cho sự sống của nó và cho sự phân bào.

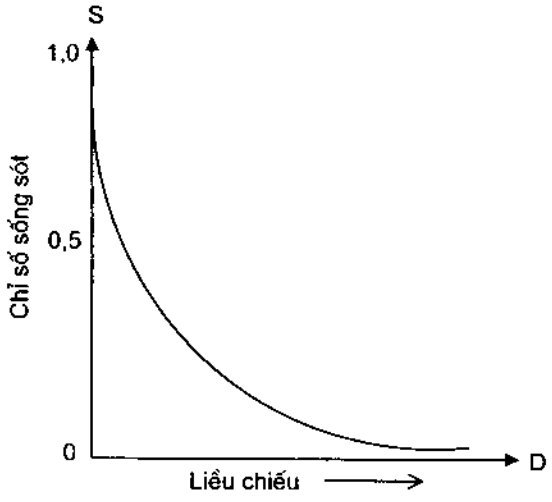
Nghiên cứu chức năng này với kỹ thuật in situ (cả một mô nguyên vẹn tách rời khỏi cơ thể) rất khó khăn vì các tế bào có tác dụng qua lại với nhau và khó quan sát. Trong phóng xạ sinh học người ta thường tiến hành thực nghiệm với các môi trường nuôi cấy nấm, vi sinh vật hoặc tế bào đơn lẻ (in vitro) hoặc trên các cơ thể sinh vật sống (in vivo).

Kỹ thuật in vitro được Luck tiến hành đầu tiên. Nuôi cấy các vi sinh vật trong môi trường đặc ở hộp pêtri rồi chiếu xạ với các liều khác nhau. Sau đó nhấc các khuẩn lạc sang môi trường lỏng thích hợp để thu được các vi sinh vật riêng lẻ. Nuôi cấy lại vào môi trường đặc trong hộp pêtri khác và đếm số lượng khuẩn lạc mới ở hộp petri này.

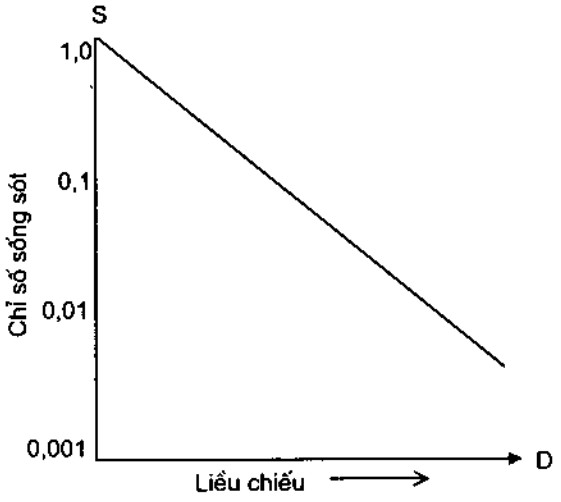
http://tieulun.hopto.org

Từ đó ta có thể tính được số lượng vi sinh vật sống sót sau khi chiếu các liều khác nhau.

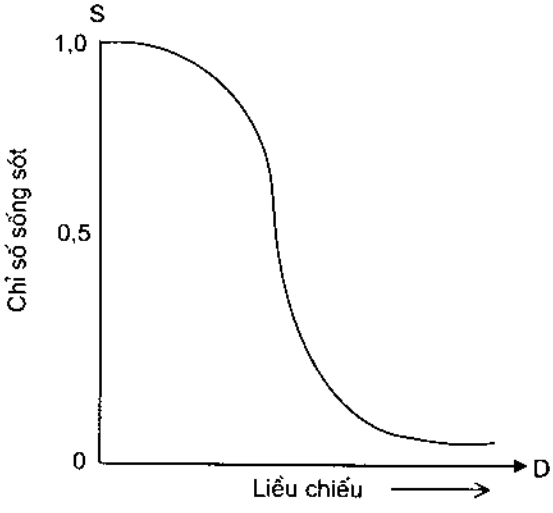
Đem biểu diễn các thông số đó trên toạ độ chúng ta được các đồ thị diễn tả ảnh hưởng các bức xạ lên khả năng phân bào hay còn gọi là tác dụng diệt bào của bức xạ.



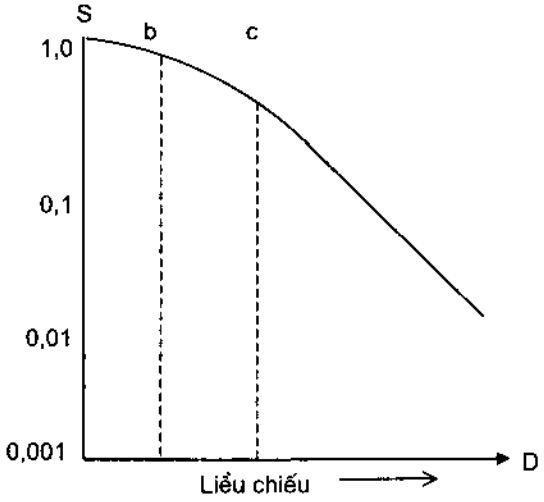
Hình 6.5.2a



Hình 6.5.2b



Hình 6.5.3a



Hình 6.5.3b

Hình 6.5.2a, b thu được từ các tế bào đơn bội, còn hình 6.5.3 a, b thu được từ các tế bào đa bội.

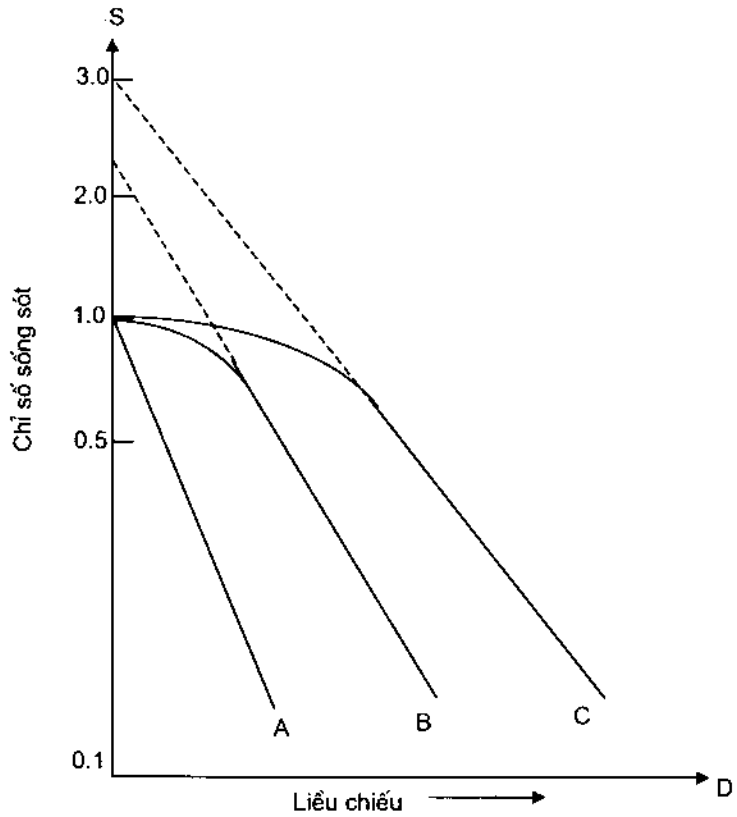
Hình 6.5.2a và 6.5.3a là biểu diễn trên trục toạ độ thông thường.

Hình 6.5.2b và 6.5.3b là trên trục toạ độ nửa lôgarit.

http://tieulun.hopto.org

Đồ thị thẳng thu được ở những tế bào đơn bội và chỉ có một tâm nhạy. Người ta quan niệm một sự ion hoá là một cú đánh. Nếu cú đánh trúng vào tâm nhậy và năng lượng hấp thụ đủ lớn sẽ gây ra cú "đột tử" (mort d'emblé). Ở tế bào lưỡng bội, đa bội, có nhiều tâm nhậy với liều thấp phần nằm ngang kéo dài hơn do ít có cú đột tử. Đột tử ở loại tế bào này chỉ xẩy ra khi tất cả các tâm nhạy đều bị tiêu diệt. Nếu các tâm nhạy không nhận đủ năng lượng hoặc không phải tất cả các tâm nhậy đều bị đánh trúng thì tế bào ở vào tình trạng "ngắc ngoải" (sublétale). Tình trạng ngắc ngoải tồn tại một thời gian rồi tế bào sẽ chết hoặc được phục hồi lại trong những điều kiện nhất định.

Mức độ tổn thương của tế bào cũng phụ thuộc vào vị trí tương đối so với tâm nhạy của vùng bị đánh.



Hình 6.5.4. Đường cong thực nghiệm thu được với các loại tế bào khác nhau:

A: Tế bào đơn bội, một tâm nhậy

B, C: Tế bào lưỡng bội, đa bội với nhiều tâm nhậy

Vì vậy đồ thị thu được ở loại tế bào này không thẳng mà có 3 đoạn: Đoạn đầu ở liều nhỏ đồ thị gần như nằm ngang, tiếp theo là đoạn uốn cong tạo hình dạng "bờ vai", đoạn thứ ba tương đối thẳng, rõ nhất ở các tế bào đa bội. Sở dĩ thế vì ở tế bào đơn bội chỉ có một tâm nhậy còn tế bào đa bội số tâm nhậy có thể là n (n là những số tự nhiên, nguyên, lớn hơn 1). Có thể dùng phương pháp ngoại suy trên đồ thị để

http://tieulun.hopto.org

xác định được số này (Hình 6.5.4) Có tác giả cho rằng vị trí tâm nhạy của một tế bào có thể thay đổi và hơn thế nữa số lượng tâm nhậy n của một tế bào cũng có thể thay đổi phụ thuộc vào giai đoạn sinh trưởng và điều kiện môi trường.

Do đó đồ thị thu được của tế bào đa bội thường có dạng sigmoid hoặc phức tạp hơn.

Khai thác đồ thị ta thu được các đặc điểm của các đoạn, độ nghiêng của đoạn thẳng (đoạn thứ 3) so với trục tung và cũng xác định được số tâm nhậy n của tế bào thực nghiệm.

Từ lý thuyết bia ta thu được các đặc điểm giữa tia và tế bào xẩy ra theo quy luật xác suất của các hiện tượng ngẫu nhiên đối với số đông. Xác suất đó tỷ lệ thuận với liều chiếu, mật độ và loại tế bào.

Vì vậy thuyết bia được áp dụng cho nhiều mô hình khác nhau.

1) Mô hình 1 tâm nhạy: Tế bào chết đột tử, chỉ 1 tâm nhạy bị đánh trúng là tế bào chết ngay.

Nếu gọi N_o là số tế bào ban đầu khi chưa chiếu xạ.

N là số tế bào còn sống sót sau liều D.

λdD là xác suất cho 1 tế bào 1 tâm nhạy có thể tương tác với liều vi phân dD. Tích phân hai vế lên ta có:

$$N = N_0.e^{-\lambda D} \quad \text{và} \quad S = \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda D}$$

S gọi là chỉ số tế bào sống sót.

Vậy liều dD có thể diệt chết 1 lượng tế bào dN như sau:

$$dN = N \times (\lambda.dD)$$

2) Mô hình n tâm nhậy: Tế bào chết dần (ngoắc ngoải) sau 1 lần bị đánh trúng. Người ta cho rằng ở các tế bào có n tâm nhạy, tế bào chỉ chết khi mỗi một tâm ít ra bị đánh trúng 1 lần.

Nếu $\frac{dD}{D_n}$ là xác suất đánh trúng 1 tâm nhạy với liều dD thì xác suất đánh trúng n tâm nhạy của tế bào đó với liều D sẽ là:

$$P_n = \left(1 - e^{-\frac{D}{D_n}}\right)^n$$

Vậy số tế bào sống sót sẽ có xác suất bù trừ là:

$1 - P_n$ và ta có chỉ số sống sót:

$$S = \frac{N}{N_0} = 1 - \left(1 - e^{-\frac{D}{D_n}}\right)^n$$

http://tieulun.hopto.org

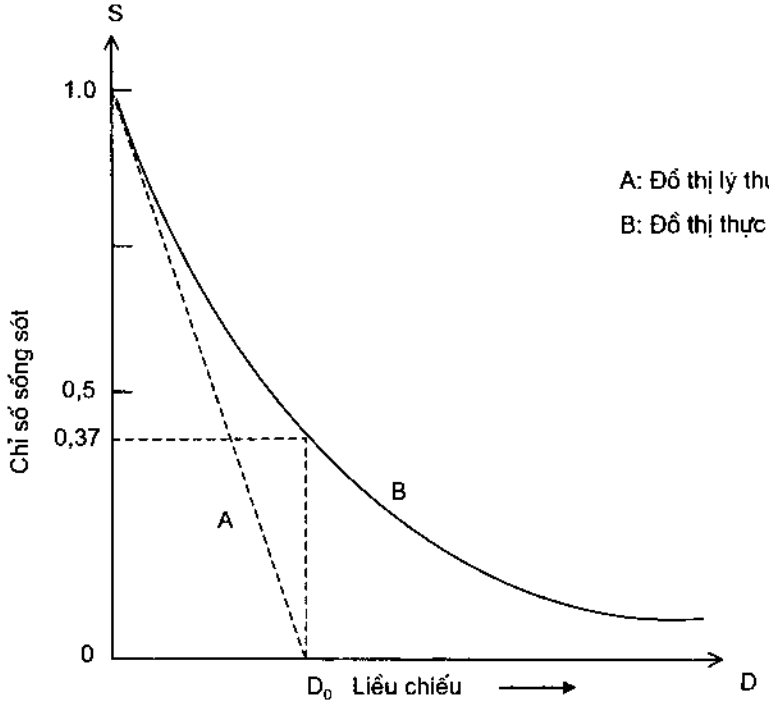
3) Mô hình hỗn hợp: 1 cú đột tử và n ngắc ngoải:

Tế bào chết nếu hoặc là bởi 1 cú đánh trúng vào tâm nhạy đột tử (liều đặc trưng là D_o) hoặc bởi sự tích luỹ n cú trên các tâm ngắc ngoải (liều đặc trưng là D_n). Như vậy ta sẽ có:

$$S = \frac{N}{N_0} = e^{-D/D_0} x\left[\left(1-\left(1-e^{-D/D_n}\right)^n\right)\right]$$

Mô hình này giải thích tốt cho các đường cong thực nghiệm thu được ở dạng Sigmoid phức tạp

Quay lại trường hợp đơn giản nhất, kết quả thực nghiệm được thể hiện ở hình 6.5.5. Trên trục nửa loga thông thường đồ thị thu được là thẳng (A) trong những điều kiện tối ưu. Trên thực tế nhiều lúc thu được là đường cong (B). Người ta gọi A là đồ thị lý thuyết và B là đồ thị thực tế. Như thế nghĩa là để tiêu diệt một lượng tế bào nào đó, trên thực tế phải dùng liều lớn hơn lý thuyết. Điều đó chứng tỏ có những tia đã không gây được tác dụng diệt bào. Ở các liều càng lớn sự chệch lệch đó càng lớn. Sở dĩ thế vì có những tia đã được hấp thụ vào vùng không phải tâm nhạy hoặc có những tia đã đánh lặp lại vào các tâm nhạy mà trước đó đã có tia khác tương tác rồi.



Hình 6.5.5

Từ đồ thị đơn giản nhất ở hình 6.5.5. ta xác định trị giá D_o hoặc còn có tên là D_{37} và độ nghiêng của nó. D_o là liều lý thuyết tìm được trên đồ thị mà với liều đó đáng lẽ ra tất cả các tế bào đều bị diệt nghĩa là số tế bào còn sống sau chiếu xạ là O.

http://tieulun.hopto.org

Nếu chiếu từ điểm đó kéo về đồ thị thực nghiệm thì ta thấy với liều đó vẫn còn khoảng 37% tế bào còn sống sót sau chiếu xạ. Vì vậy nó còn được gọi là D_{37}.

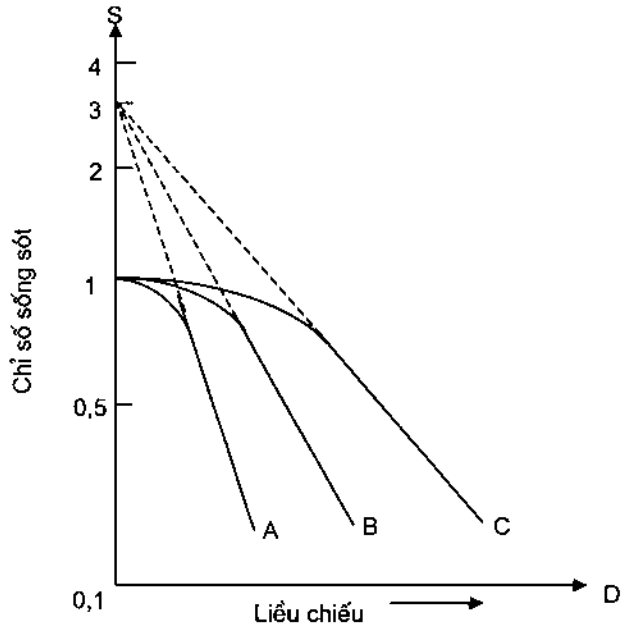
Giá trị D_o thay đổi tuỳ môi trường và điều kiện sinh lý của các tế bào bị chiếu xạ.

Như vậy giá trị D_o trên đồ thị lý thuyết hoặc D_{37} trên đồ thị thực nghiệm và độ nghiêng của đồ thị là thước đo mức độ nhạy cảm của tế bào đối với phóng xạ. Giá trị đó càng lớn nghĩa là càng phải dùng liều cao mới diệt được tế bào tức là độ nhậy cảm phóng xạ của tế bào đó càng thấp.

Độ nhạy cảm phóng xạ của tế bào nói lên mức độ mất khả năng sinh sản của tế bào nghĩa là mức độ bị huỷ diệt tế bào sau chiếu xạ. Nói một cách khác độ nhạy cảm phóng xạ của tế bào là khả năng đáp ứng của tế bào đối với tác dụng của tia phóng xạ. Nó ngược với sức đề kháng phóng xạ của tế bào. Giá trị của độ nhạy cảm và sức đề kháng phóng xạ là số nghịch đảo của nhau.

Độ nhạy cảm phóng xạ thường không cố định mà thay đổi tuỳ thuộc rất nhiều yếu tố.

Ngay từ năm 1906 trên cơ sở nghiên cứu bằng cách chiếu tia X, Bergonié, Tribondeau đã thấy "tác dụng của quang tuyến X càng lớn ở những tế bào phân chia càng mạnh, tương lại phân bào càng dài (nghĩa là càng xa giai đoạn cuối cùng của quá trình tái sinh sản tế bào) và cấu trúc, chức năng của chúng càng chưa cố định". Chính vì vậy mà các tổ chức ung thư (sinh sản mạnh, nhiều tế bào non có cấu trúc bất thường) có độ nhạy cảm phóng xạ cao hơn các tổ chức lành.

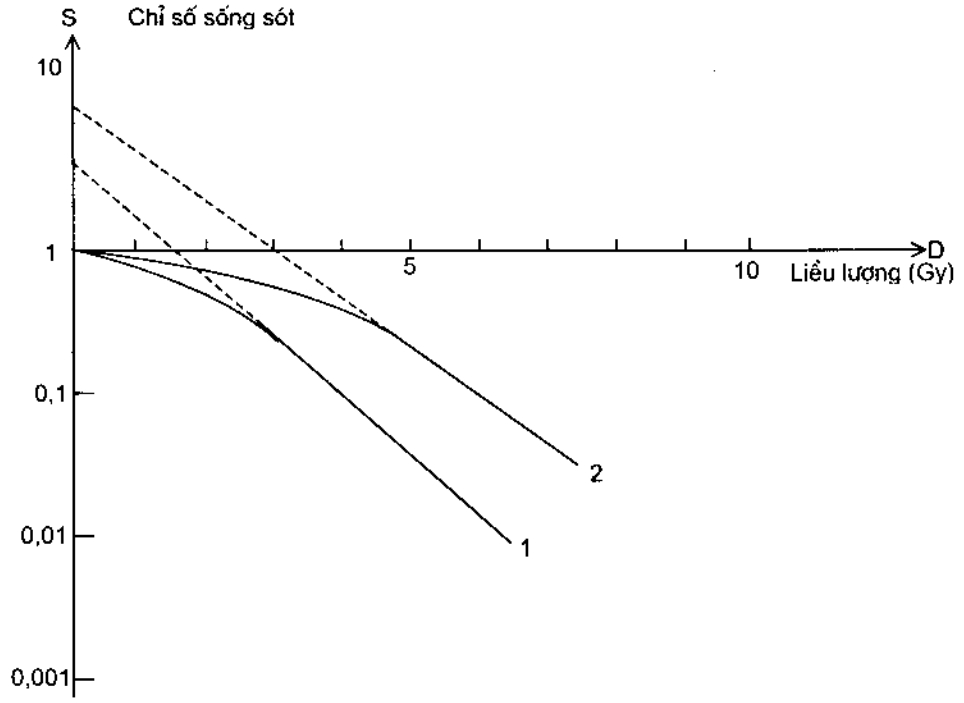


Hình 6.5.6

Hình 6.5.6. cho thấy 3 loại tế bào A, B, C tuy cùng có số tâm nhậy là 3 nhưng có độ nhậy cảm phóng xạ khác nhau (độ nghiêng khác nhau).

Có rất nhiều yếu tố ngoại cảnh ảnh hưởng đến độ nhạy cảm phóng xạ này như nhiệt độ, hàm lượng oxy và nhiều yếu tố khác.

http://tieulun.hopto.org



Hình 6.5.7. Ảnh hưởng của suất liều. Đường (1) thu được do chiếu tổng liều một lần. Đường (2) tổng liều chia hai cách nhau 10 giờ

– Ảnh hưởng của hàm lượng oxy đến độ nhạy cảm phóng xạ được gọi là hiệu ứng oxy. Hiệu ứng chỉ xảy ra khi nồng độ ôxy đạt đến một giá trị nhất định và sự tăng nồng độ oxy đó phải đồng thời với chiếu xạ. Lý thuyết tác dụng gián tiếp đã cho ta hiểu cơ chế tác dụng của oxy là tạo ra nhiều peroxyd H_2O_2. Độ lớn của hiệu ứng oxy (O_x) được đo bằng tỷ số 2 liều chiếu khi nồng độ oxy bình thường (D) và khi có nồng độ cao hơn (D_x) để đạt cùng một hiệu ứng nào đó:

$$O_x = \frac{D}{D_x}$$

Giá trị O_x thường là 2 - 3 đối với động vật có vú khi bị chiếu xạ X hoặc tia gamma. Tuy vậy hiệu ứng oxy không còn thay đổi nữa khi nồng độ oxy đạt đến giá trị nhất định.

– Bản thân giá trị LET của bức xạ cũng ảnh hưởng đến hiệu ứng oxy và trực tiếp ảnh hưởng đến độ nhạy cảm phóng xạ. Người ta thấy với những tia có giá trị LET yếu của các photon, năng lượng được chuyển giao dọc theo quỹ đạo của chúng thấp nên khả năng đánh chết tâm nhạy rất hạn chế. Đồ thị thu được có dạng sigmoid.

Với những bức xạ có giá trị LET cao (các hạt vi mô), năng lượng hấp thụ rất lớn, dọc theo quỹ đạo của chúng có nhiều ion được tạo ra cho nên khi xuyên qua tế bào chúng dễ tương tác với tất cả các tâm nhạy và tế bào chết dễ dàng giống như nó

http://tieulun.hopto.org

chỉ có 1 tâm nhạy. Do đó đồ thị thu được cũng có dạng đơn giản như tế bào một tâm nhạy. Từ đó có khái niệm hệ số chất lượng tia (QF).

Hệ số chất lượng tia: (qualitive factor: QF):

Giá trị các liều lượng có thể không tương đồng với hiệu ứng sinh học của chùm tia. Hiệu ứng sinh học phụ thuộc trước hết vào số lượng các ion được tạo ra trong tổ chức mà tia đi qua. Có cùng một giá trị năng lượng nhưng mật độ ion hoá của tia α lớn hơn tia β nên tác dụng sinh học chùm α lớn hơn β. Hệ số QF phụ thuộc trước hết đến giá trị LET đó.

Giá trị QF được đo bằng tỷ số liều hấp thụ 1 chùm tia nào đó có một giá trị LET xác định chia cho liều hấp thụ của tia X có giá trị LET là 3,5 KeV/1μm quỹ đạo của nó ở trong nước (Bảng 6.5.1 và 6.5.2).

