

Chỉ đạo biên soạn:

VỤ KHOA HỌC VÀ ĐÀO TẠO – BỘ Y TẾ

Chủ biên:

PHẠM THỊ CÚC

TẠ VĂN TÙNG

Những người biên soạn:

VŨ TIẾN CHINH

PHẠM THỊ CÚC

VŨ QUANG ĐẦU

NGUYỄN ĐỨC THIỆN

NGUYỄN VĂN THIỆN

ĐINH THỊ THƯ

TẠ VĂN TÙNG

Tham gia tổ chức bản thảo:

ThS. PHÍ VĂN THÂM

TS. NGUYỄN MẠNH PHA

LỜI GIỚI THIỆU

Thực hiện một số điều của Luật Giáo dục, Bộ Giáo dục & Đào tạo và Bộ Y tế đã ban hành chương trình khung đào tạo **Dược sĩ Đại học**. Bộ Y tế tổ chức biên soạn tài liệu dạy – học các môn cơ sở và chuyên môn theo khung chương trình nhằm từng bước xây dựng bộ sách đạt chuẩn chuyên môn trong công tác đào tạo nhân lực y tế.

Sách **Vật lý đại cương** được biên soạn dựa vào chương trình giảng dạy của Trường Đại học Dược Hà Nội trên cơ sở chương trình khung đã được phê duyệt. Sách được tác giả Phạm Thị Cúc, Tạ Văn Tùng (Chủ biên) cùng các tác giả **Vũ Tiến Chinh**, Phạm Thị Cúc, Vũ Quang Dầu, Nguyễn Đức Thiên, Nguyễn Văn Thiện, Đinh Thị Thu, Tạ Văn Tùng biên soạn theo phương châm: Kiến thức cơ bản, hệ thống; nội dung chính xác, khoa học; cập nhật các tiến bộ khoa học, kỹ thuật hiện đại và thực tiễn Việt Nam.

Sách **Vật lý đại cương** đã được Hội đồng chuyên môn thẩm định sách và tài liệu dạy – học chuyên ngành của Bộ Y tế thẩm định năm 2007. Bộ Y tế quyết định ban hành tài liệu dạy – học đạt chuẩn chuyên môn của ngành trong giai đoạn hiện nay. Trong thời gian từ 3 đến 5 năm, sách phải được chỉnh lý, bổ sung và cập nhật.

Bộ Y tế chân thành cảm ơn các tác giả và Hội đồng chuyên môn thẩm định đã giúp hoàn thành cuốn sách; Cảm ơn GS.TSKH. Phan Sỹ An, GS.TS. Phạm Gia Khôi đã đọc và phản biện để cuốn sách sớm hoàn thành, kịp thời phục vụ cho công tác đào tạo nhân lực y tế.

Lần đầu xuất bản, chúng tôi mong nhận được ý kiến đóng góp của đồng nghiệp, các bạn sinh viên và độc giả để lần xuất bản sau sách được hoàn thiện hơn.

VỤ KHOA HỌC VÀ ĐÀO TẠO – BỘ Y TẾ

LỜI NÓI ĐẦU

Vật lý là môn học thuộc khoa học cơ bản. Từ lâu môn Vật lý đại cương đã được dạy trong trường Đại học Dược Hà Nội, để cung cấp cho sinh viên những kiến thức và kỹ năng cần thiết khi học các môn thuộc khoa học cơ sở và nghiệp vụ. Qua từng thời kỳ, Bộ môn đã nhiều lần biên soạn và chỉnh lý giáo trình vật lý để phù hợp với sự phát triển của khoa học kỹ thuật và nhiệm vụ đào tạo Dược sĩ của nhà trường.

Theo tinh thần cải cách giáo dục của Bộ Giáo dục và Đào tạo và chỉ đạo của trường Đại học Dược Hà Nội về việc cải tiến và nâng cao chất lượng đào tạo, Bộ môn biên soạn lại ***Giáo trình Vật lý đại cương***, đã được áp dụng giảng dạy cho sinh viên Dược hệ chính quy từ năm học 2000 – 2001.

Những cơ sở chính để viết giáo trình này là:

- Nghị quyết của Hội nghị chương trình trường Đại học Dược Hà Nội năm 1999.
- Chương trình III Vật lý do Bộ Giáo dục và Đào tạo ban hành năm 1995.
- Chương trình vật lý bộ môn đã giảng dạy từ trước đến nay.

Theo yêu cầu của công việc đào tạo Đại học và Sau Đại học, lần biên soạn này chúng tôi đã bổ sung và nâng cao những kiến thức gắn liền với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, có liên quan tới kỹ năng, nghiệp vụ khối ngành Y – Dược.