Bảng 6.5.1. Mối tương quan giữa giá trị QF và LET

LET (keV/μg quỹ đạo trong nước)	QF
3,5	1
3,5 – 7,0	1 – 2
7,0 – 23	2 – 5
23 – 53	5 – 10
53 - 175	10 - 20

Bảng 6.5.2. Mối tương quan giữa giá trị QF và loại bức xạ ion hoá

Loại bức xạ	Giá trị QF
Tia X, γ và	
Tia β có E_{max} > 30 KeV	1
Tia β có E_{max} < 30 KeV	1,7
Proton có E = 10 MeV và tia α	10
Các hạt nặng, tích điện	20
Nơtron nhiệt	3
Nơtron có năng lượng:	
5 KeV	2,5
20 KeV	5
100 KeV	8
500 KeV	10
1 MeV	10,5
5 MeV	7
10 MeV	6,5

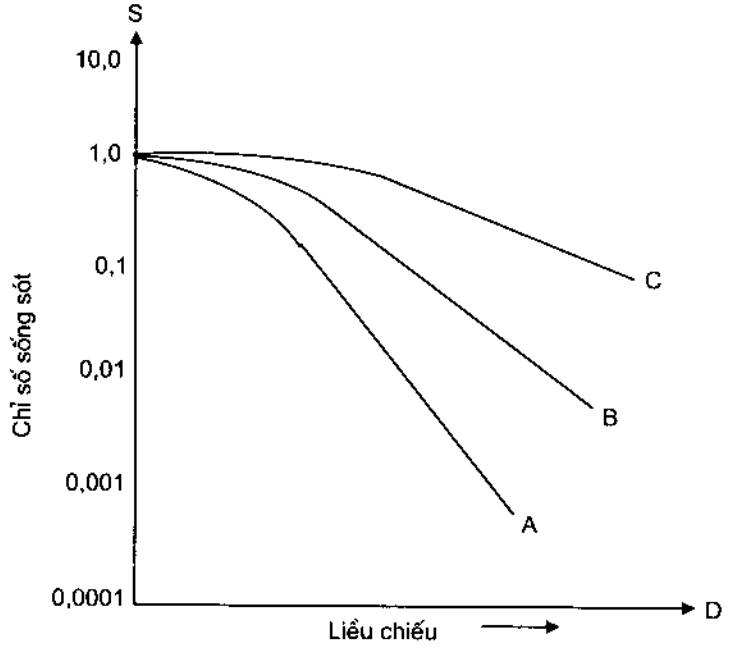
http://tieulun.hopto.org

Từ đó có khái niệm liều tương đương (D_q) bao gồm các yếu tố RBE, LET và sự phân bố liều trong không gian. Người ta thấy:

$$D_q = DxQF \qquad D_q \text{ được đo bằng J/kg = 1SV (Sivert)}$$

Trong đó D là liều hấp thụ tính bằng Gy

Đường D_q được xác định trên đồ thị bằng cách kẻ một đường nằm song song với trục hoành, xuất phát từ điểm 1 trên trục tung (hình 6.5.7).



Hình 6.5.8. Ảnh hưởng của suất liều đến độ nhạy cảm phóng xạ

A: Được chiếu với suất liều cao nhất

C: Với suất liều thấp nhất

– Chức năng sinh sản của tế bào cũng chịu ảnh hưởng của cách chia liều và tốc độ chiếu (lưu lượng chiếu).

Tiến hành thực nghiệm với hai tập hợp các tế bào như nhau được chiếu xạ trong những điều kiện giống nhau và với cùng một liều tổng cộng D, nhưng nếu liều D được chia thành nhiều liều nhỏ với khoảng cách thời gian khác nhau ta thu được các đồ thị khác nhau như trong hình 6.5.7.

Đồ thị 1 thu được khi chiếu một lần với liều D. Đồ thị 2 thu được khi chia D làm hai liều nhỏ cách nhau 10 giờ. Người ta cho rằng đã có sự hồi phục ở thời gian cách quãng giữa 2 lần chiếu của các tế bào bị các "cú ngắc ngoải".

http://tieulun.hopto.org

Nếu cũng liều D được chiếu liên tục nhưng lưu lượng chiếu (tốc độ chiếu) yếu hơn (thời gian chiếu kéo dài hơn) thì kết quả cũng sẽ khác. Nếu tốc độ rất yếu, khả năng hồi phục của các tâm nhạy đã bị "ngắc ngoải" nhanh hơn, khả năng đánh trúng tiếp của tia nhỏ hơn, nên số lượng tế bào chết sẽ ít hơn.

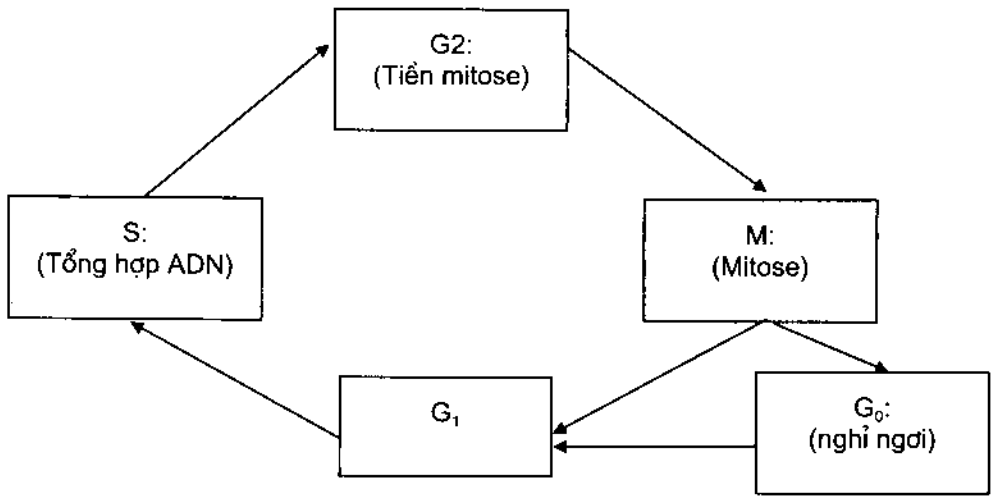
Như vậy hiển nhiên suất liều có ảnh hưởng đến hiệu ứng diệt bào của tia. Suất liều càng nhỏ đồng thời thời gian cách quãng giữa các lần chiếu càng dài thì hiệu ứng càng bé.

Hình 6.5.8. cho thấy ảnh hưởng của suất liều đến độ nhậy cảm phóng xạ. Đồ thị A thu được khi chiếu với suất liều cao nhất, đồ thị C thu được khi chiếu với suất liều thấp nhất. Độ nghiêng của các đồ thị A, B, C khác nhau và giá trị của n (tâm nhạy) bằng ngoại suy cũng sẽ giảm dần từ đồ thị A đến C.

– Ngoài những yếu tố khách quan đó (liều lượng, suất liều, giá trị LET, nồng độ oxy, nhiệt độ, cách chiếu, và thời gian cách quãng) một yếu tố quan trọng nữa ảnh hưởng đến hiệu ứng diệt bào là giai đoạn sinh trưởng của tế bào. Nhìn chung trong một tập hợp nhiều tế bào, các tế bào không ở cùng một giai đoạn sinh trưởng như nhau cho nên độ nhạy cảm phóng xạ của chúng cũng khác nhau.

Thực nghiệm cho thấy hiệu ứng sinh học của bức xạ ion hoá tuỳ thuộc không những vào loại tế bào mà còn phụ thuộc vào việc bức xạ tác dụng vào giai đoạn nào của quá trình phân bào.

Để hiểu rõ vấn đề này ta nhắc lại các giai đoạn của sự phân bào.



Hình 6.5.9

Hình 6.5.9 cho thấy các giai đoạn của đời sống tế bào:

- G_o: là giai đoạn tế bào nghỉ.
- G_1: Giai đoạn biệt hoá, thời gian kéo dài rất khác nhau tuỳ loại tế bào.
- S: Giai đoạn tế bào tổng hợp các ADN và thường kéo dài khoảng từ 10-20 giờ.
- G_2: Giai đoạn tiền phân bào (prémitose), khoảng 2 - 4 giờ.

http://tieulun.hopto.org

– M: Phân bào (mitose) khoảng 1 giờ và sản sinh ra tế bào thế hệ sau:

Tế bào ở các giai đoạn G_1, khởi đầu của giai đoạn S, giai đoạn G_2 và M rất nhạy cảm và có độ nhạy cảm giống nhau. Ở cuối giai đoạn S và giai đoạn G_o độ nhậy cảm phóng xạ của tế bào kém hơn, có khi kém đến 10 lần.

3.3. Tổn thương ở các mô

Sự hư hại của nhiều tế bào có thể dẫn đến tổn thương ở mô. Tổn thương mô do bức xạ bị ảnh hưởng bởi rất nhiều yếu tố mà trước hết là do độ nhậy cảm phóng xạ của từng loại mô cũng khác nhau. Có thể chia ra 5 loại mô có nhậy cảm phóng xạ khác nhau:

– Rất nhạy cảm: Tuỷ xương, tổ chức lympho, tổ chức sinh dục, niêm mạc ruột

– Nhạy cảm vừa: da và niêm mạc của các tạng

– Nhạy cảm trung bình: mô liên kết, mao mạch, sụn xương.

– Nhạy cảm thấp: xương, các phủ tạng, tuyến nội tiết.

– Rất ít nhạy cảm: Cơ bắp, các nơron thần kinh

Sau đây là mô tả tổn thương của một số mô đặc biệt

– *Máu và cơ quan tạo máu:*

Hình ảnh tuỷ đồ rất sớm thay đổi do nhiễm xạ và sau đó là sự thay đổi số lượng các tế bào ở máu ngoại vi. Ở tuỷ đồ trước hết người ta quan sát thấy sự sụt giảm dòng hồng cầu, tiếp theo là bạch cầu đa nhân. Ở máu ngoại vi sự thay đổi lại xảy ra ngược lại. Đầu tiên là giảm lượng dòng bạch cầu nhất là lymphocyt, tiếp theo là bạch cầu đa nhân, tiểu cầu rồi đến hồng cầu.

Với liều hấp thụ toàn thân 6 Gy đã có những thay đổi khó chữa dẫn đến tử vong do biến chứng. Nhiễm liều 2 - 6 Gy đòi hỏi phải chữa chạy tích cực kể cả ghép tuỷ. Sự suy giảm các tế bào máu gây nên bệnh cảnh suy tuỷ: giảm tế bào máu (xanh, yếu), giảm sức đề kháng của cơ thể, dễ xuất huyết v.v...

Khả năng hồi phục tuỷ xương do điều trị phụ thuộc vào cách điều trị và liều lượng đã hấp thụ từ chùm tia.

– *Bào thai:* Một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến mức tổn thương ở các mô bào thai là tuổi của nó. Tuỳ giai đoạn phát triển của bào thai khi bị chiếu xạ mà các loại thương tổn xảy ra khác nhau: bào thai chết, quái thai, dị tật bẩm sinh, ảnh hưởng sự phát triển của thai nhi.

Tất nhiên liều lượng cũng là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến loại tổn thương kể trên.

– *Các mô sinh dục:* Bức xạ ion hoá có thể tiêu diệt các tế bào sản sinh ra tinh trùng ở mô sinh dục nam. Người ta thấy với liều 5 - 6 Gy đã có thể gây nên chứng vô sinh ở nam giới.

http://tieulun.hopto.org

Liều LD_{50} đối với các nang ở buồng trứng là 0,1 Gy. Ngoài việc tiêu diệt các tế bào ở buồng trứng gây vô sinh nữ, tác dụng sinh học của tia phóng xạ có thể gây nên các rối loạn hormon của các tế bào buồng trứng và biểu hiện bằng rối loạn kinh nguyệt.

– *Da và niêm mạc:*

Tổn thương da và niêm mạc thường xuất hiện sau một thời kỳ tiềm tàng độ 2 - 3 tuần. Hay gặp nhất là các viêm đỏ da và niêm mạc. Tiếp theo đó là viêm da khô, loét. Trong viêm khô, da bị teo, bóng, khô vì ít tiết mồ hôi và biến đổi màu sắc vì tích nhiều sắc tố trên bề mặt da. Trong viêm ướt, các tổ chức da bị loét, có thể bị nhiễm trùng và hoại tử tổ chức xuống các mô sâu hơn. Các tổn thương ở da rất phụ thuộc vào liều lượng. Liều lượng một lần 10 Gy gây viêm đỏ da, liều 15 Gy gây viêm khô và liều 30 Gy gây hoại tử da.

Tuỳ vị trí các niêm mạc bị tổn thương mà có các triệu chứng khác nhau: niêm mạc dạ dày, ruột, đường hô hấp v.v... Trong niêm mạc thường có tuyến bài tiết. Tổn thương niêm mạc làm ảnh hưởng đến việc sản sinh các dịch do các tuyến đảm đương như các dịch ở dạ dày, ruột. Với liều lớn (25 - 45 Gy) có thể gây ra các vết loét ở dạ dày, ruột đòi hỏi phải điều trị ngoại khoa.

Một điều đáng lưu ý là tổn thương viêm loét giác mạc mắt, đục thuỷ tinh do tia phóng xạ gây nên hậu quả mù loà cho người bị chiếu xạ.

3.4. Tổn thương toàn thân

Độ nhạy cảm phóng xạ của các loài sinh vật cũng khác nhau và tuỳ thuộc vào cấu trúc và mối liên hệ với môi trường sống của nó. Sinh vật đơn bào có độ nhạy cảm thấp nhất. Độ nhạy cảm phóng xạ của động vật cao hơn thực vật. Trong cùng một loài, độ nhạy cảm của từng cá thể cũng khác nhau và thay đổi tuỳ theo giai đoạn phát triển của nó. Lúc còn non, lúc sinh đẻ, lúc bị bệnh thì tính cảm thụ cao hơn lúc trưởng thành, lúc khoẻ mạnh.

Con người là sinh vật cao cấp nhất có cấu trúc phức tạp và mối liên hệ chặt chẽ nhất với môi trường xung quanh so với các loài sinh vật khác. Vì vậy độ nhạy cảm phóng xạ của con người là cao nhất.

Khi cơ thể bị chiếu toàn thân với một liều lớn hoặc nhiều liều nhỏ nhưng liên tiếp, có thể dẫn đến bệnh nhiễm xạ cấp. Các triệu chứng lâm sàng cấp tính xuất hiện với những thể khác nhau. Những biểu hiện đó trước hết phụ thuộc vào hai yếu tố sau đây:

– Sự phân bố không gian về liều lượng trong cơ thể, liều hấp thụ tổng cộng và suất liều vào cơ thể.

– Những đặc điểm của môi trường và cơ thể bị chiếu: tuổi, giới, tình trạng sức khoẻ. v.v...

Biểu hiện toàn thân của tổn thương do bức xạ được gọi là bệnh nhiễm xạ cấp hoặc mãn. Bệnh nhiễm xạ cấp có nhiều hình thái khác nhau phụ thuộc trước hết vào liều lượng. Bảng 6.5.3 cho biết các thể khác nhau đó của bệnh nhiễm xạ cấp.

http://tieulun.hopto.org

Bảng 6.5.3. Các thể lâm sàng của bệnh nhiễm xạ cấp

Thể lâm sàng	Liều hấp thụ (Gy)	Triệu chứng	Hậu quả
Thể tuỷ xương nhẹ	2,0 – 4,0	Buồn nôn, nôn. Giảm nhẹ số lượng các tế bào máu	Bệnh phát 3 tuần sau khi bị chiếu
Thể tuỷ xương nặng	4,0 – 6,0	Suy giảm tế bào máu. Nôn mửa. Ỉa chảy	Đòi hỏi điều trị tích cực kể cả ghép tuỷ xương
Thể tiêu hoá	6,0 – 10,0	Nôn mửa, ỉa chảy, xuất huyết	Choáng và có thể chết sau vài tuần.
Thể thần kinh	≥ 10,0	Viêm da cấp. Rối loạn định hướng, choáng.	Chết sau vài ngày

Tuy nhiên bệnh nhiễm xạ cấp có thể phát triển thành 4 giai đoạn:

– Giai đoạn khởi phát: thường kéo dài 1 - 2 ngày đầu.

– Giai đoạn tiềm ẩn: Hệ thần kinh sau khi bị kích thích chuyển sang trạng thái ức chế. Các biểu hiện ở giai đoạn khởi phát có thể lắng xuống. Giai đoạn này có thể kéo dài vài tuần.

– Giai đoạn toàn phát: Các triệu chứng bộc lộ ồ ạt, đầy đủ với các thể lâm sàng rõ. Nếu không được chữa chạy sẽ có các hậu quả xấu.

– Giai đoạn phục hồi: Do sức đề kháng của cơ thể. Nếu ở thể nhẹ hoặc do điều trị có thể hồi phục hoàn toàn hoặc để lại di chứng.

Trong thực tế rất khó xác định bệnh nhiễm xạ mãn. Thể bệnh này thường gặp ở những người phải tiếp xúc thường xuyên với các chất phóng xạ do nghề nghiệp hoặc do điều trị, nghĩa là bị chiếu với những liều nhỏ và kéo dài. Sự nhiễm xạ có thể xảy ra do bị chiếu từ ngoài vào cơ thể hoặc nhiễm các chất phóng xạ vào bên trong.

Tổn thương có thể xuất hiện sớm hoặc rất muộn, có thể xuất hiện toàn thân hoặc ở một phủ tạng nào đó trong cơ thể. Biểu hiện toàn thân của bệnh nhiễm xạ mãn bao gồm các thể lâm sàng về máu (kể cả bệnh bạch huyết) về hệ tiêu hoá, ung thư, giảm tuổi thọ và tổn thương di truyền.

Bệnh nhiễm xạ mãn có thể diễn biến thành 3 giai đoạn:

– Giai đoạn 1: Xuất hiện các triệu chứng không đặc hiệu như mệt mỏi, nhức đầu, yếu, dễ bị kích thích. Xét nghiệm máu có thể có những thay đổi nhưng không nhiều như tăng hoặc giảm bạch cầu, tăng hồng cầu lưới, giảm tiểu cầu ở mạch ngoại vi.

Nếu lúc này phát hiện kịp thời, ngừng tiếp xúc với phóng xạ thì có thể nhanh chóng hồi phục sức khoẻ.

– Giai đoạn 2: Các triệu chứng chủ quan và các thay đổi ở công thức máu tăng lên. Có thể xuất hiện các tổn thương ở da và niêm mạc.

– Giai đoạn 3: Xuất hiện các thể lâm sàng rõ như xuất hiện bệnh máu trắng, đục thể thuỷ tinh, suy tuỷ xương, rối loạn kinh nguyệt và giảm khả năng sinh sản, viêm loét da và niêm mạc, ung thư.

http://tieulun.hopto.org

Đối với tác dụng của tia phóng xạ lên toàn cơ thể không thể không nói đến tác dụng gây ung thư. Ung thư có thể xuất hiện sớm hoặc muộn sau khi chiếu xạ, gây ra do bị chiếu một liều lớn hoặc do tác dụng của nhiều liều nhỏ nhưng lặp đi lặp lại. Trong thực tế người ta đã quan sát thấy những bệnh nhân bị ung thư do nghề nghiệp như ung thư da ở bác sĩ chuyên khoa X quang, ung thư phổi ở những người làm việc ở hầm mỏ, ung thư xương ở những người dùng bột vẽ có chứa phospho phóng xạ. Bệnh máu trắng là một thể lâm sàng của bệnh ung thư hay gặp do bức xạ ion hoá gây ra do các vụ tai biến hạt nhân (Trecnôbul chẳng hạn), các vụ nổ hạt nhân do bom nguyên tử ở Nhật Bản trong đại chiến thế giới lần thứ 2.

Về cơ chế gây ung thư nói chung, hiện nay tồn tại 2 giả thuyết: Giả thuyết về đột biến gen và giả thuyết về virus. Tia phóng xạ có thể đã tăng xác suất đột biến gen trong tế bào bị chiếu xạ hoặc đã kích thích tác dụng gây ung thư của các virus đặc hiệu tại đó. Rất khó xác định liều lượng gây ung thư trong thực tế. Tuy vậy hầu như mọi người đều nhấn mạnh đến đặc điểm tồn tại một giai đoạn ung thư tiềm tàng chưa phát ra ngoài. Giai đoạn đó có thể kéo dài đến 30 năm. Riêng đối với bệnh máu trắng giai đoạn tiềm tàng thường ngắn hơn.

Trường hợp ung thư đầu tiên do nhiễm xạ được mô tả từ năm 1902, 7 năm sau khi phát minh ra tia X. Sau đó là hàng trăm trường hợp ung thư da do tia X được phát hiện. Tuy nhiên mối tương quan giữa liều lượng tia và sự xuất hiện ung thư da chưa được xác định.

Ngoài ra bức xạ cũng gây ra ung thư xương (osteo - fibrosarcoma) cho những người tiếp xúc với Radi - 226 và ung thư phổi do dùng Radon - 222.

Từ năm 1911 người ta đã nói đến bệnh máu trắng ở những người làm việc với tia X do lúc đó việc bảo đảm an toàn phóng xạ chưa được chú ý. Tuy nhiên, các công trình nghiên cứu cho thấy tỷ lệ bệnh bạch huyết tăng tỷ lệ với liều hấp thụ tuy chưa xác định được liều ngưỡng cho sự xuất hiện bệnh này ở con người kể cả bạch huyết cấp và mãn. Người ta vẫn quan niệm rằng bệnh bạch huyết xuất hiện gắn liền với việc xạ nhiều đến tuỷ xương.

Gần đây người ta cũng nói đến khả năng xuất hiện bệnh bạch huyết ở trẻ em do người mẹ mang thai bị chiếu xạ. Liều hấp thụ có thể gây bệnh đó là 0,02 - 0,05 Gy cho bào thai. Như vậy liều lượng gây bệnh bạch huyết đối với bào thai nhỏ hơn 10 lần so với trẻ em đã được đẻ ra.

4. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu ứng sinh học của bức xạ ion hoá

4.1. Ảnh hưởng của bản chất và năng lượng tia

Tác dụng sinh học của chùm tia phụ thuộc vào số lượng các cặp ion hoá được tạo ra trong tổ chức sinh học khi tương tác. Khả năng ion hoá đó tuỳ thuộc loại tia (bản chất tia): tia X, tia gamma, bêta, anpha và vào năng lượng của tia. Trong vật lý học, đại lượng truyền năng lượng tuyến tính LET: (linear energy transfer) diễn đạt khả năng ion hoá của tia phóng xạ. Giá trị LET càng lớn thì số ion được tạo ra càng nhiều, tác dụng sinh học của tia càng lớn.

Các giá trị ở bảng 2 cho ta thấy rõ tác dụng của các loại tia phóng xạ vào hiệu ứng sinh học.

http://tieulun.hopto.org

Bảng 6.2. Ảnh hưởng của bản chất và năng lượng tia vào tác dụng sinh học

Loại tia phóng xạ (KeV/μm)	Giá trị LET	Tác dụng sinh học
Tia gamma từ nguồn ^{60}Co	0,3	Thấp ↓ Cao
Tia bêta 0,6 KeV	5,5	
Chùm hạt nơtron	45,0	
Chùm hạt anpha	110,0	

Ngoài ra các loại tia phóng xạ khác nhau lại có khả năng xuyên sâu qua tổ chức khác nhau. Tia gamma và tia X có thể tác dụng vào các tổ chức sâu trong lúc đó tia bêta, anpha chỉ có tác dụng ở các tổ chức nông.

Cùng một loại tia, nhưng năng lượng tia càng lớn thì khả năng xuyên sâu càng nhiều và giá trị LET của nó càng lớn, do vậy tác dụng sinh học của các tia đó cũng khác nhau.

4.2. Tác dụng của liều lượng, suất liều và yếu tố thời gian

Liều chiếu là yếu tố quan trọng nhất quyết định tính chất và các tổn thương sau chiếu xạ. Liều càng lớn, tổn thương càng nặng và càng xuất hiện sớm.

Bảng 6.5.5. Đáp ứng liều - hiệu ứng sau chiếu xạ toàn thân

Liều	Hiệu ứng
0,1 Gy	Không có dấu hiệu tổn thương trên lâm sàng. Tăng sai lạc nhiễm sắc thể có thể phát hiện được.
1 Gy	Xuất hiện bệnh nhiễm xạ trong số 5-7% cá thể sau chiếu xạ.
2-3 Gy	Rụng lông, tóc, đục thuỷ tinh thể, giảm bạch cầu, xuất hiện ban đỏ trên da. Bệnh nhiễm xạ gặp ở hầu hết các đối tượng bị chiếu. Tử vong 10-30% số cá thể sau chiếu xạ.
3-5 Gy	Giảm bạch cầu nghiêm trọng, ban xuất huyết, xuất huyết, nhiễm khuẩn, rụng lông, tóc. Tử vong 50% số cá thể sau chiếu xạ.
6 Gy	Vô sinh lâu dài ở cả nam và nữ. Tử vong hơn 50% số cá thể bị chiếu, thậm chí cả những trường hợp được điều trị tốt nhất.

Rõ ràng là hiệu suất sinh học của chùm tia tuỳ thuộc năng lượng mà tổ chức hấp thu được từ chùm tia. Như vậy liều lượng là yếu tố rất quan trọng quyết định tính chất và mức độ tổn thương.

Tuy vậy phối hợp với ảnh hưởng của liều lượng, yếu tố thời gian cũng có một vai trò quan trọng. Thực nghiệm cho thấy: nếu chiếu toàn thân chuột một liều 25r ta không quan sát thấy tổn thương gì. Nếu liều đó tiếp theo liên tục trong 10 ngày thì đến ngày cuối cùng xuất hiện các triệu chứng như chiếu một lần với liều lượng 250r. Nếu giảm suất liều xuống 5r/1 lần thì phải sau 60 lần chiếu mới thấy tổn thương đó. Như vậy là có hiện tượng tích luỹ liều trong cơ thể chuột để cuối cùng tổn thương xuất hiện do một liều tổng cộng.

http://tieulun.hopto.org

Nhưng nếu giảm suất liều xuống 3r/1 lần hoặc tốt hơn 1r/1 lần thì không thấy tổn thương xuất hiện dù liều tổng cộng vẫn lên tới 250r - 300r. Như vậy với cùng một liều lượng nhưng nếu chia nhỏ và rải ra trong một thời gian dài thì tác dụng sinh học giảm đi. Đó là ảnh hưởng của thời gian hay còn gọi là yếu tố thời gian. Người ta cho rằng thời gian giữa các suất liều đã tạo cơ hội cho các tổ chức sinh học khắc phục và bồi bổ trở lại các tổn thương trước đó. Suất liều càng nhỏ và thời gian giữa các lần chiếu càng dài thì tổn thương càng ít vì khả năng hồi phục càng lớn để có thể không xuất hiện những tổn thương đã có hoặc chỉ xuất hiện sau một tổng liều lớn hơn.

Tùy mục đích công việc, tùy mô và đối tượng chiếu mà người ta lựa chọn liều lượng tổng cộng, suất liều và thời gian cách quãng giữa hai lần chiếu cho thích hợp trong công việc thực tế.

Với cùng một liều hấp thụ như nhau, thời gian chiếu kéo dài sẽ làm giảm hiệu ứng sinh học của bức xạ. Nguyên nhân này được giải thích bằng khả năng phục hồi của cơ thể ở những mức liều khác nhau. Với những suất liều nhỏ, tốc độ phát triển các tổn thương được cân bằng với mức độ hồi phục của cơ thể . Nếu tăng suất liều lên thì quá trình hồi phục giảm xuống, mức tổn thương tăng lên, hiệu ứng sinh học cũng tăng lên.

Bảng 6.5.7. Ảnh hưởng của cách chiếu (tốc độ chiếu) đến tác dụng sinh học của bức xạ

Liều lượng (r)	Tốc độ chiếu (r/h)	Thời gian chiếu (h)	Tỷ lệ chết (%)
772	2539	0,3	50
785	896	0,88	50
800	240	3,3	50
1010	87	11,6	50
1281	37	31,9	50
1658	6	276	50
2760	4,7	576	50

Trong điều trị bằng chiếu xạ, để đạt được một tác dụng điều trị định trước cần phải có một tổng liều tích luỹ đủ lớn và những suất liều thích hợp nếu thời gian chiếu kéo dài.

4.3. Ảnh hưởng của môi trường chiếu

a) Diện tích chiếu

Mức độ tổn thương sau chiếu xạ còn phụ thuộc rất nhiều vào diện tích chiếu, chiếu một phần (chiếu cục bộ) hay toàn bộ cơ thể. Liều tử vong khi chiếu xạ toàn thân thường thấp hơn nhiều so với chiếu xạ cục bộ.

Ví dụ: Liều 6 Gy chỉ làm đỏ da nếu chiếu cục bộ, nhưng là liều LD 50/30 (liều gây tử vong 50% số cá thể bị chiếu trong vòng 30 ngày đầu sau chiếu xạ). Điều

http://tieulun.hopto.org

này có thể do khi chiếu xạ toàn thân các tổn thương nhẹ ở các cơ quan khác nhau trong cơ thể hợp nhất lại và tạo ra các hội chứng của chiếu xạ cấp.

b) Hiệu ứng nhiệt độ

Giảm nhiệt độ sẽ làm giảm tác dụng của bức xạ ion hoá. Hiện tượng này được giải thích là khi nhiệt độ xuống thấp, tốc độ vận chuyển các gốc tự do (được tạo lên do xạ phân các phân tử nước) tới các phân tử sinh học giảm xuống, dẫn đến giảm số phân tử sinh học bị tổn thương do chiếu xạ.

Hiệu ứng này rất có ý nghĩa trong thực tế. Người ta đã áp dụng kĩ thuật xạ trị trong điều kiện tăng nhiệt độ và để bảo quản các chế phẩm sinh học có gắn phóng xạ người ta đã hạ nhiệt độ đến mức đóng băng để giảm cơ chế tác dụng gián tiếp của bức xạ.

c) *Hiệu ứng oxy*

Độ nhạy cảm phóng xạ của sinh vật tăng theo nồng độ oxy, giảm khi oxy giảm. Khi tăng nồng độ oxy, lượng HO_2, H_2O_2 tạo ra càng nhiều đã làm tăng số các phân tử sinh học bị tổn thương do chiếu xạ.

Hiệu ứng oxy tăng dần đến giá trị 21% oxy ở điều kiện bình thường sau đó có tăng cao hơn thì hiệu ứng này cũng không còn tác dụng nữa. Hiệu ứng oxy thể hiện rõ nét ở những bức xạ có khả năng ion hoá thấp, với những bức xạ có khả năng ion hoá cao như α, proton hiệu ứng này biểu hiện rất ít hoặc không biểu hiện .

d) Hàm lượng nước

Hàm lượng nước càng lớn thì các gốc tự do được tạo ra càng nhiều, số các gốc tự do tác động lên phân tử sinh học càng tăng do đó hiệu ứng sinh học cũng tăng lên.

e) Các chất bảo vệ

Qua nghiên cứu người ta thấy rằng có một số chất khi đưa vào cơ thể có tác dụng làm giảm hiệu ứng của bức xạ ion hoá. Năm 1942 Deili là người đầu tiên nhận thấy thiourê có tác dụng chống phóng xạ. Sau đó một số chất khác như cystein, MEA (mercaptoethylamin),... cũng được chứng minh có tác dụng chống phóng xạ. Ngày nay người ta còn tìm được nhiều chất có nguồn gốc từ động, thực vật cũng có tác dụng như trên. Tuy nhiên cho đến nay cơ chế tác dụng của chúng vẫn chưa được giải thích đầy đủ.

VI. ỨNG DỤNG MỘT SỐ KỸ THUẬT VẬT LÝ NGUYÊN TỬ VÀ HẠT NHÂN VÀO Y SINH HỌC

Đã từ lâu người ta biết sử dụng các bức xạ ion hoá để phục vụ con người nhất là trong y sinh học. Khởi đầu là dùng tia Rơnghen để chẩn đoán bệnh, để phân tích cấu trúc vĩ mô và dùng bức xạ để tiêu diệt các tế bào bệnh và các mầm bệnh. Việc sử dụng các đồng vị phóng xạ ngắn ngày như một nguồn hở để chẩn đoán, điều trị bệnh và nghiên cứu y sinh học đã phát triển rộng rãi trong những năm gần đây tạo ra những tiến độ nhảy vọt về y sinh học.

Dưới đây giới thiệu một số nguyên tắc ứng dụng của các kỹ thuật đó.

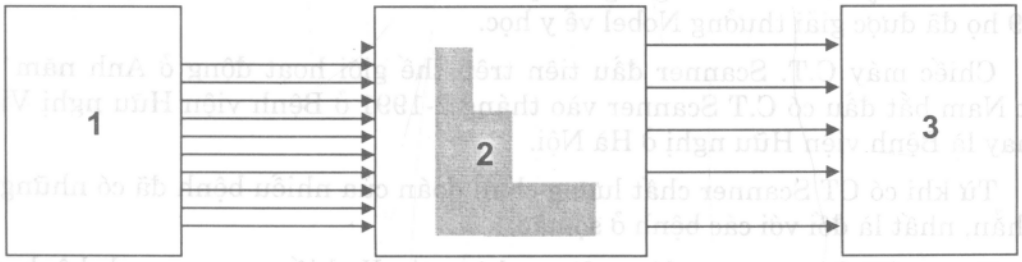
http://tieulun.hopto.org

1. Phân tích cấu trúc vật chất bằng chùm tia X

Khái niệm phân tích cấu trúc vĩ mô để chỉ việc phân tích cấu trúc bên trong của vật nào đó mà trong hoàn cảnh xác định ta không thể tách nó ra làm nhiều phần riêng biệt. Cấu trúc bên trong ở đây là độ dày mỏng, mật độ cấu tạo và bản chất của vật đó. Khái niệm phân tích cấu trúc vi mô là xem xét cấu trúc mạng tinh thể, cấu trúc phân tử của vật chất.

1.1. Phân tích cấu trúc vĩ mô của vật chất

Cơ sở của phương pháp phân tích vĩ mô là qui luật hấp thụ (6.2.2) và sự phụ thuộc của hệ số hấp thụ vào đặc tính cấu trúc của vật cần nghiên cứu: những phần dầy mỏng khác nhau, có khối lượng riêng khác nhau sẽ hấp thụ tia Rơnghen không đồng đều như nhau. Sơ đồ khối của phương pháp phân tích này trình bầy trên hình 6.6.1.



Hình 6.6.1

Khối 1 phát ra chùm tia Rơnghen cường độ đồng đều trên một tiết diện đủ bao quát đối tượng nghiên cứu (khối 2). Chùm tia Rơnghen sau khi đi qua đối tượng bị hấp thụ khác nhau ở những vùng khác nhau của tiết diện, nghĩa là vùng nào hấp thụ ít thì chùm tia ló mạnh và ngược lại. Chùm tia ló bây giờ tạo một ảnh ẩn của cấu trúc bên trong đối tượng. Khối 3 có nhiệm vụ biến ảnh ẩn thành ảnh hiện, phản ánh cấu trúc bên trong của đối tượng. Khối 3 này có thể là màn huỳnh quang (ở đây tia Rơnghen bị hấp thụ và phát ra tia huỳnh quang nhìn thấy được). Nơi nào chùm tia Rơnghen đập vào có cường độ I mạnh thì phát ánh sáng mạnh, nơi nào chùm tia Rơnghen đập vào có cường độ I yếu thì phát ánh sáng yếu. Khối 3 cũng có thể là phim ảnh và sự khác nhau về cường độ I thể hiện bằng độ sáng tối trên phim.

Bằng những thủ pháp kỹ thuật khác nhau, người ta có thể làm cho hình rõ nét, phân tích cấu trúc của từng lớp vật chất nằm song song nhau trong đối tượng nghiên cứu ...

Phương pháp phân tích cấu trúc vĩ mô này là cơ sở của việc chẩn đoán bằng tia Rơnghen (chẩn đoán X quang) trong ngành y tế.

Ví dụ khi đi qua tổ chức phổi lành, chùm tia X xuyên qua mạnh. Nếu tại một vùng nào đó có ổ lao hoặc khối u, mật độ tổ chức dày đặc hơn, cấu trúc vật chất ở đó cũng khác nhau hơn nên chùm tia X đi qua bị hấp thụ mạnh hơn.

http://tieulun.hopto.org

Hình ảnh thu được sẽ khác với vùng tổ chức phổi lành. Hình ảnh đó có thể quan sát được bằng mắt thường trên phim ảnh X quang. Màn huỳnh quang cho phép quan sát sơ bộ những thay đổi nhưng đặc biệt cho phép theo dõi sự biến đổi động học (theo thời gian) của quá trình nào đó. Ngược lại, bằng phim ảnh người ta ghi lại được sự thay đổi ở một thời điểm nhất định và phân tích kỹ sự thay đổi về cấu trúc và hình dạng của vật thể nghiên cứu.

Để tăng thêm độ tương phản giữa tổ chức lành và tổ chức bệnh qua hình ảnh phân tích vĩ mô bằng tia X người ta áp dụng các kỹ thuật dùng các chất cản quang như Barit, lipiodol hoặc bơm hơi (không khí) vào nơi cần thăm khám. Kỹ thuật này đã mở ra một chuyên khoa riêng trong y học, đó là X quang chẩn đoán.

Gần đây kỹ thuật chụp cắt lớp bằng tia X (computerized tomography: C.T scanner) được ứng dụng nhiều trong y học để chẩn đoán bệnh. Kỹ thuật này mang lại nhiều lợi ích thiết thực cho việc chụp hình chi tiết các phủ tạng, mô trong cơ thể. Kỹ thuật CT Scanner do Hounsfield (Anh) và Cormak (Mỹ) phát minh năm 1971. Phát minh này có tầm vóc ngang với phát minh ra tia X của Rơnghen, nên năm 1979 họ đã được giải thưởng Nobel về y học.

Chiếc máy C.T. Scanner đầu tiên trên thế giới hoạt động ở Anh năm 1971. Việt Nam bắt đầu có C.T Scanner vào tháng 2-1991 ở Bệnh viện Hữu nghị Việt Xô cũ nay là Bệnh viện Hữu nghị ở Hà Nội.

Từ khi có CT Scanner chất lượng chẩn đoán của nhiều bệnh đã có những thay đổi hẳn, nhất là đối với các bệnh ở sọ não.

Trong CT Scanner người ta dùng chùm tia X chiếu xoay quanh bệnh nhân. Khi qua khỏi cơ thể bệnh nhận, chùm tia được tiếp nhận bởi một bộ phận điện tử.

Bộ phận này có độ nhạy rất cao, gấp trên 100 lần so với phim X quang. Do vậy với máy CT Scanner, khi chụp sọ não có thể phân biệt được rất rõ các bộ phận khác nhau như chất trắng, chất xám, các buồng não thất, các khối u, các ổ áp xe, các ổ chảy máu ... mà phim X quang thông thường không cho phép phân biệt.

Nhờ hệ thống computer xử lý nên có thể thu nhận và tái tạo hình ảnh bằng các tín hiệu tia X phát ra trên các bình diện khác nhau của cơ thể. Từ đó ta có các hình ảnh của các lớp theo những "lớp cắt" dọc, ngang... khác nhau.

Bình thường mắt ta cũng chỉ có thể phân biệt trắng đen khoảng 20 mức độ, trong khi máy CT Scanner ta có thể phân biệt được tới 2000 mức độ vì vậy phải chọn mức chuẩn tỷ trọng trung bình và độ mở rộng của cửa sổ thích hợp.

Nếu ta mở rộng cửa sổ tối đa thì xương sẽ có hình trắng và không khí có hình đen, nước có hình xám và có độ tương phản hình của CT Scanner tốt dễ phân tích.

Đôi khi trong chẩn đoán, với máy CT Scanner người ta còn dùng chất cản quang bằng đường uống hoặc bằng đường tiêm tĩnh mạch để làm nổi bật thêm sự đối quang. Thí dụ đối với não, các u não thường ngấm nhiều chất cản quang, các áp xe chỉ ngấm chất cản quang ở vỏ, còn khối máu tụ không ngấm thuốc cản quang ... Do đó có độ đen trắng khác nhau.

Trong máy CT Scanner có các bộ nhớ, hình ảnh đã chụp được thu lại vào các băng từ hoặc đĩa từ. Do đó khi cần thiết, bất cứ lúc nào người thầy thuốc cũng có thể làm hiện lại hình ảnh các bộ phận đã chụp của các bệnh nhân.

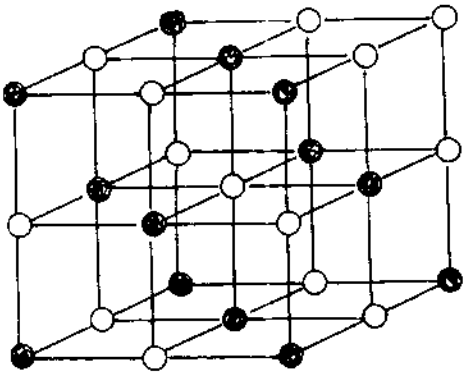
http://tieulun.hopto.org

Với máy CT Scanner thế hệ ba phổ biến hiện nay, mỗi lớp cắt mất khoảng ba giây và mỗi xét nghiệm tối thiểu thường là 12 lớp cắt. Nhưng gần đây nhất, với máy Ciné - Scanner người ta đã có những cải tiến rất lớn: trong một giây có thể có được tới 10 lớp cắt.

1.2. Phân tích cấu trúc vi mô vật chất bằng tia X

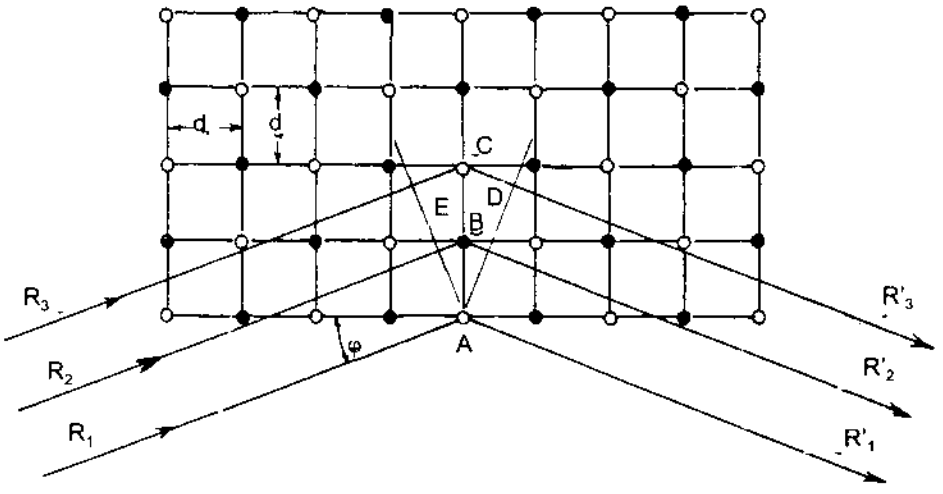
Tia Rơnghen (tia X) có bản chất là sóng điện từ như ánh sáng nên cũng có các hiện tượng phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ và giao thoa khi gặp những điều kiện thích hợp.

Một số vật chất có cấu tạo tinh thể, tức là có cấu trúc thành mạng không gian mà ở nút mạng là những nguyên tử hoặc các ion. Ví dụ điển hình của cấu trúc mạng đó là tinh thể phân tử NaCl (hình 6.6.2)



Hình 6.6.2

Khoảng cách giữa 2 ion cạnh nhau trong tinh thể này khoảng 2,8 x 10^{-8} cm, tương đương với bước sóng của photon tia X. Năm 1912 Laue và Bragg đã tiến hành thí nghiệm về hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa của tia X trên các mạng tinh thể như thế. Nếu chiếu một chùm tia X đơn sắc và song song vào mạng tinh thể (hình 6.6.3) mỗi một nguyên tử trên nút mạng sẽ trở thành một trung tâm tán xạ theo mọi hướng.



Hình 6.6.3

Trong số các tia tán xạ có những tia mà hiệu số khoảng cách giữa trung tâm tán xạ và ảnh của nó trên màn bằng một số nguyên lần bước sóng tia thì tại đó trên

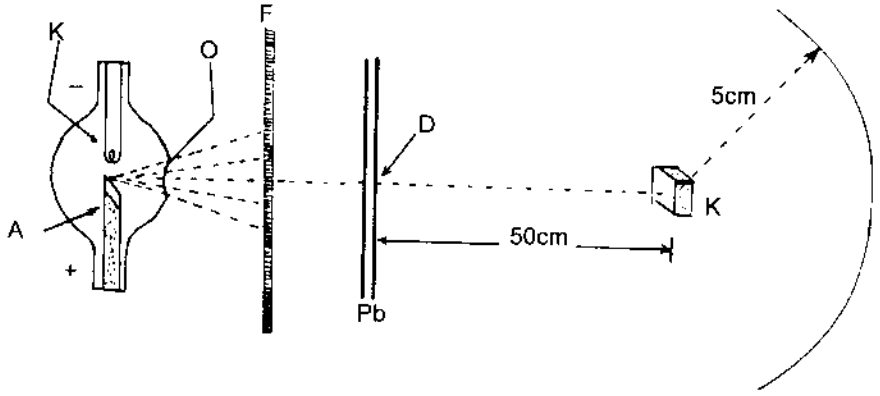
http://tieulun.hopto.org

màn hình sẽ xuất hiện cực đại giao thoa. Khi có một số lớn những trung tâm tán xạ đạt điều kiện đó thì cường độ tổng cộng sẽ đạt tới giá trị I

$$I = \left(\sum_{i=1}^{n} E_i \right)^2$$

bởi vì I_i tỷ lệ thuận với bình phương của cường độ điện trường E_i tại đó.

Trên cơ sở đó người ta tạo ra máy phân tích cấu trúc vi mô vật chất bằng tia X như hình 6.6.4



Hình 6.6.4. Sơ đồ cấu tạo máy phân tích cấu trúc vi mô bằng tia X.

L: bóng tia X, F lọc; D: cửa sổ;

K tinh thể; F: tấm phim

Các tia tới R_1, R_2, R_3 song song, tạo ra các tia phản xạ R'_1, R'_2, R'_3 từ các nguyên tử trên các mặt phẳng mạng cạnh nhau. Chỉ có những tia được xác định bởi một phương nào đó (đặc trưng bằng góc θ) mới có cực đại giao thoa và hiệu đường đi của các tia phản xạ phát từ các nguyên tử bằng một số nguyên lần bước sóng λ theo hệ thức:

$$2d \sin \theta = k\lambda$$

k = 0, 1, 2 ... trong đó d là khoảng cách giữa 2 lớp (mặt phẳng) cạnh nhau trong mạng tinh thể và có góc phản xạ là θ.

Như vậy để cường độ giao thoa đạt cực đại có thể tiến hành một trong hai cách sau đây:

– Thay đổi liên tục bước sóng λ và sẽ có một giá trị nhất định của λ làm cho hệ thức trên thoả mãn.

– Quay tinh thể xung quanh một trục nhất định để làm cho góc θ thay đổi và có giá trị để thoả mãn điều kiện trên.

Dựa vào nguyên tắc đó ta xác định được khoảng cách và góc không gian của các phần tử trên mạng tinh thể. Bằng kỹ thuật này đã xác định được cấu trúc của nhiều phân tử sinh học phức tạp (bảng 6.6.1).

http://tieulun.hopto.org

Bảng 6.6.1. Cấu trúc không gian của một số phân tử sinh học

Tên phân tử	Cấu trúc không gian 3 chiều (Å)			Góc độ	Trọng lượng phân tử (đvtlnt)
	a	b	c		
Insulin	44,0	51,4	30,4		
Hemoglobin	102	56,0	49,0	134	66.700
Chymotrypsin	45,0	62,5	57,	112	21.500
Ribonucleotid	29,1	30,1	51,0	114	13.000

H. C. Crick, Watson J. D và Kendrew J. C đã có đóng góp rất quan trọng trong việc xác lập được cấu trúc của AND và RNA bằng tia X. Kỹ thuật này cũng đã giúp ích rất nhiều trong việc xác lập cấu trúc của các virus gây bệnh.

2. Phương pháp chụp hình bằng cộng hưởng từ hạt nhân

2.1 Cơ sở vật lý của phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân

a. Mô men từ hạt nhân

Hạt nhân nguyên tử gồm có hai loại hạt: proton và nơtron. Proton là hạt mang điện tích dương, về giá trị thì bằng điện tích của electron, nhưng có khối lượng lớn hơn cỡ hai nghìn lần khối lượng electron. Proton tương tự như một hạt mang điện dương tự quay tròn, có mômen từ. Nơtron cũng có spin, cũng có mômen từ, có thể xem nơtron như một quả cầu có điện tích phân bố, tính chung ra thì điện tích bằng không (nơtron trung hòa điện) nhưng khi quay vẫn tạo ra mômen từ.

Mômen từ của proton và của nơtron có chênh lệch nhau chút ít, nhưng rất nhỏ, vào cỡ 10^{-27} A.m^2. Hạt nhân có thể có nhiều proton và nơtron, mômen từ của hạt nhân là tổng hợp (theo những quy tắc lượng tử) của mômen từ các hạt proton và nơtron. Có hạt nhân có mômen từ lớn, có hạt nhân có mômen từ nhỏ, có hạt nhân không có mômen từ. Nhưng nói chung, mômen từ của hạt nhân nhỏ, chỉ vào cỡ phần nghìn mômen từ của vỏ electron nguyên tử. Vì vậy điều kiện để có cộng hưởng từ hạt nhân rất khác với điều kiện để có được cộng hưởng từ electron.