Trong quá trình xây dựng nội dung và xuất bản giáo trình lần này (2007 – 2008), giáo trình lại được chỉnh lý, bổ sung, hoàn thiện các chương trong giáo trình.

Rất mong được các thầy giáo, cô giáo, bạn đọc tham khảo. Hy vọng các em sinh viên thuận tiện hơn trong học tập, có kiến thức vật lý vững vàng hơn.

Rất mong nhận được sự góp ý của bạn đọc để sách xuất bản lần sau được hoàn thiện.

Mọi góp ý xin gửi về Phòng Đào tạo – Trường Đại học Dược Hà Nội.

Trân trọng cảm ơn!

Hà Nội, tháng 2 năm 2008
Bộ môn Vật lý – Hoá lý
Trường Đại học Dược Hà Nội

MỤC LỤC

Lời giới thiệu	3
Lời nói đầu	4
Phần mở đầu	9

Phần thứ nhất. CƠ HỌC

Các khái niệm đại cương	14
Chương 1. ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM	16
1.1. Vectơ dịch chuyển	16
1.2. Vận tốc	17
1.3. Gia tốc	19
1.4. Một số dạng chuyển động đặc biệt	23
1.5. Chuyển động tương đối	26
Chương 2. ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM	39
2.1. Định luật Newton I	39
2.2. Định luật Newton II	39
2.3. Định luật Newton III	42
2.4. Một vài loại lực thường gặp	43
2.5. Áp dụng định luật Newton trong bài toán cơ học	47
2.6. Định luật bảo toàn động lượng trong cơ hệ kín	50
Chương 3. CÔNG VÀ NĂNG LƯỢNG	57
3.1. Công và công suất	57
3.2. Động năng	59
3.3. Thế năng	60
3.4. Định luật bảo toàn cơ năng trong trường lực thế	61
Chương 4. CƠ HỌC CHẤT LỎNG	70
4.1. Đặc điểm của chất lưu	70
4.2. Tĩnh học chất lỏng	70
4.3. Động lực học chất lỏng lý tưởng	72
4.4. Các định lý về sự chuyển động của chất lỏng	73
4.5. Sự chuyển động của chất lỏng thực	78
Chương 5. CHUYỂN ĐỘNG DAO ĐỘNG, SÓNG VÀ SÓNG ÂM	85
5.1. Chuyển động dao động	85
5.2. Chuyển động sóng	94
5.3. Sóng âm và siêu âm	99
5.4. Hiệu ứng Doppler và ứng dụng	102
Chương 6. THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP CỦA EINSTEIN	109
6.1. Khái niệm mở đầu	109
6.2. Các tiên đề của Einstein	109
6.3. Các phép biến đổi Lorentz	110
6.4. Động học tương đối	112
6.5. Động lực học tương đối	115

Chương 7. SỰ VẬN CHUYỂN MÁU	120
7.1. Sơ lược về tính chất vật lý của hệ tuần hoàn	120
7.2. Sự thay đổi của áp suất và tốc độ chảy của máu trong các đoạn mạch	125

Phần thứ hai. NHIỆT HỌC

Chương 8. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	131
8.1. Bài mở đầu	131
8.2. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học.....	134
Chương 9. THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ	145
9.1. Thuyết động học chất khí và khí lý tưởng	145
9.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng	148
9.3. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử khí.....	149
9.4. Định luật phân bố phân tử theo vận tốc.....	152
9.5. Định luật phân bố Boltzman	154
9.6. Dùng nguyên lý thứ nhất để khảo sát các quá trình cân bằng của khí lý tưởng.....	155
9.7. Sự phân bố đều năng lượng	162
Chương 10. ENTROPY VÀ NGUYÊN LÝ THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC	172
10.1. Máy nhiệt	172
10.2. Quá trình thuận nghịch.....	175
10.3. Chu trình Carnot	176
10.4. Định lý Carnot	178
10.5. Khái niệm entropy	179
Chương 11. CHẤT LỎNG	194
11.1. Cấu tạo và chuyển động phân tử của chất lỏng	194
11.2. Các hiện tượng mặt ngoài của chất lỏng	195
11.3. Hiện tượng làm ướt và không làm ướt.....	199
11.4. Hiện tượng mao dẫn.....	200
11.5. Hiện tượng bay hơi – Hiện tượng sôi.....	205
Chương 12. ÁP DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT VÀ NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC CHO HỆ THỐNG SỐNG	213
12.1. Áp dụng nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học cho hệ thống sống	213
12.2. Áp dụng nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học cho hệ thống sống.....	222