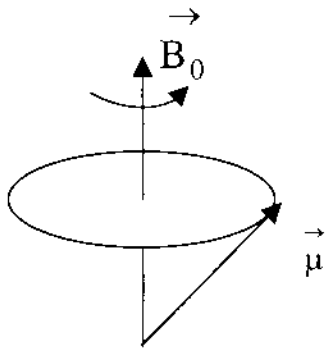
Hạt nhân	Số proton	Số nơtrôn
^{1}H	1	0
^{12}C	6	6
^{13}C	6	7
^{14}N	7	7
^{23}Na	11	12
^{31}P	15	16
^{39}K	19	20

http://tieulun.hopto.org

Không những thế, người ta có thể thực hiện cộng hưởng từ đối với từng loại hạt nhân nguyên tử. Thí dụ đối với cơ thể, người ta thường quan tâm:

Đặc biệt chú ý là hạt nhân của nguyên tử hyđro vì hyđro là một trong hai nguyên tố cấu tạo thành nước (H_2O), mà nước nói chung là trong cơ thể chỗ nào cũng có. Hơn nữa hạt nhân của nguyên tử hyđro cho tín hiệu cộng hưởng từ rất mạnh.

Hạt nhân của nguyên tử hyđro rất đơn giản: chỉ có một hạt proton, mômen từ của hạt nhân hyđro chính là mômen từ của proton.



Hình 6.6.5. Dưới tác dụng của từ trường $\vec{B}_0$ mômen từ $\vec{\mu}$ thực hiện chuyển động Larmor

b. Cộng hưởng từ hạt nhân

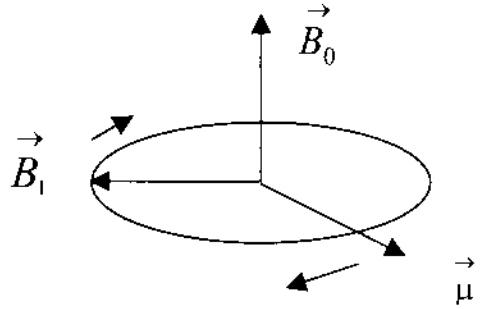
Hạt nhân có mômen từ là $\vec{\mu}$ khi nằm trong từ trường $\vec{B}_0$, sẽ thực hiện chuyển động tuế sai (chuyển động Larmor), tức là đầu mút của vectơ $\vec{\mu}$ vạch nên những đường tròn quanh phương của $\vec{B}_0$.

Đây là chuyển động tuần hoàn, tần số phụ thuộc vào $\vec{B}_0$ và μ. Trong trường hợp proton, tần số đó được tính theo công thức $f_0 = g_p.\mu_p.B_0$ (hình 6.6.5)

Tính ra nếu B_0 bằng 1T (Tesla) thì proton có tần số Larmor là 42,58 MHz. Chú ý là sóng vô tuyến có tần số 42,58 MHz là ứng với bước sóng 7m, còn từ trường ở giữa hai cực của một nam châm vĩnh cửu mạnh chỉ vào cỡ 0,2 T.

Như vậy hạt nhân nằm trong từ trường $\vec{B}_0$ trở thành một hệ dao động với tần số dao động riêng là f_0 phụ thuộc $\vec{B}_0$. Nếu chiếu thêm một sóng điện từ tần số radiô thích hợp, thì biến thiên từ trường do sóng radiô tạo ra có thể làm cho hạt nhân dao động cộng hưởng (Hình 6.6.6).

Cụ thể trong trường hợp từ trường $B_0 = 1T$, đầu mút của mômen từ của hạt nhân hyđro sẽ quay tròn với tần số $f_0 = 42{,}58\text{MHz}$, nếu chiếu thêm



Hình 6.6.6. Từ trường xoay chiều $\vec{B}_1$ vuông góc với Bo, quay quanh Bo với tần số góc ω: $\vec{B}_1$ tác dụng lên mômen từ m lực tuần hoàn tần số góc ω, khi $\omega = \omega_0$ xảy ra hiện tượng cộng hưởng.

http://tieulun.hopto.org

vào đó sóng radiô với bước sóng 7m (tức là tần số 42,58 MHz) thì đầu mút của mômen từ của hạt nhân hyđro sẽ quay cũng với tần số như trước nhưng biên độ lớn hơn, mômen từ của proton nghiêng xa hơn so với phương của $\vec{B}_0$, tức là nghiêng nhiều về phương vuông góc với phương của $\vec{B}_0$.

Nhưng thực tế, không phải là thực hiện cộng hưởng từ đối với từng hạt nhân hyđro riêng lẻ mà là cộng hưởng từ đối với cả một tập hợp hạt nhân hyđro trong một thể tích nào đó, thí dụ trong $1mm^3$ ở vỏ não. Do đó ta xét cả một tập hợp hạt nhân trong từ trường và xét hiện tượng cộng hưởng đối với cả tập hợp đó.

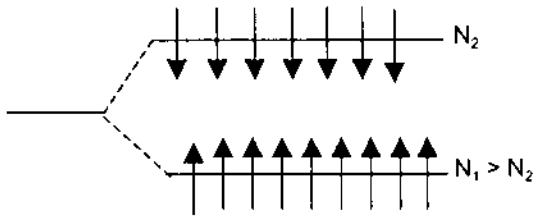
c. Mômen từ của tập hợp các hạt nhân trong một thể tích

Nếu xét một tập hợp các nam châm nhỏ nằm trong từ trường có chiều xác định thì các nam châm sẽ nằm quay dọc theo từ trường, mômen từ của các nam châm này sẽ song song cùng chiều với từ trường.

Nhưng tập hợp các hạt nhân là tập hợp các hạt vi mô, tuân theo những quy luật lượng tử : khi nằm trong từ trường thì đa số các hạt nhân sẽ có mômen từ quay song song cùng chiều với từ trường nhưng vẫn có những hạt nhân có mômen từ song song nhưng ngược chiều với từ trường, người ta gọi đó là nhũng mômen từ đối song.

Các phép tính toán cho thấy nếu trong từ trường $\vec{B}_0$ tổng cộng có N hạt nhân thì sẽ có N_1 hạt nhân có mômen từ song song và N_2 hạt nhân có mômen từ đối song (hình 6.6.7), N_1 luôn lớn hơn N_2 và tỉ số chênh lệch $\frac{\Delta N}{N} = \frac{N_1 - N_2}{N}$ có thể tính theo công thức gần đúng :

$\frac{\Delta N}{N} \approx \frac{\mu B_0}{2kT}$ với $\vec{B}_0$ là cường độ từ trường tác dụng, μ là mômen từ của hạt nhân, k là hằng số Boltzman, T là nhiệt độ tuyệt đối.



Hình 6.6.7. Trong từ trường Bo, N_1 proton có $\vec{\mu}$ song song với từ trường, N_2 proton có $\vec{\mu}$ đối song với từ trường $\frac{\Delta N}{N} \approx \frac{\mu B_0}{2kT}$

http://tieulun.hopto.org

Tính ra, ở nhiệt độ phòng $T = 25°C$, khi $B_0 = 1T$ đối với hạt nhân hydro, tỉ số $\frac{\Delta N}{N}$ vào cỡ 10^{-6}. Nói cách khác nếu có N hạt nhân, thì N_1 hạt nhân có mômen từ hướng song song với từ trường $\vec{B}_0$, N_2 hạt nhân có mômen từ song song nhưng hướng theo chiều ngược lại. Nếu hai mômen từ ngược nhau bù trừ cho nhau thì thật ra trong N hạt nhân thực chất chỉ còn lại $\Delta N = N_1 - N_2$ chiếm tỉ lệ cỡ một phần triệu là hướng theo chiều $\vec{B}_0$. Thật ra các mômen từ này đều có chuyển động Larmor, nhưng cũng vì khử nhau từng cặp nên cuối cùng có thể xem chỉ có ΔN hạt nhân đóng góp vào mômen từ M tổng cộng. Từ các công thức tìm được ta có :

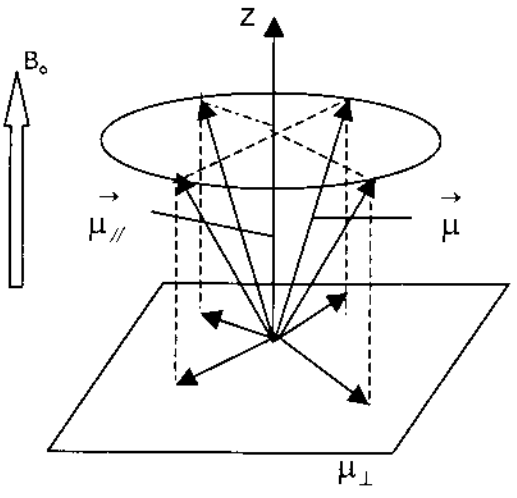
$$M = \Delta N \times \mu = N\mu^2 \frac{B_0}{kT}$$

Vậy khi xét chuyển động Larmor trong từ trường $\vec{B}_0$ của N hạt nhân trong thể tích V của vật chất, thí dụ của vỏ não, ta chỉ xét đến mômen từ M tổng cộng đó.

d. Cộng hưởng từ trong một thể tích có nhiều hạt nhân và những hiện tượng liên quan

Ta xét một thể tích có N hạt nhân, mômen từ của mỗi hạt nhân là $\vec{\mu}$ và từ trường ngoài tác dụng là $\vec{B}_0$.

Ta đã thấy trong N hạt nhân có N_1 hạt nhân có mômen từ song song với $\vec{B}_0$ và N_2 hạt nhân có mômen từ đối song với $\vec{B}_0$, về mặt từ tính xem như chúng khử nhau từng đôi một, chỉ còn $N_1 - N_2 = \Delta N \sim 10^{-6}$ hạt nhân có đóng góp vào mômen từ tổng cộng. Các mômen từ không phải nằm hoàn toàn song song với từ trường ngoài, chúng đảo rất nhanh quanh phương từ trường nhưng góc nghiêng rất nhỏ. Phân tích mômen từ $\vec{\mu}$ của hạt nhân ra thành hai vectơ : một vectơ song song với $\vec{B}_0$,



Hình 6.6.8. Phân tích vectơ $\vec{\mu}$ thành 2 thành phần $\vec{\mu}_{//}$ và $\vec{\mu}_{\perp}$

http://tieulun.hopto.org

ta kí hiệu là $\vec{\mu}_{//}$ và một vectơ vuông góc với $\vec{B}_0$, kí hiệu là $\vec{\mu}_{\perp}$. Khi chỉ có $\vec{B}_0$, có thể xem có ΔN hạt nhân có mômen từ hướng về $\vec{B}_0$ và đảo quanh $\vec{B}_0$. Vectơ tổng $\sum\vec{\mu}_p$ khá lớn, cỡ gần bằng $\Delta N.\vec{\mu}$. Nhưng vectơ tổng $\sum\vec{\mu}_{\perp}$ xem như bằng không không phải chỉ là do giá trị của $\mu_{\perp}$ nhỏ mà là do các mômen từ đảo quanh $\vec{B}_0$, tuy cùng tần số nhưng *không đồng pha*, các vectơ $\vec{\mu}_{\perp}$ có thể hướng trước, sau, phải, trái một cách lộn xộn, cộng vectơ lại chúng triệt tiêu lẫn nhau. Như vậy, *khi chỉ có từ trường ngoài* $\vec{B}_0$, *vectơ từ hoá dọc* theo phương của từ trường ngoài $\vec{M}_{//} = \sum\vec{\mu}_{//}$ cực đại, còn vectơ từ hoá ngang $\vec{M}_{\perp} = \sum\vec{\mu}_{\perp}$ *bằng không* (hình 6.6.8).

Khi chiếu sóng rađiô có tần số bằng tần số đảo f_0 (hay tần số góc $\omega_0 = \frac{f_0}{2\pi}$) theo phương vuông góc với $\vec{B}_0$, như ta đã thấy, có cộng hưởng xảy ra: vectơ từ trường $\vec{B}_1$ do sóng rađiô (sóng điện từ) tạo ra, quay quanh $\vec{B}_0$ với tần số góc ω_0 *tác dụng lên mômen từ* $\vec{\mu}$ của hạt nhân một *lực tuần hoàn*, làm cho $\vec{\mu}$ nghiêng mạnh về phía $\vec{B}_1$ và quay quanh $\vec{B}_0$ một cách đồng pha với nhau. Kết quả là *khi cộng hưởng vectơ từ hóa ngang* $\vec{M}_{\perp} = \sum\vec{\mu}_{\perp}$ *cực đại.*

Còn vectơ từ hóa dọc, một mặt do $\vec{\mu}$ nghiêng về $\vec{B}_1$ nên giá trị của $\vec{\mu}_{//}$ nhỏ đi, mặt khác do hấp thụ cộng hưởng năng lượng sóng rađiô có thêm một số mômen từ của hạt nhân quay về phía đối song song, do đó N_2 tăng lên, N_1 giảm xuống, $\Delta N = N_1 - N_2$ giảm đáng kể. Kết quả là *khi cộng hưởng vectơ từ hoá dọc* $\vec{M}_{//} = \sum\vec{\mu}_{//}$ *bằng không.*

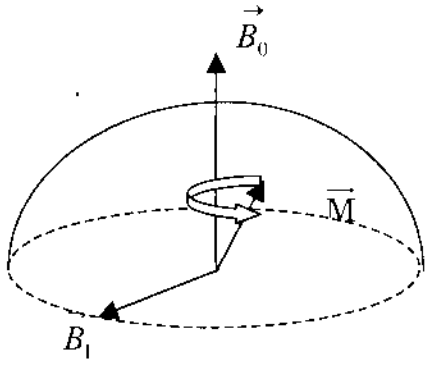
Khi tắt sóng rađiô, tập hợp các hạt nhân đang từ trạng thái cộng hưởng chuyển về trạng thái bình thường ban đầu. Người ta gọi đó là *quá trình hồi phục.* Trong quá trình này, vectơ từ hoá dọc $\vec{M}_{//}$ có độ lớn từ giá trị không trở về giá trị cực đại, vectơ từ hoá ngang có độ lớn từ giá trị cực đại $\vec{M}_{\perp}$ trở về giá trị không. Tuy nhiên thời gian trở về, tức là *thời gian hồi phục* T_1 đối với vectơ từ hoá dọc và thời gian hồi phục T_2 đối với vectơ từ hoá ngang không như nhau, nói chung $T_1 > T_2$.

http://tieulun.hopto.org

Nếu quanh hạt nhân có nhiều phân tử nhỏ (nhẹ), như phân tử nước H_2O, việc hạt nhân truyền năng lượng đã hấp thụ sẽ lâu hơn so với khi quanh hạt nhân là những phân tử lớn, cồng kềnh, thí dụ với phân tử của các chất mỡ, chất béo... Với các tế bào sinh học, tùy theo chứa ít nước, nhiều nước, ít mỡ hay nhiều mỡ... T_1 thay đổi từ 300 đến 2000 miligiây.

Thời gian hồi phục T_2 cũng sẽ có trị số lớn khi quanh hạt nhân là nước và có trị số nhỏ khi quanh hạt nhân là dịch chứa các phân tử lớn hoặc nhiều chất mỡ. Nhưng nói chung, T_2 nhỏ hơn T_1, thường thay đổi từ 30 miligiây đến 150 miligiây và so với T_1 thì nhạy cảm với cấu trúc sinh học hơn.

Tóm lại nếu xét vectơ từ hóa tổng cộng $\vec{M} = \vec{M}_{//} + \vec{M}_{\perp}$ thì khi cộng hưởng ($\vec{M}_{//} = 0$, $\vec{M}_{\perp}$ cực đại) đầu mút của $\vec{M}$ vạch nên vòng tròn trong mặt phẳng vuông góc $\vec{B}_0$. Khi tắt sóng radiô, $\vec{M}_{\perp}$ vừa quay tròn, vừa co nhỏ lại, trong lúc đó $\vec{M}_{//}$ từ giá trị bằng không, lớn dần lên. Do đó đầu mút của $\vec{M}$ vạch nên một đường xoắn ốc nhỏ dần (Hình 6.6.9).



Hình 6.6.9. Khi tắt sóng radiô, đầu mút của vectơ từ hoá M vạch nên đường xoắn ốc nhỏ dần

Về nguyên tắc, nếu để một cuộn dây điện gần đấy thì biến thiên từ trường do $\vec{M}$ gây ra sẽ làm thay đổi từ thông qua cuộn dây và sinh ra dòng điện cảm ứng trong cuộn dây. Trong kĩ thuật cộng hưởng từ, người ta bố trí ăngten để phát sóng radiô theo từng xung, khi xung tắt, quá trình hồi phục như đã mô tả ở trên xảy ra và ăngten cũng thu dòng điện cảm ứng sinh ra khi vectơ từ hoá $\vec{M}$ biến thiên theo đường xoáy trôn ốc.

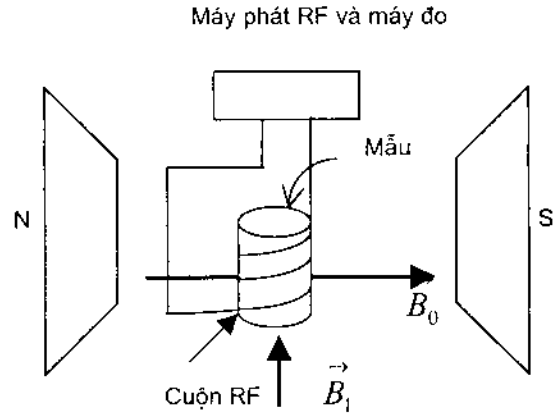
Tín hiệu ăngten thu được này có tên là tín hiệu cảm ứng suy giảm tự do FID (free induction decay). Bản thân tín hiệu FID này mạnh hay yếu là do vectơ từ hoá M lớn hay nhỏ, mà độ lớn của M lại phụ thuộc vào số hạt nhân trong phần tử thể tích, cụ thể ở đây là số proton. Vì vậy tín hiệu FID cho biết *mật độ proton*. Phân tích kĩ dạng của tín hiệu FID có thể tìm được thời gian hồi phục từ hóa ngang T_2 v.v... Như vậy nếu chia cắt cơ thể người ra từng thể tích nhỏ có tọa độ x, y, z tương ứng, làm cho các hạt nhân trong thể tích đó dao động cộng hưởng và thu tín hiệu cộng hưởng từ thể tích đó gửi đi, thí dụ tín hiệu FID, thời gian hồi phục T_1, thời gian hồi phục T_2 v.v... và quy định độ đậm, nhạt, trắng đen hoặc màu sắc xanh đỏ tím vàng ứng với tín hiệu mạnh, yếu, dài, ngắn thu được, trên cơ sở số liệu các tọa độ x, y, z của phần tử thể tích và tín hiệu cộng hưởng thu được từ phần tử đó, thì máy tính có thể vẽ ra trên màn hình ảnh cắt lớp hai chiều hoặc ảnh ba chiều của cơ

http://tieulun.hopto.org

thể. Tùy theo tín hiệu thu để tạo ảnh mạnh hay yếu ảnh này có thể cho biết đâu là nước, đâu là chất mỡ, máu, xương v.v...

2.2. Chụp ảnh cắt lớp cộng hưởng từ hạt nhân

Trước hết ta xét cách thực hiện cộng hưởng từ hạt nhân ở phòng thí nghiệm nghiên cứu tính chất vật liệu. Thiết bị gồm một nam châm vĩnh cửu để tạo ra từ trường đều $\vec{B}_0$ giữa hai cực (hình 6.6.10). Giả sử mẫu nghiên cứu đặt trong một ống hình trụ chung quanh có cuộn dây điện, hai đầu cuộn dây $\vec{B}_1$ vuông góc với $\vec{B}_0$. Người ta điều khiển tần số của $\vec{B}_1$ sao cho có hiện tượng cộng hưởng từ xảy ra. Lúc đó công suất của máy phát vô tuyến tăng vọt hẳn. Như vậy, theo dõi công suất ở máy phát phụ thuộc vào tần số, ta xác định được những tần số ứng với



Hình 6.6.10. Sơ đồ máy cộng hưởng từ hạt nhân ở phòng thí nghiệm.

có cộng hưởng từ xảy ra trong mẫu. Mọi biến thiên của mômen từ tổng cộng $\vec{M}$ của mẫu đều có thể gây nên dòng cảm ứng trong cuộn dây đặt chung quanh mẫu theo nguyên tắc: $\vec{M}$ biến thiên làm biến thiên từ thông đi qua cuộn dây, biến thiên từ thông sinh ra dòng điện cảm ứng. Nếu bố trí cuộn dây vuông góc với $\vec{B}_0$ ta đo được biến thiên của thành phần M song song với song song với $\vec{B}_0$ tức là $\vec{M}_{//}$. Từ đó ta đo được thời gian hồi phục dọc. Nếu bố trí cuộn dây song song với $\vec{B}_0$ ta đo được biến thiên của thành phần vuông góc $\vec{M}_{\perp}$, từ đó xác định được thời gian hồi phục ngang. Các tín hiệu mà các cuộn dây thu được rất nhỏ, rất ngắn nhưng kĩ thuật xử lí tín hiệu ngày nay cho phép đo khá chính xác.

Giải pháp kĩ thuật quan trọng nhất để có được ảnh cắt lớp cộng hưởng từ hạt nhân là do Lauterbur đưa ra năm 1973. Đó là thêm vào từ trường mạnh $\vec{B}_0$ các từ trường yếu nhưng biến thiên đều theo khoảng cách, nói cách khác là tạo ra các gradiên từ trường.

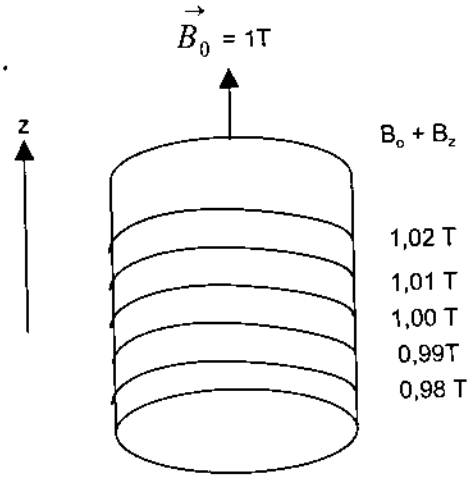
Trước hết ta xét cách tạo ra từ trường có gradiên theo z và tác dụng của từ trường này.

http://tieulun.hopto.org

Cuộn dây siêu dẫn tạo ra một từ trường $\vec{B}_0$ rất mạnh và rất đều. Người ta bố trí thêm một cuộn dây tạo ra một từ trường yếu song song với $\vec{B}_0$ nhưng biến thiên đều theo z, tức là có dạng $\vec{B}_z = (\alpha + \beta z)\vec{B}_0$.

Vậy thêm cuộn dây tạo gradiên này, từ trường tổng cộng bên trong cuộn dây siêu dẫn là: $\vec{B}_0 + \vec{B}_z = (1 + \alpha + \beta z)\vec{B}_0$.

Từ trường này rất mạnh, biến thiên đều theo z: từ trường bên trong hình trụ bị chia thành từng lớp mỏng, vuông góc với trục z. Trong phạm vi một lớp, từ trường có thể xem là không thay đổi. Khi đi từ lớp này đến lớp kia từ trường tăng dần, thí dụ như ở hình vẽ là 0,97T, 0,98T, 0,99T, 1T, 1,01T, 1,02T, 1,03T, ... Cơ thể người được đặt trong hình trụ rỗng, xét về mặt từ có thể chia ra làm nhiều lớp : lớp nằm trong từ trường 0,97T, lớp nằm trong từ trường 0,98T v.v... Tần số của chuyển động đảo của mômen từ hạt nhân phụ thuộc vào từ trường ngoài, thí dụ đối với hạt nhân nguyên tử hydro, khi từ trường ngoài là 1T, tần số chuyển động đảo là 42,58 MHz.



Hình 6.6.11. Do B_z có gradien theo z không gian trong hình trụ được chia thành những lớp cắt mỏng vuông góc với z, từ trường $B_o + B_z$ trong mỗi lớp có thể xem là không đổi.

Khi cơ thể nằm trong từ trường ngoài có gradiên theo z, nếu chiếu sóng radio có tần số 42,58 MHz vào cả cơ thể thì chỉ có các hạt nhân nguyên tử hidro nằm trong từ trường 1T mới bị cộng hưởng. Như vậy nhờ cuộn dây tạo ra gradien từ trường theo trục z ta có thể tạo ra cộng hưởng từ hạt nhân chỉ trong một lớp vuông góc với z. Lớp này dày hay mỏng là tuỳ thuộc vào từ trường biến thiên nhanh hay chậm, tức là phụ thuộc độ lớn dH/dz của từ trường. Có thể dịch chuyển vị trí cộng hưởng bằng hai cách :

Cách 1 : giữ nguyên tần số của sóng radio, dịch chuyển gradien từ trường.

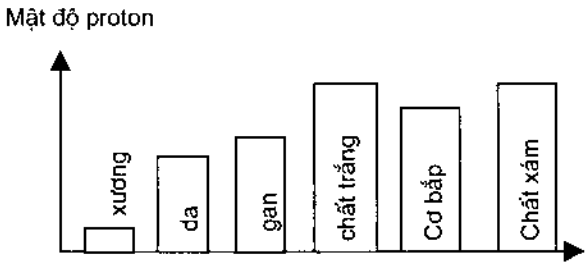
Cách 2 : giữ nguyên gradien từ trường, thay đổi tần số của sóng radio.

Ở máy tạo ảnh cắt lớp cộng hưởng từ có tất cả ba cuộn tạo gradien từ trường theo phương x, phương y và phương z. Phối hợp sử dụng cả ba cuộn, về nguyên tắc có thể tạo ra được cộng hưởng từ trong một phần tử thể tích có toạ độ x, y, z của cơ thể và thu lấy tín hiệu cộng hưởng từ từ thể tích đó phát ra. Co thể điều khiển để chọn một lớp cắt và lần lượt quét phần tử thể tích cộng hưởng theo toàn bộ diện tích của lớp cắt. Từ tập hợp các số liệu về tín hiệu cộng hưởng và vị trí tương ứng máy

http://tieulun.hopto.org

tính có thể tạo ra ảnh cộng hưởng từ của lớp cắt. Thu thập số liệu từ các lớp cắt liên tiếp nhau, máy tính có thể dựng lại ảnh ba chiều trong không gian của đối tượng.

Tuỳ thuộc vào việc lấy tín hiệu cộng hưởng nào để tạo ảnh và cộng hưởng xảy ra đối với hạt nhân nào, ảnh cắt lớp cộng hưởng từ sẽ cho ta các thông tin tương ứng. Thí dụ, tín hiệu cảm ứng suy giảm tự do FID phụ thuộc vào độ lớn của vectơ từ hoá M của phần tử thể tích, mà M lại phụ thuộc vào số mômen từ của proton, do đó tín hiệu này mạnh hay yếu phụ thuộc vào mật độ proton lớn hay nhỏ, từ đó ta có thể lý giải những chỗ đậm nhạt trên ảnh có thể tương ứng với những chất nào.



Thông thường người ta hay sử dụng tín hiệu liên quan đến thời gian hồi phục dọc và ngang. Như đã nêu trên, các thời gian hồi phục T_1 và T_2 rất phụ thuộc phần tử thể tích chứa chất gì: chất nước, chất dịch, não tuỷ, ung thư... Do đó ở ảnh cắt lớp sử dụng các loại tín hiệu T_1, T_2 dễ thấy rõ đâu là máu, đâu là mỡ, đâu là não... và có thể phân biệt máu đang chảy đều trong mạch máu hay mạch máu bị vỡ, máu chảy ngầm ra ngoài. Bằng kỹ thuật xử lý ảnh, những chỗ có tín hiệu cộng hưởng ứng với xương người ta cho màu trắng đục, chỗ ứng với máu có màu đỏ, chỗ ứng với mỡ có màu vàng nhạt v.v... do đó người bác sĩ dễ dàng nhận định khi chẩn đoán bệnh.

So với chụp ảnh cắt lớp bằng tia X (X-ray computed tomography) và một vài cách chụp ảnh dùng hạt nhân phóng xạ, phương pháp chụp ảnh cắt lớp cộng hưởng từ hạt nhân có ưu điểm lớn là không đưa vào cơ thể người bất cứ bức xạ ion hóa nào. Khi chụp ảnh, cơ thể người chỉ chịu ba tác dụng vật lí: từ trường tĩnh rất mạnh $\vec{B}_0$, biến thiên của gradiên từ trường và sóng radiô.

Từ trường tĩnh $\vec{B}_0$ được sử dụng thường vào cỡ 1 Tesla trở lên, mạnh gấp 20000 lần từ trường Trái Đất. Theo nhiều kết quả nghiên cứu từ trường mạnh vào cỡ đó thậm chí đến 2,5 Tesla vẫn chưa có tác hại gì đến cơ thể. Còn gradiên từ trường khi biến thiên mạnh cũng chỉ gây ra trong cơ thể dòng điện cảm ứng với mật độ dòng vào cỡ $1\mu A.cm^{-2}$. Giá trị này cũng quá nhỏ không gây hại gì. Dưới tác dụng của sóng radio chiếu vào, cơ thể chỉ hấp thụ hết 0,7 W, tương ứng chỉ có thể làm nhiệt độ cơ thể tăng cỡ 0,1-0,2 °C.

Điều hạn chế của phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân là trong cơ thể không được có mảnh kim loại, vật liệu từ, thí dụ mảnh bom, viên đạn còn sót lại nếu có dưới tác dụng của từ trường các loại vật liệu từ này sẽ bị hút mạnh và nóng lên. Đặc biệt là những người dùng máy trợ tim, nếu đưa vào từ trường mạnh, máy bị hỏng ngay và người mang máy khó tránh khỏi tử vong.

http://tieulun.hopto.org

Phương pháp chụp ảnh cắt lớp cộng hưởng từ hạt nhân có nhiều ưu điểm so với các phương pháp chụp ảnh cắt lớp khác trong y học. Tín hiệu cộng hưởng để tạo ra độ đậm, nhạt, đen, trắng hay màu sắc trên ảnh rất nhạy cảm với cấu tạo, tổ chức sinh học của cơ thể. Trên ảnh các tổ chức, các chỗ bất thường như mạch máu bị rạn nứt, máu rỉ ra ngoài, khối u nhỏ chèn dây thần kinh... rất dễ phân biệt và phát hiện.

3. Ứng dụng các đồng vị phóng xạ vào y sinh học

3.1. Nguyên lý ghi đo bức xạ ion hóa

Đối với bức xạ ion hoá mắt không nhìn thấy, tay không sờ được, mũi và tai không cảm nhận được. Vì vậy cần có các dụng cụ đặc biệt để ghi nhận và đo bức xạ. Cơ sở của việc ghi đo bức xạ ion hoá là các phản ứng hoá học hoặc hiệu ứng vật lí của sự tương tác giữa bức xạ và vật chất hấp thụ. Về phương diện vật lí, khi khảo sát hệ ghi đo, người ta lưu ý 3 yếu tố sau đây:

- Dạng của vật chất hấp thụ (đặc, lỏng, khí)
- Bản chất của các hiệu ứng vật lí: kích thích hay ion hoá.
- Cách thể hiện kết quả ghi đo, nếu là xung điện thì biên độ xung là cố định hay tỉ lệ với năng lượng hấp thụ được.

Dưới tác dụng của tia phóng xạ, các nguyên tử và phân tử của vật chất bị kích thích và ion hoá, từ đó gây ra các hiệu ứng khác nhau. Mức độ các hiệu ứng đó xảy ra tuỳ thuộc vào bản chất và năng lượng chùm tia. Vì vậy chúng ta có thể dựa vào các hiệu ứng đó để ghi và đo bức xạ ion hoá.

3.2. Các loại đầu dò (detector)

a) Ghi đo phóng xạ dựa vào sự biến đổi hoá học

Đặc tính của một số hoá chất bị biến đổi khi chịu tác dụng của bức xạ ion hoá. Hiện tượng đó được áp dụng rộng rãi nhất trong thực tế là tia phóng xạ gây các biến đổi ở tinh thể muối Halogen bạc trong nhũ tương. Cấu tạo của phim và nhũ tương ảnh bao gồm các tinh thể muối Halogen bạc phân bố đều trong nhũ tương. Độ nhạy của phim phụ thuộc vào mật độ và kích thước của tinh thể muối và bề dày của nhũ tương:

- Phim ảnh có lớp nhũ tương dày khoảng 10μm, kích thước tinh thể khoảng 0,5 ÷ 3 μm. Mật độ tinh thể khoảng 6 x 10^9/cm^3. Phim này thường dùng để ghi đo tia X, tia gamma.
- Nhũ tương hạt nhân có lớp độ dày 5 ÷10 μm, kích thước tinh thể muối là 0,1- 0,4 μm và mật độ là 10^{13}/cm^3. Nhũ tương có hiệu suất tương tác lớn với các bức xạ alpha, bêta và gamma mềm.

Khi tia phóng xạ tương tác vào nhũ tương, các điện tử có thể bị bứt ra khỏi nguyên tử cấu tạo. Các điện tử này có xu hướng tập trung về một điểm trong mạng tinh thể muối bạc. Sau đó các ion Ag^+ cũng bị lôi cuốn về các điểm này và nhận các

http://tieulun.hopto.org

điện tử để trở thành nguyên tử bạc Ag. Số lượng nguyên tử Ag trong điểm đó phụ thuộc vào số điện tử có mặt tức là phụ thuộc vào cường độ chùm tia.

Các nguyên tử Ag có khả năng xúc tác cho tinh thể dễ bị khử. Vì vậy khi nhúng các nhũ tương này vào các dung dịch khử mạnh như hydroquinol, metol thì các tinh thể có các nguyên tử Ag trong đó bị khử còn các tinh thể khác thì không. Tốc độ khử cũng phụ thuộc vào số lượng nguyên tử Ag có trong tinh thể.

Như vậy, sau khi tráng rửa, có thể quan sát được quá trình đó bằng các dụng cụ đo mật độ quang học. Ngày nay người ta dùng các loại phim và nhũ tương để ghi đo phóng xạ trong công việc đo liều hấp thụ cá nhân bằng test- phim, trong kĩ thuật phóng xạ tự chụp (autoradiography), v.v...

b) Ghi đo phóng xạ dựa vào đặc tính phát quang của tinh thể và dung dịch.

Khi hấp thụ năng lượng từ chùm tia phóng xạ, một số tinh thể có khả năng phát quang. Mật độ và năng lượng bức xạ phát ra phụ thuộc vào năng lượng hấp thụ được. Do vậy có thể đo được năng lượng chùm tia đã truyền cho tinh thể bằng cách đo năng lượng chùm tia thứ phát từ tinh thể đó.

Hiện nay tinh thể có đặc tính phát quang thường dùng là:

– Tinh thể muối ZnS phát quang dưới tác dụng của tia X, tia gamma.

– Tinh thể Antraxen phát quang khi hấp thụ năng lượng từ chùm tia bêta.

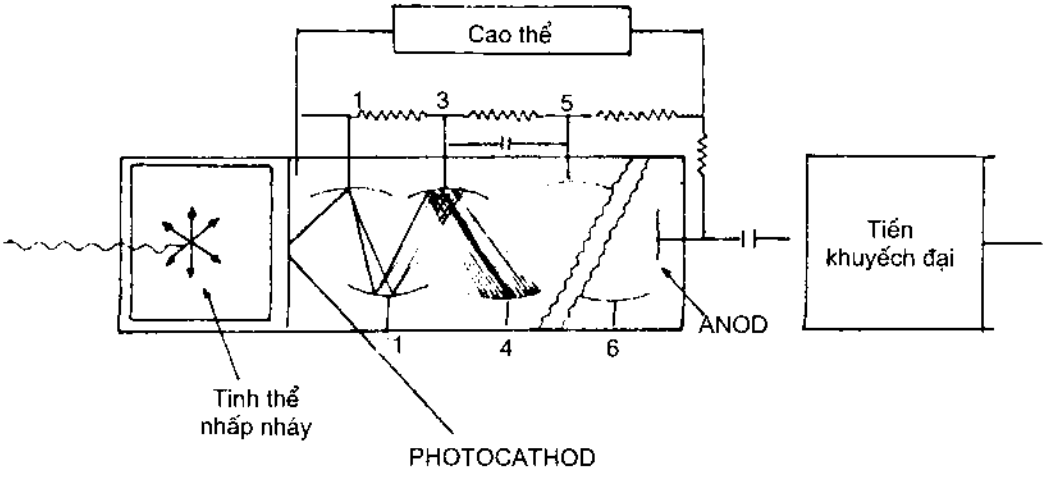
– Dung dịch hỗn hợp PPO (2,5 diphenil oxazol) và POPOP (2,5 phenyloxazol - benzen) hoà tan trong dung môi toluen hay dioxan, phát quang khi hấp thụ năng lượng yếu của các tia bêta phát ra từ ^{3}H và ^{14}C. Dung dịch này là thành phần chính của kĩ thuật ghi đo đặc biệt gọi là kĩ thuật nhấp nháy lỏng, thường dùng trong các nghiên cứu y sinh học.

– Tuy nhiên quan trọng nhất trong các thiết bị dựa vào đặc tính phát quang là ống đếm nhấp nháy. Năm 1940 phát hiện thấy tinh thể Iodua Natri (NaI) trong đó có trộn lẫn một lượng nhỏ Tali (Tl) hoặc tinh thể KI (Tl); CsI (Tl); LiI v.v... có khả năng phát ra một photon thứ cấp (phát quang) khi có bức xạ gamma tác dụng vào. Hiện nay còn nhiều chất nhấp nháy khác là nhấp nháy dẻo, nhấp nháy nước và nhấp nháy khí.

Quan trọng nhất trong loại này là tinh thể muối NaI được hoạt hoá bằng Tl, phát quang dưới tác dụng của tia gamma.Các tinh thể này được dùng để tạo ra đầu dò. Vì năng lượng của chùm tia phát quang rất yếu nên phải được khuyếch đại bằng các ống nhân quang. Kĩ thuật ghi đo bằng tinh thể phát quang có hiệu suất lớn, do vậy ngày càng được sử dụng rất rộng rãi.

Số lượng các photon phát quang (thứ cấp) đó tỉ lệ với năng lượng các tinh thể nhấp nháy hấp thụ được từ tia tới. Trung bình cứ 30- 50 eV năng lượng hấp thụ được sẽ tạo ra một photon phát quang thứ cấp. Như vậy, một tia gamma có năng lượng khoảng 0,5MeV được hấp thụ sẽ tạo ra khoảng 10^4 photon thứ cấp trong tinh thể. Nếu các photon huỳnh quang đó được tiếp xúc với bản photocatod (Hình 6.6.12) thì sẽ tạo ra một chùm các điện tử.

http://tieulun.hopto.org



Hình 6.6.12: Ống nhân quang điện tử (MFT)

Bộ phận tiếp theo của đầu đếm nhấp nháy là ống nhân quang. Ống nhân quang được cấu tạo bởi nhiều bản điện cực có điện thế tăng dần để khuếch đại từng bước vận tốc của chùm điện tử phát ra từ photocatot. Một ống nhân quang có 10-14 đôi điện cực, có thể khuếch đại vận tốc điện tử lên 10^6 đến 10^9 lần. Tuy vậy đó vẫn chỉ là những xung điện yếu cần phải khuếch đại nữa mới ghi đo được.

Ống đếm nhấp nháy dùng tinh thể vô cơ NaI (Tl) ngày nay được dùng rất phổ biến và đạt được hiệu suất đo 20%- 30% đối với tia gamma và 100% với các hạt vi mô. Thời gian chết của chúng cũng rất ngắn (khoảng vài μs mà thôi).

Ống đếm nhấp nháy không những ghi đo được cường độ bức xạ mà còn cho phép ghi đo được phổ năng lượng của chất phóng xạ. Muốn đo phổ năng lượng cần có thêm máy phân tích biên độ.

Với các kĩ thuật hiện đại, người ta có thể tạo được các tinh thể nhấp nháy có kích thước lớn và những hình dạng thích hợp. Từ đó có thể tạo ra các máy móc ghi đo hiện đại sử dụng cho các mục đích khoa học khác nhau. Trong y sinh học có các máy đo bức xạ phát ra từ trong cơ thể, từ toàn thân, từ các phủ tạng sâu hoặc từ các mẫu bệnh phẩm.

c) Ghi đo dựa vào sự ion hoá các chất khí.

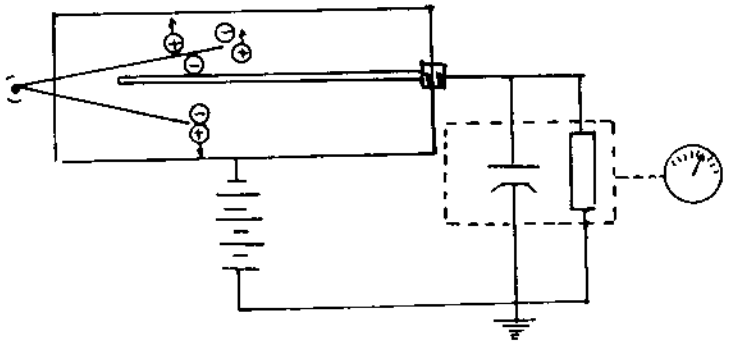
Đây là kĩ thuật ghi đo quan trọng nhất. Có các loại thiết bị sau đây:

- Buồng ion hoá dùng để đo liều cá nhân, chuẩn liều (Calibrator) và báo hiệu phóng xạ (Laboratory Monitor)
- Ống đếm tỉ lệ.
- Ống đếm Geiger- Muller (G.M)

Để hiểu rõ cơ chế hoạt động và chức năng của từng loại chúng ta khảo sát hiện tượng ion hoá các chất khí:

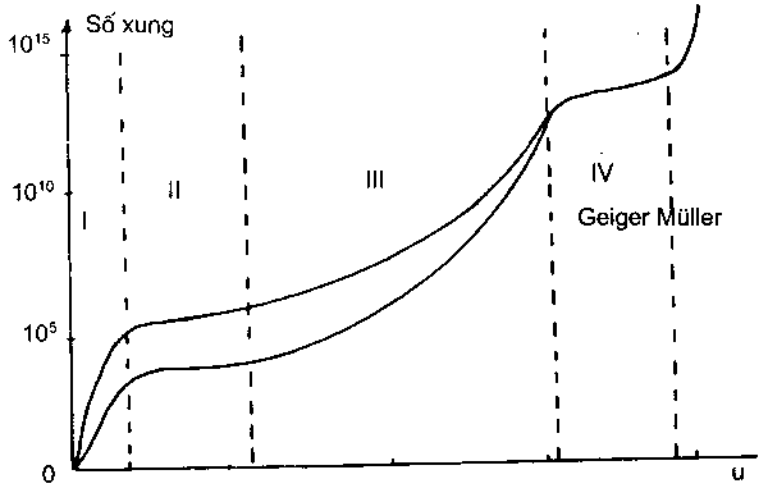
http://tieulun.hopto.org

d) Hiện tượng ion hoá các chất khí: người ta bố trí thí nghiệm theo sơ đồ như trên hình 6.6.13



Hình 6.6.13

Qua hệ thống tụ điện và trở kháng C – R người ta cung cấp cho 2 điện cực một hiệu điện thế U nhất định. Các chất khí trong điều kiện bình thường là cách điện. Khi bức xạ ion hoá đi qua, các nguyên tử và phân tử khí bị ion hoá. Dưới ảnh hưởng của điện trường giữa 2 điện cực, các ion sẽ chuyển động về các điện cực: ion âm về cực dương và ngược lại. Do đó tạo ra một dòng điện I qua chất khí gọi là dòng điện ion hoá. Khảo sát hiện tượng này với các điện thế khác nhau ta thu được hình ảnh như trên hình 6.6.14.



Hình 6.6.14. Điện thế hoạt động cho các loại ống đếm khí

Sau đây là một vài dụng cụ ghi đo phóng xạ thường dùng:

**) Buồng ion hoá:*

Các buồng ion hoá đều có cấu tạo như trong hình 6.6.13. Điện thế được cung cấp bằng pin, acquy hoặc điện lưới và có giá trị trong đoạn II của hình 6.6.14. Trong

http://tieulun.hopto.org

bình chứa không khí khô ở áp suất bình thường. Buồng ion hoá thường được dùng để đo liều lượng bằng các tĩnh điện kế có bảng thể hiện kết quả là R/h hoặc mR/s. Mỗi loại buồng ion hoá có thể đo được một phạm vi liều lượng khác nhau và được chế tạo với nhiều dạng khác nhau: loại lớn đặt ở phòng thí nghiệm, loại xách tay đi dã ngoại, loại bút cài để đo liều cá nhân v.v...

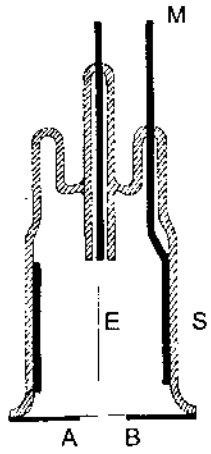
Một dụng cụ đo quan trọng thuộc loại này là buồng chuẩn liều (dose calibrator). Đó là một buồng ion hoá có điện kế chính xác và một bộ phận chứa đựng các ống nghiệm cần xác định liều lượng phóng xạ.

*) *Ống đếm tỉ lệ:*

Cấu tạo của ống đếm tỉ lệ như hình 6.6.15. Có rất nhiều loại ống đếm tỉ lệ và thường được dùng để đo các tia alpha và bêta. Độ lớn của xung tỉ lệ với năng lượng và số bức xạ tới. Loại đơn giản nhất gồm một vỏ bằng thuỷ tinh, ở giữa có một sợi dây bằng vonfram làm cực dương, một lớp kim loại tráng mặt trong ống làm cực âm. Sau khi rút hết không khí bên trong ống, người ta nạp khí metan (CH_4) với áp suất khoảng 10cmHg. Ống đếm tỉ lệ để đo nơtron chậm thường nạp khí BF_3. Khi nơtron va chạm với nguyên tử Bor sẽ gây ra phản ứng sau:

$$^{10}B + n \rightarrow {}^{7}Li + \alpha$$

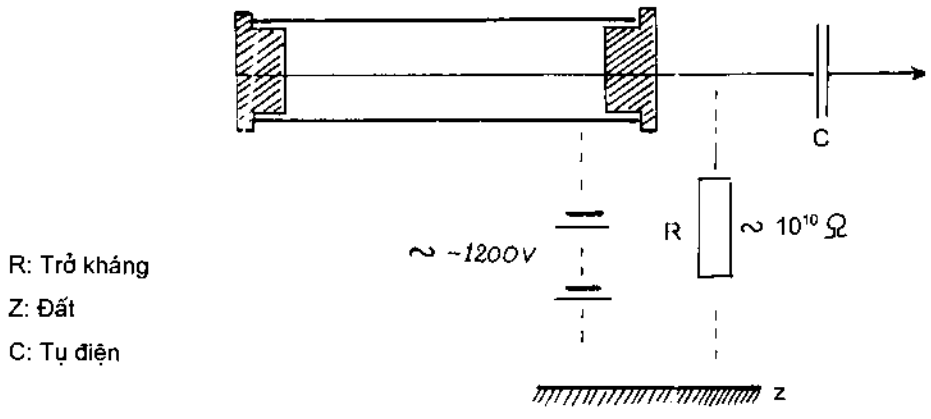
Hạt alpha đó sẽ gây ra sự ion hoá để ghi đo được.



Hình 6.6.15. M cực âm, E cực dương
S: thành thuỷ tinh;
AB cửa sổ mỏng

*) *Ống đếm G.M*

Ống đếm G.M là dụng cụ ghi đo phóng xạ được sử dụng rất rộng rãi. Có nhiều loại ống đếm G.M với công dụng và tính chất khác nhau nhưng nguyên tắc làm việc đều giống nhau. Có hai loại thông dụng là ống đếm khí hữu cơ và ống đếm khí Halogen.

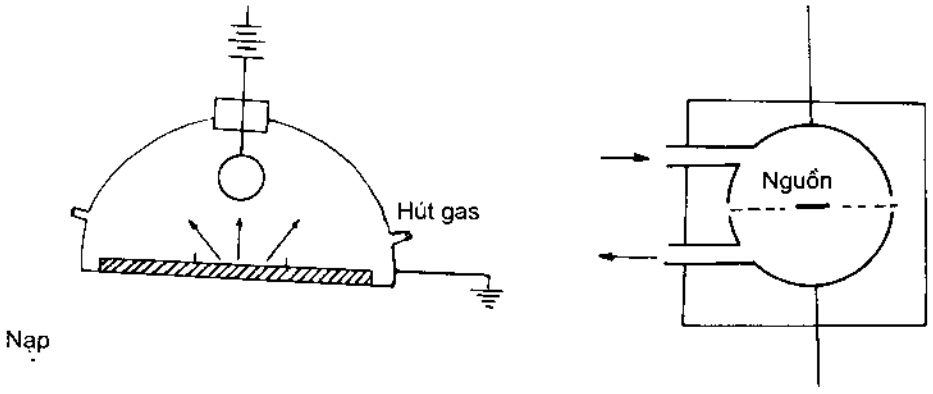


Hình 6.6.16: Ống đếm G.M và buồng ion hoá

http://tieulun.hopto.org

– Ống đếm khí hữu cơ:

Vỏ ngoài ống đếm hữu cơ thường bằng thuỷ tinh, hình chuông, đường kính khoảng 20mm. Chính giữa có một cực dương làm bằng sợi vonfram rất mảnh với đường kính khoảng 0,1mm. Cực âm là một lá đồng cuộn ở trong lòng ống thủy tinh nối với một sợi vonfram ra ngoài. Đáy ống làm bằng lá mica mỏng thường được gọi là cửa sổ để cho các bức xạ bêta yếu có thể lọt qua. Sau khi hút hết không khí bên trong, người ta nạp các khí hữu cơ (hơi rượu Etylic, Benzen, Isopentan v.v...) với áp suất khoảng 1 mmHg và khí trơ (thường là Argon) áp suất khoảng 9mmHg.