Phần thứ ba. ĐIỆN HỌC

Chương 13. TÌNH ĐIỆN	230
13.1. Khái niệm mở đầu	230
13.2. Tương tác giữa các điện tích điểm – Định luật Coulomb	232
13.3. Điện trường của các điện tích điểm	234
13.4. Định lý Gauss đối với điện trường	239
13.5. Điện thế, hiệu điện thế	244
13.6. Chất điện môi trong điện trường	248

Chương 14. DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỐI	255
14.1. Những khái niệm mở đầu	255
14.2. Những đại lượng đặc trưng của dòng điện	256
14.3. Định luật Ohm đối với đoạn mạch thuần điện trở	259
14.4. Suất điện động của nguồn điện – Định luật Ohm cho mạch kín	261
14.5. Định luật Kirchoff.....	265
Chương 15. TỪ TRƯỜNG DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỐI	274
15.1. Thí nghiệm về tương tác từ của dòng điện	274
15.2. Định luật Ampere về tương tác từ của dòng điện.....	275
15.3. Vectơ cảm ứng từ, vectơ cường độ từ trường.....	277
15.4. Từ thông. Định lý Gauss đối với từ trường	283
15.5. Tác dụng của từ trường lên dòng điện	285
Chương 16. CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ	291
16.1. Thí nghiệm về hiện tượng cảm ứng điện từ.....	291
16.2. Các định luật cơ bản về cảm ứng điện từ	292
16.3. Một số trường hợp đặc biệt của cảm ứng điện từ.....	294
Chương 17. DÒNG ĐIỆN TRÊN CƠ THỂ SINH VẬT	304
17.1. Các loại điện thế sinh vật cơ bản	304
17.2. Cơ chế của hiện tượng điện sinh vật..	308
17.3. Một số dòng điện sinh vật ghi được trên cơ thể người.....	316
17.4. Đại cương về kích thích cơ và thần kinh bằng dòng điện.....	322
17.5. Đại cương về tác dụng sinh vật của dòng điện và ứng dụng của dòng điện trong điều trị.....	326

Phần thứ tư. QUANG HỌC

Chương 18. CƠ SỞ CỦA QUANG HÌNH HỌC, CÁC ĐẠI LƯỢNG TRẮC QUANG, DỤNG CỤ QUANG HỌC	338
18.1. Các định luật cơ bản của quang hình học.....	338
18.2. Định lý Malus.....	343
18.3. Các đại lượng trắc quang	346
18.4. Dụng cụ quang học.....	349
Chương 19. PHÂN CỰC ÁNH SÁNG	364
19.1. Ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực	364
19.2. Sự phân cực ánh sáng do truyền qua bản turmalin dày. Định luật Malus	365
19.3. Phân cực vì phản xạ. Định luật Brewster	367
19.4. Phân cực quay – Ứng dụng	368
Chương 20. GIAO THOA ÁNH SÁNG	373
20.1. Nguyên lý Huyghens – Fresnel	373
20.2. Lý thuyết chung về hiện tượng giao thoa ánh sáng	375
20.3. Giao thoa của hai chùm tia sáng	381
20.4. Giao thoa gây bởi các bản mỏng	385
20.5. Ứng dụng hiện tượng giao thoa	387

Chương 21. NHIỀU XẠ ÁNH SÁNG	394
21.1. Lý thuyết chung về nhiều xạ ánh sáng	394
21.2. Nhiều xạ của sóng cầu qua một lỗ tròn	397
21.3. Nhiều xạ gây bởi các sóng phẳng	401
21.4. Nhiều xạ tia X	410
Chương 22. SỰ HẤP THỤ ÁNH SÁNG	415
22.1. Định luật hấp thụ ánh sáng	415
22.2. Ứng dụng quang phổ hấp thụ phân tử	420
Chương 23. KHÁI NIỆM VỀ LASER	424
23.1. Khái niệm về bức xạ cảm ứng	424
23.2. Laser và nguyên tắc phát tia laser	425
23.3. Sơ lược về tính chất của chùm tia laser	426
23.4. Ứng dụng của laser	427
Chương 24. TÁC DỤNG CỦA ÁNH SÁNG LÊN CƠ THỂ SỐNG	431
24.1. Đại cương về tác dụng của ánh sáng lên cơ thể sống	431
24.2. Một số quá trình quang sinh	437
24.3. Tác dụng quang động lực	439
24.4. Tác dụng của tia tử ngoại lên các hệ thống sống	443