Hình 6.6.17: Ống đếm tỷ lệ

– Ống đếm Halogen:

Cực dương của ống đếm G.M loại Halogen ở giữa cũng là sợi dây vonfram. Cực âm là một ống thép không gỉ cuộn bên trong hoặc dùng kĩ thuật phun muối $SnCl_2$ vào mặt trong ống.

Các khí Halogen như Brom,Clo v.v... được bơm vào trong ống thay cho khí hữu cơ ở loại trên. Loại ống đếm Halogen để đo tia bêta và gamma.

Các khí hữu cơ hoặc Halogen có tác dụng hấp thụ bớt năng lượng được sản sinh ra trong quá trình ion hoá để dập tắt nó, tạo ra các xung điện ngắn.

Điện áp làm việc của ống đếm G.M nói chung nằm ở đoạn IV trên hình 6.6.16. Cơ chế tạo xung như đã trình bày ở trên. Một yếu tố quan trọng của ống đếm G.M là thời gian chết. Nó có ý nghĩa như sau: Khi bức xạ lọt vào trong ống đếm, sẽ gây nên ion hoá các phần tử khí. Cường độ điện trường tác dụng lên các ion rất mạnh gây nên sự ion hoá thứ cấp và số lượng ion được sản sinh nhiều lên. Tuy vậy các điện tử (ion âm) có khối lượng nhỏ dịch chuyển nhanh hơn về cực dương còn các ion dương có khối lượng lớn dịch chuyển chậm hơn về cực âm. Trong một thời gian nhất định nào đó, các ion dương tạo ra một màn chắn xung quanh cực dương làm cho cường độ điện trường bị giảm đi. Lúc này nếu có một tia khác lọt vào ống đếm thì sẽ không ghi nhận được. Mãi đến khi lớp ion dương đó đã hoàn toàn bị cuốn hút về cực âm, điện trường hồi phục lại như cũ thì ống đếm mới ghi nhận được tia mới. Thời gian giữa 2 lần ống đếm có thể ghi nhận được ấy gọi là thời gian chết của ống đếm. Độ dài của nó khoảng 100- 300 μs đối với ống đếm G.M.

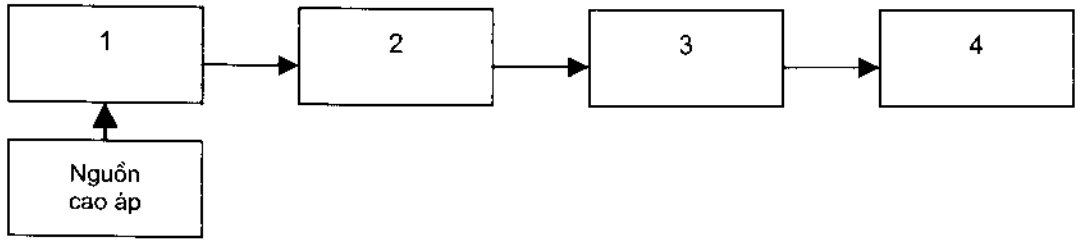
http://tieulun.hopto.org

Một đặc trưng nữa của ống đếm G.M. là hiệu suất đếm. Đó là xác suất để một bức xạ lọt và ống có thể được ghi nhận. Hiệu suất đối với tia bêta là 100% nhưng với tia gamma chỉ khoảng 1%. Sở dĩ thế vì sự ion hoá trực tiếp các phân tử khí của tia gamma rất nhỏ.

Đó là các nguyên tắc chung về ghi đo phóng xạ. Trong y tế thường có các trang bị đặc biệt mà kết quả đo được thể hiện bằng con số, đồ thị, hình ảnh phân bố và mật độ phóng xạ tại các mô, phủ tạng hoặc hệ thống hoạt động chức năng của cơ thể. Các kĩ thuật đó giúp xác định sự có mặt (định tính) và sự biến đổi về liều lượng và mật độ phóng xạ (định lượng). Trên cơ sở các thông số đó người ta có thể suy đoán được các hoạt động chức năng sinh lí và bệnh lí của tế bào, mô, phủ tạng trong cơ thể.

3.3. Hệ ghi đo phóng xạ và thể hiện kết quả thường dùng trong y học

Để chẩn đoán và điều trị bệnh cần phải ghi đo bức xạ phát ra, một hệ ghi đo bình thường cần có các bộ phận như trong hình 6.6.18. Nó bao gồm:



1) Đầu đếm. 2) Bộ khuyếch đại. 3) Phân tích phổ và lọc xung.
4) Bộ phận thể hiện kết quả: xung, đồ thị, hình ảnh.

Hình 6.6.18: Hệ ghi đo phóng xạ

a) Đầu đếm (detector)

Đây là bộ phận đầu tiên của hệ ghi đo. Chúng là những đêtectơ đã mô tả ở phần trên. Tuỳ loại tia và năng lượng của nó, đặc điểm của đối tượng được đánh dấu và mục đích yêu cầu chẩn đoán mà ta lựa chọn đầu đếm cho thích hợp. Nếu để đo các bức xạ bêta yếu (như của H-3, C-14) chúng ta phải sử dụng đầu đếm nhấp nháy lỏng. Đó là một kỹ thuật đặc biệt, khá phức tạp, không đề cập kỹ ở đây. Nếu tia beta có năng lượng mạnh hơn hoặc tia gamma có thể dùng ống đếm G.M làm đầu đếm. Đầu đếm này thấy ở các thiết bị cảnh báo hoặc rà ô nhiễm phóng xạ. Các ống đếm tỷ lệ, các buồng ion hoá cũng thường được dùng như một đetectơ để tạo nên liều lượng kế. Hiện nay trong lâm sàng hầu hết các thiết bị chẩn đoán đều có các đầu đếm bằng tinh thể phát quang rắn INa (Tl). Tinh thể đó có thể có đường kính nhỏ như máy ghi đo độ tập trung iod tuyến giáp, hình giếng trong các liều kế hoặc máy đếm xung riêng rẽ hay trong máy đếm tự động các mẫu của xét nghiệm RIA và IRMA. Đầu đếm cũng có thể là một tinh thể nhấp nháy lớn có đường kính

http://tieulun.hopto.org

hàng chục cm hoặc được ghép nối lại để có đường kính đến 40 - 60 cm trong các máy ghi hình cắt lớp phóng xạ SPECT và PET.

b) Nguồn cao áp (High voltage)

Các đầu đếm hoạt tính dưới một điện thế nhất định. Đa số đầu đếm cần đến nguồn cao áp và được gọi là nguồn nuôi. Điện thế hoạt tính của chúng có khi lên đến hàng nghìn vôn. Vì vậy trong hệ ghi đo cần có bộ phận để tăng điện thế từ nguồn điện lưới lên đến điện thế hoạt tính xác định riêng cho mỗi loại đầu đếm.

c) Bộ phận khuếch đại (Amplifier)

Xung điện được tạo ra qua đầu đếm thường rất bé, khó ghi nhận. Do vậy cần phải khuếch đại chúng lên. Có thể có nhiều tầng khuếch đại và cũng có nhiều kỹ thuật để khuếch đại. Nhờ các tiến bộ về điện tử học, các kỹ thuật khuếch đại bằng đèn điện tử thông thường ngày nay đã được thay thế bằng các bóng bán dẫn và các kỹ thuật vi mạch có nhiều ưu điểm hơn.Bộ phận khuếch đại này không những làm tăng điện thế và biên độ của xung mà còn làm biến đổi hình dạng xung cho sắc nét để dễ ghi đo hơn.

d) Máy phân tích phổ năng lượng bức xạ (Spectrometer)

Chùm bức xạ phát ra từ nguồn phóng xạ thường bao gồm nhiều tia với những năng lượng khác nhau. Mỗi một đồng vị phóng xạ có một phổ xác định với những đặc điểm của giải năng lượng, đỉnh (Peak) của phổ. Một thiết bị đặc biệt để phân biệt năng lượng tia beta hoặc gamma và xác định phổ của chùm tia được gọi là máy phân tích phổ. Nhờ máy phân tích phổ chúng ta có thể xác định được đồng vị nào qua dạng phổ năng lượng.

Kèm theo máy phân tích phổ có thể có bộ phận chọn xung trong hệ ghi đo. Bộ chọn xung (dyscriminator) là thiết bị điện tử để cho những xung điện có biên độ nhất định lọt qua và đi vào bộ phận đếm. Tùy yêu cầu có thể chúng ta chỉ chọn những xung có biên độ nhất định, không quá lớn và không quá bé. Vì vậy có thể xác định ngưỡng trên hoặc ngưỡng dưới của biên độ xung.

Trong các máy đếm xung thông thường người ta chỉ sử dụng một ngưỡng dưới nghĩa là cắt bỏ những xung quá yếu có biên độ quá thấp. Giá trị ngưỡng này phải lựa chọn tuỳ theo năng lượng phát ra của từng đồng vị phóng xạ.

e) Bộ phận thể hiện kết quả

* Đếm xung:

Yêu cầu lâm sàng trong y học hạt nhân rất phong phú. Để ghi nhận hoạt tính phóng xạ trong phần tủa (B) và phần tự do (F) khác nhau trong định lượng RIA, người ta đo các ống nghiệm và kết quả được thể hiện bằng số xung (imp/min). Những mẫu bệnh phẩm trong nghiên cứu huyết học, hấp thu qua đường ruột, chuyển hoá các chất trong cơ thể cũng thường được đo bằng xung.

Trong môi trường xung quanh chúng ta bao giờ cũng có một số bức xạ nhất định đang tồn tại. Chúng tác động vào các hệ ghi đo và tạo nên một số xung nhất định được gọi là phóng xạ nền (phông). Hoạt tính nền đó cao thấp tuỳ nơi, tuỳ lúc

http://tieulun.hopto.org

và tuỳ thuộc loại bức xạ. Cần lựa chọn thời gian đo thích hợp tuỳ theo độ lớn của phông so với hoạt tính phóng xạ có trong mẫu để đạt độ tin cậy và độ chính xác nhất định của phép ghi đo.

Vì vậy phải có những xử lý số liệu đo theo thuật toán thống kê Những máy móc hiện đại có thể kèm theo những chương trình phần mềm chuyên dụng để xử lý tự động.

Có thể xác định thời gian cần đo hoặc dung lượng xung tối đa muốn có rồi máy tự động dừng lại khi đạt yêu cầu. Máy đếm xung rất cần trong các Labo nghiên cứu và mong muốn độ chính xác cao với hàng loạt các đồng vị phóng xạ khác nhau. Kỹ thuật đếm xung có thể áp dụng cho cả tia bêta và tia gamma. Nó thường được dùng trong các kỹ thuật in vi tro, nghĩa là các mẫu bệnh phẩm bên ngoài cơ thể.

* Đo dòng trung bình:

Bức xạ tác dụng vào vật chất gây nên các phản ứng tại đó mà trước hết là kích thích hoặc ion hoá vật chất. Tuỳ theo cấu trúc của đầu đếm mà tác dụng đó tạo ra xung điện và đếm xung như vừa nêu ở trên. Cũng có thể tạo ra thiết bị để ghi tổng cộng hiệu quả các tác dụng. Nếu tính theo một đơn vị thời gian đó là đo dòng trung bình.

Ví dụ điển hình của kỹ thuật đo này là thiết bị ion hoá các chất khí đã nêu ở trên. Khi có bức xạ tác dụng vào không khí, các phân tử khí bị ion hoá tạo ra các cặp ion âm và dương. Dưới tác động của điện trường trong buồng, các ion đó dịch chuyển về 2 cực. Tại cực chúng trung hoà bớt điện tích của 2 điện cực và gây nên sự sụt giảm điện thế. Đo độ giảm điện thế hay đo cường độ giòng điện của các ion chuyển dịch chính là đo liều lượng phóng xạ. Vì vậy chúng ta gọi đó là đo tốc độ đếm trung bình hay đo cường độ dòng điện trung bình (dòng trung bình).

Để ghi đo dòng trung bình thường có một bộ phận tích phân (ratemeter). Ratemeter có cấu trúc gồm một tụ điện C và một trở kháng R mắc song song với nhau. Mỗi xung nạp một lượng điện vào tụ C và đồng thời được chuyển qua trở kháng R theo mạch shunt để có thể đo được hiệu quả tổng cộng. Mỗi ratemeter có một hằng số thời gian nhất định tùy thuộc giá trị của C và R.

Kết quả dòng trung bình đo được thể hiện trên một đồng hồ chia độ với kim chỉ thị. Giá trị ta đọc được là giá trị về liều lượng chùm tia. Nếu nó được tiếp nối với bộ phận vẽ đồ thị trên giấy, trên màn hình thì chúng ta có đường đồ thị. Nếu không có thiết bị vẽ đồ thị, ta có thể đo bằng kim chỉ thị tại từng điểm riêng biệt hoặc tại một vị trí nhất định trên cơ thể nhưng theo những mốc thời gian (thời điểm) khác nhau. Từ đó kết nối các kết quả thu được để có đồ thị biểu diễn sự biến đổi hoạt tính theo không gian (vị trí) hoặc thời gian.

Chính vì thế kỹ thuật đo dòng trung bình có ích lợi nhiều trong việc theo dõi sự biến đổi hoạt tính phóng xạ theo thời gian hoặc không gian. Các máy đo đồ thị phóng xạ của thận, tim v.v được cấu tạo theo kỹ thuật này. Kỹ thuật đo dòng trung bình thường được áp dụng đối với tia gamma, có khả năng đâm xuyên lớn. Vì vậy thiết bị này được dùng trong các nghiệm pháp thăm dò in vivo tức là đánh dấu phóng xạ bằng cách đưa vào trong cơ thể và khi đo ta đặt đầu đếm từ bên ngoài cơ thể.

http://tieulun.hopto.org

* Đo toàn thân:

Trong y học hạt nhân và an toàn bức xạ, nhiều lúc cần biết hoạt tính phóng xạ chứa đựng trong toàn cơ thể, chứ không phải chỉ riêng một mô hay phủ tạng. Đó là các trường hợp sau:

– Theo dõi sự biến đổi hoạt tính phóng xạ sau khi được đưa vào cơ thể. Thông tin đó có thể giúp để tính toán sự hấp thu và sự đào thải của hợp chất đánh dấu đưa vào. Thiết bị này vừa chính xác vừa đỡ phiền hà hơn cách đo hoạt tính phóng xạ ở nước tiểu, phân, mồ hôi thải ra và các mẫu bệnh phẩm như máu, huyết tương, xương v.v...

– Theo dõi liều điều trị thực tế đang tồn tại trong cơ thể sau một liều xác định.

– Xác định liều nhiễm phóng xạ vào bên trong cơ thể qua các đường khác nhau (ống tiêu hoá, hô hấp, da...).

– Xác định một số yếu tố cần thiết với độ chính xác cao như thuốc, vitamin, protein, các chất điện giải trao đổi (exchangeable) và đặc biệt là hàm lượng kali trong toàn cơ thể.

Nguyên lý của phương pháp này là tỷ lệ K- 40 phóng xạ và K- 39 đều cố định ở mọi nơi (khoảng 0,0118%). Do đó nếu xác định được hàm lượng K- 40 (bằng cách đo hoạt tính phóng xạ của nó) ta có thể tính ra được hàm lượng K- 39 có trong cơ thể.

Năm 1956 Marinelli lần đầu tiên đã tạo ra máy đo toàn thân bằng cách ghép nhiều đầu đếm lại với nhau. Chúng được kết nối với nhau và sắp xếp sao cho trường nhìn khắp toàn cơ thể và có khoảng cách tương đương nhau. Để đạt được độ chính xác cao các đêtectơ phải đặt trong một phòng có hoạt tính nền thấp (che chắn kỹ).

Độ nhậy của máy phụ thuộc vào tinh thể, độ cao của phông, sự đồng nhất của các tín hiệu từ các đầu đếm khác nhau. Do đó có nhiều loại máy đo toàn thân với các độ nhạy khác nhau.

* Ghi hình

Ghi hình là một cách thể hiện kết quả ghi đo phóng xạ. Các xung điện thu nhận từ bức xạ được các bộ phận điện tử, quang học, cơ học biến thành các tín hiệu đặc biệt. Từ các tín hiệu đó ta thu được bản đồ phân bố mật độ bức xạ tức là sự phân bố dược chất phóng xạ theo không gian của mô, cơ quan khảo sát hay toàn cơ thể. Vai trò và ứng dụng kỹ thuật ghi hình trong y học sẽ được đề cập kỹ ở phần sau.

3.4. Phương pháp đánh dấu phóng xạ

3.4.1. Cơ sở của phương pháp đánh dấu phóng xạ

Cho đến nay việc ứng dụng đồng vị phóng xạ vào chẩn đoán và điều trị đã khá phát triển, bao gồm nhiều kỹ thuật, ứng dụng rộng rãi nhất vẫn là kỹ thuật đánh dấu phóng xạ. Kỹ thuật này dựa vào những đặc điểm sau đây:

Đồng vị phóng xạ và đồng vị bền chịu mọi quá trình sinh lý và sinh hóa như nhau trong tổ chức sống. Nói một cách khác là tổ chức sống từ mức độ phân tử đến

http://tieulun.hopto.org

toàn cơ thể hay cả quần thể nhiều vi sinh vật cũng không phân biệt được đồng vị bền và đồng vị phóng xạ trong hoạt tính sinh học của mình.

Khối lượng các chất đánh dấu thường rất nhỏ và không gây nên một sự ảnh hưởng nào đến hoạt tính của tổ chức sống.

Các kỹ thuật áp dụng trong y học hạt nhân thường là không gây thương tổn (Non - invasive) bởi vì cao nhất cũng chỉ là thủ thuật tiêm tĩnh mạch.

Liều chiếu xạ cho bệnh nhân thường là nhỏ hơn hoặc bằng của nghiệm pháp tương đương khi dùng tia X. Hơn thế nữa với một liều chiếu nhất định từ đồng vị phóng xạ chúng ta có thể khảo sát hoặc ghi hình nhiều lần trong khi dùng tia X liều xạ sẽ tăng lên theo số lần chiếu chụp.

Chất đánh dấu (Tracer) lý tưởng nhất cần có các đặc điểm sau đây:

- Có tính chất hoàn toàn giống như đối tượng cần khảo sát.
- Chất đánh dấu được hấp thụ hoàn toàn, nhanh chóng và chỉ riêng ngay tại cơ quan, mô cần khảo sát (Target Organ).
- Nồng độ của nó ít thay đổi tại chỗ trong suốt quá trình khảo sát.
- Sau khi khảo sát xong, nó nhanh chóng và hoàn toàn được đào thải ra khỏi cơ thể.
- Bức xa phát ra từ chất đánh dấu dễ dàng ghi đo được bằng các phương tiện sẵn có (Loại tia, năng lượng tia).
- Tạo ra liều hấp thụ thấp nhất.

3.4.2. Các ứng dụng của phương pháp đánh dấu

a) Thăm dò chức năng các tế bào, mô, cơ quan hay hệ thống trong cơ thể sống:

Nghiệm pháp này bao gồm:

- Chức năng hấp thụ, chuyển hóa, đào thải...
- Động học của các quá trình như của hệ tuần hoàn, tiết niệu.
- Hàm lượng và nồng độ của các yếu tố thành phần hoặc nồng độ của các hợp chất sinh học trong một đối tượng khảo sát nào đó như hàm lượng các chất điện giải, thể tích các dịch trong cơ thể, thể tích máu, khối lượng hồng cầu... nồng độ các enzym, các hormon trong máu, trong mô...

Từ các giá trị và nồng độ đó ta có thể đánh giá được các chức năng cơ bản của tổ chức sống hay cơ quan.

Các giá trị thu được có thể là các đồ thị, biểu đồ, số xung hoặc giá trị tuyệt đối của hàm lượng.

Để thu được các nồng độ đó có thể đo từng mẫu ở từng thời điểm khác nhau, đếm xung hoặc đo hoạt tính tổng cộng; có thể đo ở mẫu rời (in vitro) hoặc đo ngay trên cơ thể bệnh nhân (in vivo) có thể bằng những phép so sánh đối chiếu hoặc xác định giá trị tuyệt đối từ các mẫu đo.

http://tieulun.hopto.org

b) Định lượng bằng kỹ thuật RIA và IRMA

Thực ra kỹ thuật này cũng là để đánh giá và thăm dò chức năng của các tuyến nội tiết, mô hay phủ tạng.

Tuy vậy do cơ sở khoa học của kỹ thuật và khả năng ứng dụng rộng rãi của nó trong chẩn đoán và nghiên cứu, người ta tách riêng thành một nội dung của y học hạt nhân. Ngày nay nhiều cơ sở y học và khoa học có thể chỉ xây dựng riêng Labo RIA và IRMA để phục vụ cho công việc của mình.

Năm 1960 kỹ thuật định lượng miễn dịch phóng xạ (RIA) được khởi đầu bằng Yellow và Berson với insulin. Do phát minh này mà họ được giải Nobel y học.

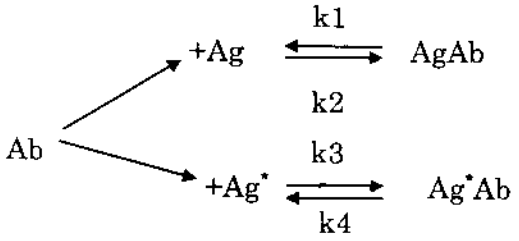
Đầu tiên kỹ thuật này chỉ dùng định lượng cho các hormon peptid, về sau mở rộng ra dùng được cho các hợp chất sinh học khác nhưng có tính kháng nguyên. Với các chất có trọng lượng phân tử nhỏ như vitamin, thuốc, steroid tuy không có tính kháng nguyên nhưng nếu gắn được với một protein thì cũng có thể tạo ra được kháng thể và do đó phương pháp được áp dụng rất rộng rãi.

Kỹ thuật này cho phép định lượng đến cỡ nanogram (10^{-9}g) và picogram (10^{-12}g) vì tính đặc hiệu rất cao của phản ứng miễn dịch. Ngoài ra nó còn cho phép tự động hóa đo mẫu để xét nghiệm hàng loạt.

Nguyên lý của phương pháp:

Kháng nguyên dù đánh dấu phóng xạ hay không sẽ kết hợp với kháng thể đặc hiệu tạo ra phản ứng miễn dịch và có phức hợp mới. Phản ứng được xẩy ra theo quy luật khối lượng và năng lượng mạnh nên phức hợp tạo ra đạt độ bền vững lớn. Tuy vậy đây là phản ứng thuận nghịch nên có trạng thái cân bằng động.

Cơ sở của kỹ thuật RIA là hiện tượng cạnh tranh giữa kháng nguyên đánh dấu và không đánh dấu khi kết hợp với kháng thể. Nếu cho một lượng hạn chế kháng thể thì khi kháng nguyên không đánh dấu (chất muốn định lượng) trong mẫu tăng, phức hợp KT + KN* đánh dấu sẽ giảm.



Ở trạng thái cân bằng động ta có:

$$K = \frac{k1}{k2} = \frac{AgAb}{Ag + Ab}$$

$$K^* = \frac{k3}{k4} = \frac{Ag^*Ab}{Ag^* + Ab}$$

$$K = K^*$$

http://tieulun.hopto.org

Vì vậy khi phần gắn Ag*Ab (Bound = B) giảm thì phần Ag* tự do (free = F) sẽ tăng lên. Do đó tỷ lệ B/F có giá trị lớn.

Xác định kết quả bằng cách so sánh với đồ thị chuẩn mà trục tung là tỷ lệ của B/F mẫu và trục hoành là nồng độ chất cần xác định. Cũng có thể tính toán theo tương quan B/T hoặc B/Bo thay cho tỷ lệ B/F và nồng độ. Trong đó T là tổng hoạt tính mẫu (B+F) và Bo là phần gắn (bound fraction) ở điểm 0 của đồ thị (nồng độ = 0). Về sau kỹ thuật này đã được cải tiến thành phương pháp miễn dịch phóng xạ không cạnh tranh: Immunioradiometric assay (IRMA) do Miller và Hales đề xướng năm 1968 nhưng mãi đến năm 1980 mới được ứng dụng rộng rãi trong lâm sàng. Nguyên lý của nó là chất cần định lượng (hormon chẳng hạn) vẫn đóng vai trò Ag nhưng lúc này không cho vào máu Ag* và Ab thường để kết hợp như trong RIA nữa mà cho Ab* đánh dấu. Lượng Ab* cho thật dư thừa thì hoạt tính phóng xạ của phần gắn (B) Ab*Ag sẽ tỉ lệ thuận với nồng độ chất cần định lượng Ag.

Kỹ thuật này cho phép ứng dụng các Ab đơn giòng (monoclonal) nên cho các kết quả với độ đặc hiệu và chính xác cao hơn RIA.

Để thực hiện được kỹ thuật RIA hoặc IRMA cần có :

- Chất đánh dấu phóng xạ Ag* hoặc Ab*.
- Chất gắn đặc hiệu: kháng thể (Ab)
- Hệ thống để tách riêng phần B và F.
- Chất cần định lượng để lập đồ thị chuẩn.

Như vậy 2 khâu quan trọng mà một labo riêng phải tự làm được là tạo ra Ab* hoặc Ag* và Ab đặc hiệu (Antiserum chứa Ab đặc hiệu đối với Ag nhất định nào đó).

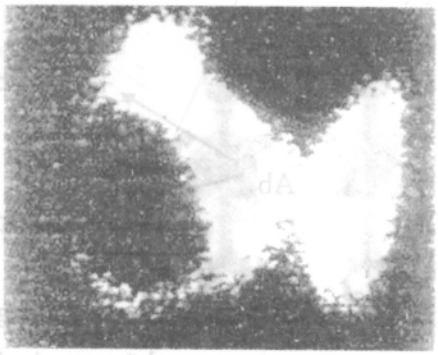
Hiện nay kỹ thuật này đã được áp dụng rộng rãi trong lâm sàng và ở phòng thí nghiệm

c) Ghi hình phóng xạ:

Việc thể hiện bằng hình ảnh (ghi hình) bức xạ phát ra từ các mô, phủ tạng và tổn thương trong cơ thể bệnh nhân để đánh giá sự phân bố các dược chất phóng xạ đánh dấu ở đó cũng ngày càng tốt hơn nhờ vào các tiến bộ cơ học và điện tử, tin học.

Năm 1951 lần đầu tiên B. Cassen đã chế tạo ra máy ghi hình cơ học (Rectilinear Scintigraphe). Người ta đã cải tiến các cách thể hiện trên giấy bản đồ phân bố phóng xạ bằng mật độ nét gạch, con số, màu sắc hoặc độ sáng tối khác nhau trên phim ảnh (1956).

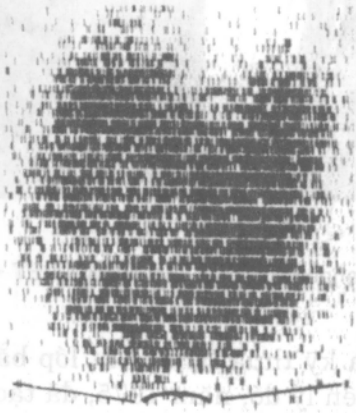
Trong máy ghi hình thẳng được gọi là chụp nhấp nháy (Scintigraphy) người ta phải cho các đầu dò (Detector) di chuyển



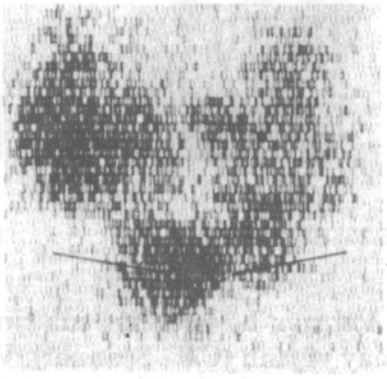
Hình 6.6.19: Trên xạ hình tuyến giáp có vùng không bắt iod phóng xạ ở đáy và giữa thuỳ phải (nhân lạnh) do nang tuyến giáp.

http://tieulun.hopto.org

theo một trật tự nhất định theo kiểu quét (to scan). Điều đó làm mất thời gian, không ghi hình được vùng rộng và nhất là khó theo dõi được biến đổi động học các dược chất phóng xạ ở một mô hay cơ quan nào đó nhất là khi sự biến đổi đó xảy ra nhanh chóng. Năm 1962 tại Mỹ đã sản xuất được đầu dò lớn đầu tiên với đường kính tinh thể nhấp nháy NaI (Tl) đến hơn 20cm. Từ đó chúng ta có một phương tiện ghi hình thuận lợi hơn và được gọi là Planar Gamma Camera.

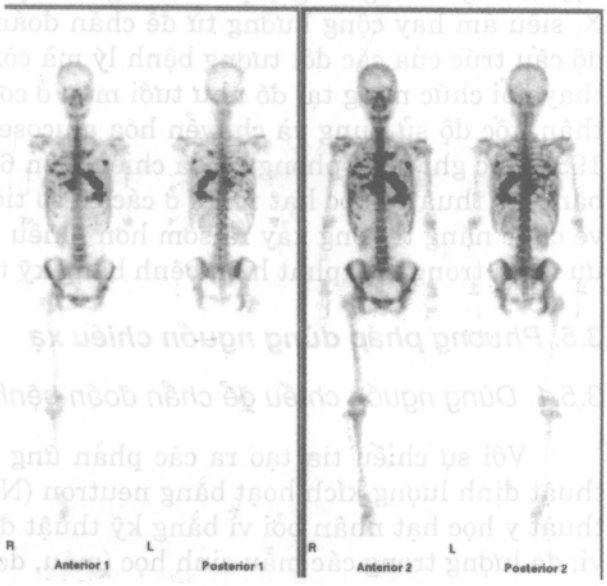


Hình 6.6.20: Xạ hình tuyến giáp trong trạng thái viêm: có một vùng hấp thụ phóng xạ ít ở phần dưới và giữa thuỳ phải.



Hình 6.6.21: Hình ảnh xạ hình với sự hấp thụ tăng (nhân nóng) và giảm (nhân lạnh) ở bướu giáp đa nhân.

Với Gamma Camera công việc ghi hình phóng xạ đã có những tiến bộ vượt bậc vì cho ta những hình ảnh với trường nhìn của đầu dò rộng, và do đó theo dõi được các biến đổi động học nhanh chóng ở tim, thận, gan... Điều đó giúp ích rất nhiều trong công việc chẩn đoán các bệnh gây nên những rối loạn chức năng hoạt tính.



Hình 6.6.22: Xạ hình toàn thân với MDP đánh dấu Tc-99m ở bệnh nhân bị ung thư xương (osteocarcinoma) đã di căn vào phổi. Bệnh nhân đã bị tháo khớp háng chi dưới bên trái.

http://tieulun.hopto.org

Khi có sự tiến bộ vượt bậc và có thể sản xuất được các máy tính điện tử cá nhân nhỏ với các chương trình phần mềm hữu ích, người ta đã gắn các PC này với các Gamma Camera và khai thác được nhiều thông tin hữu ích cho chẩn đoán bệnh.

Hình 6.6.23: Hình chụp PET Hình chụp CT - Scanner Hình chụp PET + CT

Với tiến bộ vượt bậc của tin học, đã tạo ra kỹ thuật chụp cắt lớp bằng tia X bằng máy vi tính (CT - Scanner). Vận dụng nguyên lý đó, năm 1975, đã tạo ra được kỹ thuật chụp cắt lớp bằng các bức xạ photon phát ra từ các đồng vị phóng xạ đã được gắn vào các đối tượng cần ghi hình trước đó: Kỹ thuật SPECT (Single Photon Emission Computerized Tomography). Tiếp theo với những ưu điểm đơn sắc của chùm photon thu được qua hiện tượng huỷ hạt (khi các pozitron gặp electron) trong thiết bị chụp cắt lớp bằng chùm positron (PET - Positron Emission Tomography), kỹ thuật PET đã cho những hình ảnh rất sắc nét với một lượng phóng xạ dùng ít hơn nhiều trong kỹ thuật SPECT.

Ưu điểm nổi bật của SPECT và PET là cho những thông tin về thay đổi chức năng nhiều hơn là những hình ảnh về thay đổi cấu trúc ở các đối tượng ghi hình. Vì vậy không những nó góp phần cùng các kỹ thuật phát hiện bằng hình ảnh của tia X, siêu âm hay cộng hưởng từ để chẩn đoán các thay đổi về kích thước, vị trí, mật độ cấu trúc của các đối tượng bệnh lý mà còn cho người thầy thuốc các thông tin về thay đổi chức năng tại đó như tưới máu ở cơ tim, khả năng thải độc của tế bào gan, thận, tốc độ sử dụng và chuyển hóa glucose ở các tế bào não... Từ đầu những năm 1980 việc ghi hình phóng xạ đã chiếm đến 60 - 70% khối lượng công việc chẩn đoán bằng kỹ thuật y học hạt nhân ở các cơ sở tiên tiến. Chúng ta biết rằng sự thay đổi về chức năng thường xảy ra sớm hơn nhiều trước khi sự thay đổi về cấu trúc. Đó là ưu điểm trong việc phát hiện bệnh bằng kỹ thuật ghi hình phóng xạ.

3.5. Phương pháp dùng nguồn chiếu xạ

3.5.1. Dùng nguồn chiếu để chẩn đoán bệnh

Với sự chiếu tia tạo ra các phản ứng hạt nhân thích hợp cũng có thể coi kỹ thuật định lượng kích hoạt bằng neutron (Neutron Activization Analysis) là một kỹ thuật y học hạt nhân bởi vì bằng kỹ thuật đó chúng ta có thể định lượng các yếu tố vi, đa lượng trong các mẫu sinh học (máu, da, tóc...) để chẩn đoán bệnh.

http://tieulun.hopto.org

Nguyên lý của kỹ thuật này là có thể biến một đồng vị bền thành đồng vị phóng xạ bằng cách bắn các neutron thích hợp vào hạt nhân của đồng vị bền. Người ta xác định hàm lượng đồng vị bền bằng cách đo đếm phóng xạ phát ra từ đồng vị phóng xạ mới được tạo ra sau khi chiếu neutron:

Ví dụ: $^{55}Mn\ (n, \gamma)\ ^{56}Mn$

$^{16}O\ (n, P)\ ^{16}N$

^{55}Mn, ^{16}O là những đồng vị bền (đồng vị mẹ), ^{56}Mn và ^{16}N là những đồng vị phóng xạ (đồng vị con).

Tất nhiên hoạt tính phóng xạ thu được phụ thuộc nhiều yếu tố như:

- Nồng độ của đồng vị mẹ có trong mẫu.
- Thông lượng và đặc điểm của chùm neutron.
- Tiết diện của hiệu ứng.
- Thời gian chiếu.

Khi chiếu neutron vào mẫu có thể xảy ra nhiều loại phản ứng và có nhiều đồng vị phóng xạ con được tạo ra. Vì vậy cần phải phân tách, tinh sạch bằng các kỹ thuật hóa học và vật lý khác nhau. Tuy vậy nó cho phép xác định rất chính xác những yếu tố vi lượng trong cơ thể như: Fe, Sc, Zn, Rb, Mn, Cr, Co, Cu, Cs, K, Th, Au, Mg, Na, Br, As, I... hoặc những yếu tố đa lượng như C, O, N, Ca... trong cơ thể. Từ đó có thể chẩn đoán được nhiều bệnh khác nhau về rối loạn chuyển hóa, hấp thu, tim mạch, tiêu hóa, tâm thần....

3.5.2. Dùng nguồn chiếu trong điều trị

Một ứng dụng nữa trong y học hạt nhân là tác dụng sinh học của tia phóng xạ khi được hấp thụ vào tổ chức sinh học

Ngay từ đầu người ta đã thấy rõ tác dụng diệt tế bào của bức xạ ion hóa và đã sử dụng nó trong nhiều phân ngành khác nhau của sinh học và y học (diệt khuẩn và diệt tế bào bệnh).

Với những hiểu biết ngày càng sâu sắc về cơ chế truyền năng lượng, cơ chế diệt bào, các đặc điểm vật lý của bức xạ, các yếu tố ảnh hưởng của môi trường (nhiệt độ, nồng độ oxy...) ngày càng có nhiều cải tiến về kỹ thuật xạ trị. Đây là sử dụng tác dụng sinh học các bức xạ ion hóa lên các mầm bệnh, tế bào bệnh. Nội dung này đã làm cho y học hạt nhân như một khoa lâm sàng, bởi vì có thể có bệnh nhân điều trị ngoại trú nhưng hầu hết đòi hỏi giường bệnh nội trú cho bệnh nhân. Nó cũng tạo ra những lợi ích thiết thực và luôn luôn đổi mới trong y học. Chúng bao gồm:

a) Điều trị chiếu ngoài (Teletherapy): Với việc sử dụng các tia X, tia gamma cứng và cả các máy gia tốc để diệt các tế bào ung thư.

b) Điều trị áp sát (Brachytherapy): Bao gồm cả lưỡi dao gamma (gamma knife), các nguồn kín (Kim, hạt...) và nguồn hở (Applicator) sử dụng các đồng vị phóng xạ phát ra beta cứng hoặc gamma mềm. Nó bao gồm cả kỹ thuật đơn giản để

http://tieulun.hopto.org

điều trị bệnh ngoài da hoặc kỹ thuật phức tạp như đưa cả nguồn Y - 90 vào khối u tuyến yên hay kết hợp với phẫu thuật để đưa các nguồn xạ kín vào tận các hốc tự nhiên.

Kỹ thuật điều trị áp sát đã được cải tiến rất nhiều làm xuất hiện các phương pháp mới như điều trị nạp nguồn sau (After Loading Therapy), lập kế hoạch điều trị theo kích thước khối u (Dimentional Treatment Planing) hoặc dùng thiết bị đắt tiền (Gamma Knife) để chữa các bệnh về mạch máu trong hộp sọ.

Ngoài các đồng vị phóng xạ cổ điển như Ra - 222, Co - 60, Y - 90 ngày nay người ta còn dùng nhiều đồng vị phóng xạ mới trong điều trị áp sát như Palludium - 107, Samarium - 145, Americum - 241, Yterbrium - 169.

c) Điều trị bằng các nguồn hở (Curietherapy): Đây thực sự là một bước tiến dài và làm thay đổi về bản chất kỹ thuật xạ trị. Dựa vào các hoạt tính chuyển hóa bình thường (tế bào tuyến giáp hấp thụ iode) hoặc thay đổi bệnh lý (khối ung thư hấp thụ những phân tử hữu cơ đặc hiệu) người ta cho các nguồn hở phóng xạ vào đến các tổ chức đích (Target Tissue) bị bệnh để điều trị. Các đồng vị phóng xạ còn được đưa vào các tổ chức đích nhờ vào qúa trình cơ học như đưa vào khí phế quản và phổi nhờ sự thông khí (Ventilation), vào dạ dày (nhờ động tác nuốt), vào các tế bào máu (nhờ tuần hoàn máu)...

Bằng các nguồn phóng xạ hở thích hợp ngày nay chúng ta có thể điều trị được một số bệnh tuyến giáp, bệnh máu, cơ xương khớp, tắc mạch vành và nhiều bệnh ung thư cùng di căn của nó.

3.5.3. Dùng nguồn chiếu trong sinh học

- Tiêu diệt các nấm mốc, vi sinh vật gây hại

Lương thực: thực phẩm có thể bị hư hỏng, kém phẩm chất trong thời gian cất giữ, nhất là vùng nhiệt đới. Nhìn chung sự hao hụt do bảo quản thường là 5% và có khi lên đến 60%. Không phải lúc nào chúng ta cũng xử lý được bằng nhiệt khối lượng lớn. Dùng hoá chất có khi không có kết quả và có thể gây tác dụng xấu cho người sử dụng các lương thực, thực phẩm đó. Chiếu xạ là dễ tiêu diệt nấm, mốc, vi sinh vật, sâu bọ gây hư hỏng lương thực, thực phẩm. Muốn vậy phải dùng những liều rất lớn. Các nghiên cứu cho thấy liều 5.000 - 15.000 R có thể hạn chế sự sinh trưởng của sâu bọ, liều 20.000R có thể giết chết cả trứng sâu. Liều lượng dùng trước hết phụ thuộc vào loài vi khuẩn muốn diệt và môi trường chiếu xạ. Với những liều lớn như vậy người ta còn phải quan tâm đến hậu quả xẩy ra sau chiếu xạ trong lương thực, thực phẩm. Liệu có sự phân huỷ và làm giảm chất lượng dinh dưỡng hoặc làm xuất hiện những chất độc hại mới do chiếu xạ không? Qua nhiều lần thí nghiệm, người ta thấy với liều 7000-10.000R có thể bảo quản khoai tây lâu ngày không nẩy mầm và cũng không gây hại cho sức khoẻ người sử dụng. Khoai tây nẩy mầm là do quá trình tổng hợp acid nhân ở những điểm sinh trưởng. Việc chiếu xạ có thể làm chậm quá trình tổng hợp này lại.

Đối với côn trùng gây hại, ngoài việc tiêu diệt bản thân côn trùng bằng tia xạ, người ta còn muốn tạo ra những thuộc tính di truyền bất lợi như gây vô sinh cho côn trùng đực rồi tung chúng vào môi trường chúng sinh sống. Kỹ thuật này có

http://tieulun.hopto.org

nhiều lợi ích vì với liều khoảng 8000R có thể làm cho con đực mất khả năng sinh sản, tạo ra những trứng ung và do đó sau một thời gian, cả tập hợp côn trùng bị diệt vong.

Từ trước tới nay thường khử trùng dụng cụ y tế, chỉ khâu, thuốc, vaccin bằng hoá chất (thuốc sát trùng, tẩy rửa, cồn v.v...) và nhiệt năng (luộc, hấp, sấy, đốt v.v...). Các cách xử lý đó không phải lúc nào cũng áp dụng được và có thể làm hư hỏng một phần hoặc một phần toàn bộ sản phẩm. Từ sau đại chiến thế giới thứ 2 người ta áp dụng rộng rãi việc dùng bức xạ ion hoá để tiêu diệt các vi sinh vật ở các sản phẩm y tế đã nêu ở trên. Ngày nay nhiều loại thuốc, găng phẫu thuật, dụng cụ tiêm truyền, dụng cụ phẫu thuật được xuất xưởng sau khi áp dụng việc khử trùng bằng bức xạ ion hoá.

Thực ra việc xác định cái chết của vi sinh vật ở đây rất khó. Thông thường chỉ có thể kiểm tra sự "vô trùng" của sản phẩm mà thôi. Lấy những mẫu vật của sản phẩm, ủ trong nhiệt độ thuận lợi cho sự phát triển của vi khuẩn (30°C, 37°C và 55°C). Nuôi cấy tiếp vào những môi trường thích hợp. Nếu không thấy vi khuẩn phát triển (mọc thành các khuẩn lạc hoặc làm thay đổi môi trường nuôi cấy vi khuẩn) thì được coi là "vô trùng".

– Tiêu huỷ hoặc kìm hãm sự phát triển của các tế bào bệnh như tế bào ung thư, tế bào nội tiết cường năng, phát triển quá mạnh v.v...

Dưới tác dụng của bức xạ ion hoá, các tế bào bệnh bị kìm hãm sinh sản hoặc bị phá huỷ, trong lúc đó các tế bào lành xung quanh ít bị hư hại là do độ nhạy cảm phóng xạ của chúng khác nhau và bằng kỹ thuật chuyên môn người ta làm cho liều hấp thụ vào các mô bệnh nhiều hơn ở mô lành.

Có nhiều cách chiếu xạ điều trị. Đó là các kỹ thuật dùng nguồn chiếu đặt từ ngoài cơ thể (teletherapy) hoặc dùng các nguồn gamma yếu, bêta cứng áp sát mô bệnh (Brachytherapy) hoặc đưa các nguồn phóng xạ hở vào tận mô bệnh (Curietherapy).

– Kích thích cây trồng, hạt giống và gây đột biến gen có lợi để tạo giống mới.

Kết quả nghiên cứu cho thấy với một liều nhất định có thể tăng thu hoạch và thúc đẩy sự phát triển của cây. Có thể điều khiển sự sinh trưởng và phát triển của cây trồng bằng cách lựa chọn chiếu xạ vào những thời kỳ phát triển nhất định của cây. Sở dĩ vậy là vì bức xạ đã tác động lên sự phân chia tế bào ở cây. Chiếu những liều nhỏ vào hạt giống trước khi gieo trồng có thể kích thích sinh trưởng nhanh, chống gây bệnh và rút ngắn thời gian thu hoạch.

Các nguồn lớn 50Co và 137Cs thường được dùng vào các mục đích này.

– Bức xạ ion hoá có thể gây nên những biến đổi ở các chất liệu di truyền là ADN và RNA, tạo ra các đột biến. Cơ chế gây đột biến rất phức tạp và tuỳ thuộc vào bức xạ, suất liều, liều lượng, v.v... Người ta đã tiến hành hàng loạt thí nghiệm, chọn lấy các cá thể có xuất hiện những đột biến có lợi, củng cố nó và nhân lên qua nhiều thế hệ. Từ đó có thể tạo ra một giống mới ổn định những thuộc tính mới. Đó là những công việc công phu, kéo dài hàng chục năm. Bảng 6.6.3 cho ta một vài ví dụ đã thu được.

http://tieulun.hopto.org

Cây trồng	Chủng đột biến	Địa điểm và thời gian tạo đột biến	Ưu điểm mới xuất hiện
Cải đầu hè	Regina	Thuỵ Điển, 1953	Năng suất cao
Lúa mạch mùa đông	Jutta	Đức, 1953	Chịu rét, năng suất cao
Yến mạch	Florad	Florida, 1960	Kháng bệnh tàn lụi
Lúa mạch mùa xuân	Mari	Thụy Điển, 1960	Chín sớm
Lúa mì	NP 836	Ấn Độ 1960	Dai cuống, chịu hạn, năng suất cao

3.6. Các nguyên tắc trong kiểm soát và an toàn bức xạ:

a) Chiếu xạ nghề nghiệp:

Liều giới hạn là 20 mSv/năm (cho cả chiếu xạ ngoài và chiếu xạ trong). Một số điểm cần lưu ý:

– Có thể chấp nhận liều chiếu tối đa là 50 mSv/năm trong một năm bất kì nào đó trong 5 năm liên tiếp nhưng liều chiếu trung bình vẫn phải đảm bảo là 20mSv/năm.

– Đối với những công việc cứu chữa khẩn cấp để hạn chế tai nạn, liều chiếu có thể cho phép là 500 mSv cho một lần duy nhất trong suốt quá trình hoạt động nghề nghiệp.

– Giới hạn liều không khác nhau cho cả nam và nữ. Phụ nữ có thai hoặc đang cho con bú không tiếp xúc với nguồn phóng xạ hở. Liều giới hạn trong suốt thời gian có thai là 2 mSv.

b) Chiếu xạ với dân cư:

Liều giới hạn là 1mSv/năm. Trong những trường hợp đặc biệt có thể chấp nhận tăng liều trong một năm duy nhất trong vòng 5 năm như vẫn phải đảm bảo liều trung bình là 1 mSv/năm.

Các tiêu chuẩn cơ bản được thiết lập liên quan tới chiếu xạ ngoài cơ thể. Trong trường hợp có nguy cơ chiếu xạ trong, bên cạnh các tiêu chuẩn cơ bản cần xác lập một số tiêu chuẩn thứ cấp. Các tiêu chuẩn thứ cấp là nồng độ tối đa cho phép (NĐTĐCP). Để tính NĐTĐCP cần phải xác định nguồn xạ, đường thâm nhập các chất phóng xạ vào trong cơ thể, xác lập các đặc trưng của cơ thể người hay một số cơ quan đặc hiệu nào đó.

3.7.Các biện pháp chủ yếu để đảm bảo an toàn phóng xạ

a) Các phương pháp bảo vệ khi làm việc với nguồn bức xạ kín:

Nguồn bức xạ kín là nguồn có kết cấu kín và chắc chắn không để chất phóng xạ của nguồn lọt ra môi trường bên ngoài khi sử dụng, bảo quản và ngay cả khi vận chuyển.

Các nguồn bức xạ kín dùng trong y tế như máy chụp chiếu X quang, các nguồn Co-60, Cs-137, kim Radi dùng để điều trị các khối u...

http://tieulun.hopto.org

Từ định nghĩa trên ta thấy rằng nhân viên làm việc với nguồn kín chỉ có thể bị chiếu ngoài, vì vậy mọi biện pháp bảo vệ đều được đặt ra trong điều kiện đó.

*) Bảo vệ bằng rút ngắn thời gian tiếp xúc.

Rút ngắn thời gian tiếp xúc với phóng xạ là biện pháp đơn giản nhưng rất có hiệu quả để giảm liều chiếu. Thạo nghề là yếu tố quan trọng để giảm thời gian tiếp xúc với phóng xạ. Muốn vậy nhân viên phải luyện tập thao tác rất thành thạo và chuẩn bị kĩ lưỡng trước khi bắt đầu một công việc có tiếp xúc với phóng xạ. Đối với một thao tác mới nên tập trước với mô hình không phóng xạ cho đến mức thành thạo mới bắt đầu làm với phóng xạ. Trong chụp chiếu X quang, có thể giảm liều chiếu cho cả nhân viên và bệnh nhân nếu phòng X quang thực sự tối và thày thuốc trước đó đã ngồi trong phòng đủ lâu để mắt thích nghi với bóng tối.

Với các chất thải phóng xạ có hoạt độ lớn phải giữ chờ đến lúc hoạt tính xuống đến mức an toàn mới xử lí.

*) Bảo vệ bằng tăng khoảng cách với nguồn xạ

Tăng khoảng cách từ nguồn tới người làm việc cũng là một biện pháp đơn giản và đáng tin cậy. Để tăng khoảng cách người ta thường dùng các biện pháp sau: sử dụng cặp dài, thao tác từ xa. Trong những cơ sở đặc biệt có sử dụng nguồn phóng xạ có hoạt tính cao, người ta thường dùng người máy hoặc các thiết bị điều khiển tự động.

*) Bảo vệ bằng che chắn

Khi không thể kéo dài khoảng cách hơn nữa hoặc một biện pháp dùng khoảng cách không đủ người ta thường dùng các tấm chắn để hấp thụ một phần năng lượng của bức xạ. Theo công dụng, tấm chắn chia làm 5 loại:

– Tấm chắn dạng bình (côngtenơ) chứa chủ yếu dùng để bảo quản và vận chuyển chất phóng xạ trong trạng thái không làm việc, khi muốn chuyển sang trạng thái làm việc, một cửa sổ của bình chứa được mở ra.

– Tấm chắn là một thiết bị (glove box, hoot) bao bọc toàn bộ nguồn phát trong trạng thái làm việc có tác dụng che chắn để công suất liều bên ngoài không vượt quá mức cho phép.

– Tấm chắn di động dùng để bảo vệ chỗ làm việc của nhân viên và thường di chuyển được trong một vùng nhất định (ví dụ: Tấm chắn di động của bác sĩ X quang).

– Tấm chắn là một bộ phận của các công trình xây dựng: tường, trần, cửa nhà được thiết kế đặc biệt để bảo vệ cho các vùng lân cận.

– Tấm chắn bảo hiểm cá nhân như áo giáp, kính chì, quần áo, găng tay, ủng pha chì dùng để bảo vệ cho nhân viên và bệnh nhân trong quá trình chẩn đoán và điều trị bằng phóng xạ.

+ Với tia X và gamma, nguyên liệu tốt nhất là chì. Nhưng để giảm giá thành người ta có thể dùng những vật liệu rẻ hơn như gang, bê tông, bê tông trộn barit, bê tông cốt sắt. Ngay cả nước và gạch cũng có thể được dùng để cản tia.

+ Với bức xạ bêta, vật liệu thường được dùng ở đây là thuỷ tinh thường, thuỷ tinh hữu cơ pha chì, chất dẻo, nhôm.

http://tieulun.hopto.org

+ Đối với nguồn neutron mạnh cần các vật liệu có chứa một số lớn nguyên tử hydro (bêtông, nước) hoặc Bor, cadmi, chì và bêtông.

Công suất liều và các dạng bức xạ quyết định chiều dày và nguyên liệu của màn chắn. Khi lựa chọn nguyên liệu cần phải phân tích đến cả 3 yếu tố: công nghệ, hiệu quả và giá cả.

b) Các nguyên tắc bảo vệ khi làm việc với nguồn phóng xạ hở

Nguồn phóng xạ hở là nguồn mà chất phóng xạ có thể làm ô nhiễm môi trường khi sử dụng.

Nhân viên làm việc với nguồn phóng xạ hở không những bị chiếu ngoài mà còn có nguy cơ bị chiếu trong do các chất phóng xạ có thể thâm nhập vào cơ thể qua 3 con đường: hô hấp, tiêu hoá, da. Vì vậy khi làm việc với nguồn phóng xạ hở phải thực hiện cả 2 biện pháp: an toàn chống chiếu ngoài và an toàn chống chiếu trong. Do vậy cần thực hiện tất cả các biện pháp bảo vệ như khi làm việc với nguồn phóng xạ kín. Ngoài ra do có khả năng rơi vãi dây rớt chất phóng xạ nên còn cần chú ý thêm các biện pháp sau đây:

*) Phân vùng làm việc

Phân vùng làm việc là biện pháp nhằm cách li công việc có tiếp xúc với phóng xạ khỏi những công việc có chức năng khác.

Vùng làm việc trong cơ sở có sử dụng chất phóng xạ hở được phân theo nguyên tắc: liều phóng xạ giảm dần từ trong ra ngoài hoặc từ dưới lên trên nếu cơ sở có nhiều tầng.

*) Thông khí

Thông khí tốt nhằm giữ cho nơi làm việc có hoạt tính phóng xạ thấp. Nguyên tắc chung là không khí thổi từ nơi có hoạt tính cao đến nơi có hoạt tính thấp. Có thể kết hợp thông khí với lọc khí để giữ bụi và lọc các khí có hoạt tính phóng xạ. Thông thường là các tủ hốt trong các Labo.

*) Thường xuyên kiểm tra ô nhiễm phóng xạ

– Đo ô nhiễm bề mặt làm việc

Để kiểm tra nhiễm xạ người ta dùng các detector GM, nhấp nháy, buồng ion hoá... rà trên bề mặt làm việc với các chất phóng xạ. Với bức xạ alpha máy rà không được cao quá 5mm và di chuyển không nhanh hơn 15cm/giây, với bức xạ bêta khoảng cách đó là 2,5-5 cm với tốc độ 10-15 cm/giây.

– Đo nhiễm xạ cơ thể

+ Đo nhiễm xạ ngoài: dùng máy phát hiện phóng xạ rà trên quần, áo và ngoài da.

+ Đo nhiễm xạ trong bằng phương pháp trực tiếp hay gián tiếp.

Phương pháp trực tiếp: bằng máy đếm toàn thân

Phương pháp gián tiếp: bằng việc đo hoạt tính các vật phẩm sinh học: như máu, nước tiểu, mồ hôi, nước mũi, đờm, khí thở ra...

http://tieulun.hopto.org

* Xử lí các chất thải phóng xạ.

Muốn đảm bảo được sự trong sạch của môi trường về mặt phóng xạ, một trong vấn đề được đặc biệt quan tâm là xử lí các chất thải phóng xạ. Trong y tế có 2 loại chất thải:

– Chất thải rắn: gồm ống kim tiêm dùng một lần, các đồ thuỷ tinh đựng chất phóng xạ bị vỡ, giấy, bông dùng để thấm các dung dịch phóng xạ dây vãi trong khi pha chế liều.

– Các chất thải lỏng: các dung dịch dược chất phóng xạ thừa, nước rửa các dụng cụ có chứa phóng xạ, chất thải của bệnh nhân chẩn đoán hay điều trị với dược chất phóng xạ, chất nôn của bệnh nhân, nước giặt đồ vải bị nhiễm phóng xạ,...

Các chất thải rắn được thu gom trong các bao bì bằng chất dẻo và hàng ngày đưa vào bể thải. Các bể thải này được xây cất tại một nơi riêng biệt , được che chắn và bảo vệ chờ phân rã phóng xạ đến mức quy định, sau đó được thải ra môi trường như rác thường.

Chất thải lỏng trong chẩn đoán và điều trị với liều 15 mCi có thể đưa thẳng vào hệ thống cống thải của thành phố. Trường hợp với liều đặc biệt cao như trong điều trị ung thư giáp bằng I-131 phải dùng hố xí có cấu trúc đặc biệt để xử lí riêng.

c) Đối với các nhân viên bức xạ :

Đó là những người thường xuyên phải tiếp xúc với nguồn bức xạ cần áp dụng những biện pháp sau đây để hạn chế liều nhiễm và đề phòng các rủi ro.

* Thực hiện đầy đủ các nội quy vệ sinh cá nhân:

– Khi làm việc phải sử dụng phương tiện phòng hộ cá nhân như quần áo phòng hộ,mũ, găng tay , áo chì, tạp dề chì phù hợp với từng loại công việc.

– Tuân thủ các quy định về an toàn bức xạ.

– Không dùng mồm hút pipet phóng xạ.

– Không hút thuốc, ăn uống, trang điểm trong phòng làm việc có chứa chất phóng xạ.

– Trước khi ra khỏi nơi làm việc với chất phóng xạ, phải kiểm tra nhiễm bẩn phóng xạ ở tay, quần áo. Người bị nhiễm bẩn phóng xạ phải tẩy xạ theo quy định.

* Theo dõi liều chiếu cá nhân

Việc theo dõi liều chiếu cá nhân thường xuyên là việc làm cần thiết và rất quan trọng giúp cho việc theo dõi liều chiếu thực tế của từng người cũng như tạo một cảm giác an toàn, yên tâm khi làm việc với phóng xạ. Liều chiếu cá nhân được xác định hàng tháng hoặc hàng quý và tính liều tích luỹ cho cả năm, cho suốt quá trình làm việc với bức xạ. Tuỳ từng loại bức xạ mà người ta có thể dùng các loại liều lượng kế khác nhau. Các loại thường được sử dụng là:

– Liều kế dùng phim. Hiệu ứng làm đen phim ảnh của bức xạ đã được sử dụng để đo liều bức xạ. Phim đo liều cá nhân có thể dùng để đo bức xạ với giải đo từ 0,1 mSv-10 Sv.

http://tieulun.hopto.org

– Bút đo liều cá nhân (liều kế dùng sợi thạch anh): bản chất là một buồng ion hoá nhỏ, được nạp điện trước khi đo liều bức xạ. Sự xê dịch của sợi thạch anh quan sát được tỉ lệ thuận với liều chiếu. Có các loại bút đo liều từ 0-2 mGy; 0-50 mGy; 0-100 mGy.

– Liều kế nhiệt phát quang (TLD). Những cấu trúc đặc biệt trong tinh thể $CaSO_4(Mn)$, $CaF_2(Mn)$ L_1F đã trở thành trung tâm huỳnh quang dưới tác dụng của bức xạ ion hoá. Kích thích các trung tâm này bằng nhiệt người ta thu được một photon phát quang tỉ lệ với liều bức xạ được hấp thụ. Do vậy người ta đã tạo ra kĩ thuật đo liều bằng hiệu ứng nhiệt phát quang. Phạm vi xác định của loại này từ 0,1 mSv- 100 mSv.

* Kiểm tra sức khoẻ định kỳ

Tất cả nhân viên được tuyển chọn vào làm các công việc bức xạ và nhân viên làm việc thường xuyên với bức xạ phải được kiểm tra sức khoẻ định kỳ.

Mục đích của việc kiểm tra là tránh đưa những người không phù hợp về sức khoẻ vào làm công việc có tiếp xúc với phóng xạ và ngăn chặn các tai nạn phóng xạ do thiếu sức khoẻ.

d) An toàn cho bệnh nhân

Bảo vệ bệnh nhân trong chẩn đoán và điều trị bằng bức xạ rất cần được quan tâm. Mục tiêu chính là tránh cho bệnh nhân bị chiếu xạ không cần thiết và hạn chế liều ở mức thấp nhất nhưng vẫn đảm bảo được yêu cầu chẩn đoán và điều trị. Để đạt được mục tiêu trên cần phải tuân thủ 3 nguyên tắc sau đây:

* Chỉ định đúng

– Mọi phương pháp chẩn đoán và điều trị bằng bức xạ phải được chỉ định bởi các thầy thuốc phóng xạ và phải cân nhắc kĩ lưỡng xem có thực sự cần thiết không dựa trên việc so sánh với các phương pháp khác về lợi ích và thiệt hại. Khi có 2 phương pháp chẩn đoán và điều trị cùng đưa đến một kết quả như nhau thì không dùng phương pháp phóng xạ .

– Tham khảo những thông tin lần khám trước để tránh những kiểm tra bổ sung không cần thiết.

– Tránh dùng chất phóng xạ cho phụ nữ có thai, nghi có thai hoặc đang cho con bú trừ khi có chỉ định lâm sàng bắt buộc. Trong trường hợp đó phải sử dụng các biện pháp cần thiết để giảm liều tối thiểu cho thai nhi.

– Chỉ dùng dược chất phóng xạ để chẩn đoán và điều trị cho trẻ em khi không có các phương pháp khác thay thế và hoạt tính phóng xạ phải giảm theo quy định.

* Tận giảm liều chiếu

Trong mọi trường hợp phải chú ý giảm liều chiếu cho bệnh nhân ở mức thấp nhất nhưng vẫn đạt được mục đích khám chữa bệnh. Để giảm liều chiếu cho bệnh nhân có 3 cách:

http://tieulun.hopto.org

– Máy móc thiết bị chụp chiếu phải đảm bảo các thông số về kĩ thuật. Các máy thế hệ mới có chất lượng hình ảnh cao hơn và bệnh nhân sẽ phải chịu một liều chiếu thấp hơn.

– Đảm bảo chất lượng các phim chụp để đưa ra các thông tin chính xác, tránh cho bệnh nhân phải chụp nhiều lần.

– Khu trú trường nhìn trong chụp chiếu ở mức tối thiểu cần thiết là một biện pháp rất có hiệu quả trong việc giảm liều chiếu vô ích cho bệnh nhân.

e) Bảo vệ môi trường

* Nguồn ô nhiễm môi trường

+ Thử vũ khí hạt nhân: Các vụ nổ bom nguyên tử tạo ra các chất phân hạch, các sản phẩm phân hạch, các sản phẩm kích hoạt có thời gian bán rã từ vài phút đến vài nghìn năm. Các tro bụi này được tung lên khí quyển trong vụ nổ sẽ rơi xuống dưới dạng các hạt nhỏ. Thời gian tro bụi phóng xạ lưu lại trong khí quyển có thể kéo dài vài chục năm và rơi xuống mặt đất tuỳ thuộc vào các vụ nổ và các điều kiện của khí hậu.

+ Các cơ sở khai thác và sử dụng nguyên liệu hạt nhân (các mỏ khai thác Uran, nhà máy làm sạch, nhà máy làm giầu, nhà máy chế biến nguyên liệu hạt nhân). Trong sản xuất, các cơ sở này làm ô nhiễm nước, đất và cả không khí.

+ Các cơ quan, xí nghiệp, phòng thí nghiệm, bệnh viện sử dụng đồng vị phóng xạ. Các chất thải của các cơ sở này có thể tồn tại dưới dạng khí, lỏng, rắn.

* Biện pháp bảo vệ môi trường

– Sử dụng công nghệ sản xuất hiện đại, đảm bảo tạo ra một lượng chất thải tối thiểu và hạn chế đến mức thấp nhất sự thẩm thấu các chất phóng xạ ra môi trường bên ngoài.

– Làm vô hại: tập trung , bảo quản và xử lí đúng đắn chất thải phóng xạ.

– Thực hiện các biện pháp tổ chức, vệ sinh và phân vùng làm việc.

KẾT LUẬN

Các nguồn bức xạ ion hoá và các đồng vị phóng xạ ngày càng được ứng dụng rộng rãi như một chất đánh dấu và như một nguồn chiếu xạ. Sự hiểu biết của chúng ta ngày càng sâu sắc về tác dụng sinh học của chùm tia ion hoá ngày càng cho phép mạnh dạn ứng dụng chúng vào thực tế cuộc sống. Đã từ lâu các thầy thuốc sử dụng tia X vào điều trị. Sự hiểu biết sâu sắc các quy luật về phóng xạ sinh học cho phép chúng ta ngày nay sử dụng các nguồn nơtron tự nhiên hay các chùm hạt vi mô phát ra từ các máy gia tốc và ngay cả việc đưa các đồng vị phóng xạ vào trong cơ thể điều trị. Tính chất diệt bào mạnh của các bức xạ ion hoá còn được dùng để tiêu diệt các vi sinh vật gây bệnh, tiệt trùng các đối tượng không dùng phương pháp nhiệt được. Hằng năm số lượng lương thực bị hư hỏng do các loại nấm mốc, vi

http://tieulun.hopto.org

khuẩn lớn. Để đảm bảo tốt được khối lượng lương thực lớn lao, không thể nào không sử dụng các nguồn chiếu tia gamma có công suất lớn đến hàng nghìn rơnghen/s.

Những hiểu biết về tác dụng gây đột biến của bức xạ ion hoá được con người lợi dụng để cải tạo thế giới sinh vật theo hướng có lợi cho loài người. Nhiều giống thực vật, vi sinh vật cần thiết đã được cải tạo từ các giống cũ bằng cách dùng tia ion hoá gây đột biến gen. Ngày nay nhiều nơi đã áp dụng rộng rãi các nguồn phóng xạ kín và hở trong công nghiệp, nông nghiệp, sinh học và y học. Như thế ta thấy phạm vi ứng dụng bức xạ ion hoá vào cuộc sống rất rộng rãi. Ngày nay hầu hết các ngành khoa học đều có sử dụng các bức xạ ion hoá và mang lại rất nhiều lợi ích thiết thực. Trên đây chỉ là những hướng ứng dụng chính thường được áp dụng trong y sinh học. Bức xạ ion hoá luôn luôn có sự hiểu biết và tầm nhìn xa để ngăn ngừa mọi nguy hại trước mắt và lâu dài, bảo vệ sức khoẻ con người, thế giới sinh vật và môi trường sống của chúng ta. Đồng thời phải xuất phát từ sự hiểu biết cặn kẽ các kiến thức về phóng xạ sinh học để tránh những thái độ sai lầm: Coi thường tất cả hoặc quá sợ hãi đi đến thiếu mạnh dạn trong công việc hằng ngày.

http://tieulun.hopto.org

PHỤ BẢN 1

BỘI ƯỚC VÀ SỐ THƯỜNG DÙNG TRONG HỆ THỐNG ĐO LƯỜNG SI

Giá trị	Tên gọi	Ký hiệu
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	hecto	h
10	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

VD: 1 milimet = 10^{-3}m = 0,001m

1 nano Curie = 10^{-9} Ci = 10^{-3}μCi

Ngoài ra còn thường dùng đến Ångstrom, ký hiệu Å, tuy không thuộc hệ SI.

1 Å = 10^{-10}m

http://tieulun.hopto.org

PHỤ BẢN 2

BẢNG CHỮ CÁI HY LẠP

Cách viết	Cách đọc	Cách viết	Cách đọc
A α	alpha	N ν	nu
B β	beta	Ξ ξ	kxi
Γ γ	gamma	O o	omicron
Δ δ	delta	Π π	pi
E ε	epsilon	P ρ	rho
Z ζ	zeta	Σ σ	sigma
H η	eta	T τ	tau
θ θ	theta	Y υ	upsilon
I ι	iota	Φ φ	phi
K κ	kappa	X χ	khi
Λ λ	lamda	Ψ ψ	psi
M μ	mu	Ω ω	omega

http://tieulun.hopto.org

PHỤ BẢN 3

MỘT SỐ ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ VÀ ĐƠN VỊ ĐO LƯỜNG

Đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị đo	Ký hiệu đơn vị đo
Độ dài	ℓ	Mét	m
Khối lượng	m	kilogam	kg
Thời gian	t	Giây	s
Điện tích	Q	Culong	C
Nhiệt độ	T	độ Kelvin	K
Khối lượng vật chất	n	mol	mol
Cường độ sáng	I	Candela (nến)	Cd
Gia tốc	a	mét trên giây bình phương	m/s^2
Diện tích	A	met vuông	m^2
Điện dung	C	farad	F
Mật độ	D	kilogam trên mét khối	kg/m^3
Dòng điện	I	ampe	A
Cường độ điện trường	ε	niutơn trên Culong	N/C
Điện trở	R	Ôm	Ω
Năng lượng	E	Jul	J
Lực	F	Niutơn	N
Tần số	f	Hec	Hz
Nhiệt lượng	Q	Jul	J
Độ rọi	E	Lumen trên met vuông	Lm/m^2
Độ cảm ứng điện	L	Henry	H
Quang thông	Φ	Lumen	Lm
Từ thông	Φ	Veber	Wb
Mật độ dòng từ	B	Veber trên met vuông	Wb/m^2
Hiệu điện thế	V	Vôn	V
Công suất	P	Oát	W
Áp suất	p	Niutơn trên met vuông	N/m^2
Vận tốc	v	Mét trên giây	m/s
Thể tích	V	Mét khối	m^3
Công	W	Jul	J

http://tieulun.hopto.org

PHỤ BẢN 4

MỘT SỐ ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ THƯỜNG DÙNG, ĐƠN VỊ ĐO VÀ BỘI SỐ, ƯỚC SỐ

Độ dài:

1 m = 10^{-3} km = 10^{2} cm = 10^{3} mm = 10^{6} μm = 10^{9} nm = 10^{10}Å

1 μ = 1 μm = 10^{-6} m = 10^{-4} cm = 10^{-3}mm = 10^{3}mμ = 10^{3}nm = 10^{4} Å

1 nm = 1 nm = 10^{-9} m = 10^{-7} cm = 10^{-6} mm = 10 Å

1 Å = 10^{-10} m = 10^{-8} cm = 10^{-4} m = 10^{-1} mm = 10^{-1} nm

Diện tích:

1 m^2 = 10^{-6} km^2 = 10^{4} cm^2 = $10^{6}$$mm^2$

Thể tích:

1 m^3 = 10^{-9} km^3 = 10^{3} l = 10^{6} cm^3

1 l = 10^{3} ml = 10^{3} cm^3 = 10^{-3} m^3

Góc:

1^0 = 1,74 x 10^{-2} radian

1 radian = $57,3^0$

Khối lượng:

1 kg = 10^{3}g = 10^{6} mg = 6,02 x 10^{26} u

1 g = 10^{-3} kg = 10^{3} mg = 6,02 x 10^{23} u

1 u = 1,66 x 10^{-24} g = 1,66 x 10^{-21} mg = 1,66 x 10^{-27} kg

Thời gian

1 h = 60 min = 3,6 x 10^{3} s

1 min = 60s = 1,67 x 10^{-2} h

1 s = 1,67 x 10^{-2} min = 2,78 x 10^{-4} h

Vận tốc:

1 km/h = 10^{3} m/h = 16,7 m/min = 2,78 x 10^{-1} m/s

1 m/min = 10^{2} cm/min = 1,67 x 10^{-2} m/s = 1,67 cm/s

1 m/s = 10^{-3} km/s = 3,6 km/h = 10^{2} cm/s

Gia tốc:

1 cm/s^2 = 10^{-2} cm/s^2 = 10^{-5} km/s^2

1 m/s^2 = 102 cm/s^2 = 10^{-3} km/s^2

1 km/h/s = 10^{3} m/h/s = 2,78 x 10^{-1} m/s^2 = 2,78 x 10^{1} cm/s^2 = 2,78 x 10^{2} mm/s^2

http://tieulun.hopto.org

Áp suất:

1 atm = 760,00 mmHg = 1,013 x 10^5 N/m^2 = 1,013 x 10^5 Pa = 1,013 x 10^2 kPa

1 N/m^2 = 10 dyn/cm^2 = 9,87 x 10^{-6} atm = 1 Pa = 10^{-3} kPa = 7,50 x 10^{-3} mmHg

Năng lượng:

1 J = 2,39 x 10^{-1} cal = 2,39 x 10^{-1} kcal = 2,78 x 10^{-7} kW h = 6,25 x 10^{18} eV

1 cal = 10^{-3} kcal = 1,16 x 10^{-6} kWh

1 kcal = 10^3 cal = 4,19 x 10^3J = 1,16 x 10^{-3} kWh

1 eV = 10^{-6} MeV = 1,60 x 10^{-19}J

1 kWh = 10^3 Wh = 3,6 x 10^3 kWs = 3,6 x 10^6 Ws = 8,6 x 10^5 cal

Khối lượng – năng lượng

1 J = 1,11 x 10^{-17} kg = 1,11 x 10^{-14} g = 6,69 x 10^9u

1 eV = 1,07 x 10^{-9} u = 1,78 x 10^{-33} g

1 u = 1,49 x 10^{-10} J = 931 MeV = 9,31 x 10^8 eV

1 kg = 9,00 x 10^{16}J

http://tieulun.hopto.org

NHÀ XUẤT BẢN Y HỌC

LÝ SINH Y HỌC

Chịu trách nhiệm xuất bản
HOÀNG TRỌNG QUANG

Biên tập	BS. NGUYỄN THỊ TỐT
Sửa bản in:	NGUYỄN THỊ TỐT
Trình bày bìa:	CHU HÙNG
Kt vi tính:	TRẦN HẢI YẾN

In 1000 cuốn, khổ 19 x 27cm tại Xưởng in Nhà xuất bản Y học.
Căn cứ kế hoạch xuất bản số: 544 -13/XB-QLXB ngày 10/01/2005.
In xong và nộp lưu chiểu quý IV năm 2005.

http://tieulun.hopto.org

Tìm đọc

- *Vi sinh y học*
- *Sinh lý bệnh học*
- *Sinh lý bệnh miễn dịch*
- *Sinh lý học (Tập 1 + 2)*
- *Thực tập sinh lý học*
- *Thực tập sinh học*
- *Giải phẫu sinh lý*

NHÀ XUẤT BẢN Y HỌC

Địa chỉ: 352 Đội Cấn - Ba Đình - Hà Nội

Tel: 04.7625922 - 7625934 - 7.627819 - Fax: 04.7625923

E-mail: Xuatbanyhoc@fpt.vn

Website: www.cimsi.org.vn/nhaxuatbanyhoc

MS 61 – 616.V / YH - 2005 13 - 2005

GIÁ: 66.000Đ

http://tieulun.hopto.org