Phần thứ năm. PHÓNG XẠ SINH HỌC

Chương 25. PHÓNG XẠ VÀ PHÓNG XẠ SINH HỌC	446
25.1. Các đặc trưng cơ bản của phóng xạ	446
25.2. Các phương pháp ghi đo phóng xạ	453
25.3. Tương tác của tia phóng xạ với vật chất	455
25.4. Các hiệu ứng sinh học của phóng xạ	458
25.5. An toàn phóng xạ	464
Chương 26. ỨNG DỤNG MỘT SỐ KỸ THUẬT VẬT LÝ VÀO VIỆC CHẨN ĐOÁN BỆNH BẰNG HÌNH ẢNH	476
26.1. Phân tích cấu trúc vi mô bằng hình ảnh (C.T scanner)	476
26.2. Phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân	479
Phụ lục 1. Bảng chữ cái Hy Lạp	498
Phụ lục 2. Hệ đơn vị quốc tế (SI)	498
Phụ lục 3. Hằng số vật lý cơ bản	500
Phụ lục 4. Tính chất của các nguyên tố	501
Phụ lục 5. Khối lượng riêng của nước cất theo nhiệt độ	504
Phụ lục 6. Hệ số nhớt η_0 của nước theo nhiệt độ	504
Phụ lục 7. Hệ số sức căng mặt ngoài của nước theo nhiệt độ	504
Phụ lục 8. Hệ số chuyển đổi	505
Phụ lục 9. Hệ số nhớt của glycerin ở các nhiệt độ khác nhau	510
<i>Tài liệu tham khảo chính</i>	511

PHẦN MỞ ĐẦU

1.1. Đo lường

Để đo lường các đại lượng vật lý, ta định nghĩa một “đơn vị”, đó là một số đo đại lượng được lấy chính xác bằng 1,0. Sau đó, định nghĩa một “chuẩn”, đó là vật mốc để người ta so sánh các mẫu khác của đại lượng đó

Khi xác lập được chuẩn chiều dài, ta sẽ xác định được kích thước vật, ngay cả khi nó nhỏ bé như hồng cầu, các hạt tinh bột, tế bào thực vật, virus...

Khi xác lập được chuẩn thời gian, ta sẽ xác định được uống thuốc khi nào, sau bao lâu thuốc có tác dụng. Thuốc lưu hành, tồn đọng trong cơ thể bao lâu. Thời gian sống của thuốc trong cơ thể...

Khi xác lập được chuẩn khối lượng, ta xác định được khối lượng của Trái Đất, khối lượng của hạt bụi, khối lượng của một phân tử và ngay cả khối lượng hạt electron.

Có những đại lượng ta xác định trực tiếp, tuy nhiên có nhiều đại lượng xác định gián tiếp thông qua các công thức vật lý.

Các chuẩn đơn vị được chọn phải vừa khả dụng, vừa không đổi, vừa thuận tiện cho việc khảo sát.

1.2. Hệ đơn vị đo lường quốc tế

Năm 1971, Hội nghị đo lường quốc tế lần thứ 14 lấy 7 đại lượng cơ bản và hình thành Hệ đơn vị đo lường quốc tế (System International -- SI).

Bảng 1.1. Hệ đơn vị quốc tế

Số TT	Đại lượng cơ bản	Ký hiệu	Tên đơn vị	Ký hiệu đơn vị
1	Chiều dài	L	met	m
2	Thời gian	T	giây	s
3	Khối lượng	M	kilogram	kg
4	Cường độ dòng điện	I	Ampere	A
5	Cường độ sáng	J	Candela	Cd
6	Nhiệt độ	θ	Kelvin	K
7	Lượng vật chất	N	mol	mol

Rất nhiều đơn vị dẫn xuất SI được định nghĩa theo các đơn vị cơ bản trên.

Ví dụ: $1 \text{ Watts} = 1 \text{ W} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$.

Bảng 1.2. Các tiếp đầu ngữ cho các đơn vị SI

Thừa số	Tên tiền tố	Ký hiệu thứ nguyên	Thừa số	Tên tiền tố	Ký hiệu thứ nguyên
10^{12}	Tera	T	10^{-1}	dexi	d
10^9	Giga	G	10^{-2}	centi	c
10^6	Mega	M	10^{-3}	mili	m
10^3	Kilo	k	10^{-6}	micro	μ
10^2	Hecto	H	10^{-9}	nano	n
10^1	Deca	D	10^{-12}	pico	p

1.3. Thứ nguyên

Thứ nguyên của một đại lượng vật lý là công thức nêu lên sự phụ thuộc của đại lượng đo lường vào các đại lượng cơ bản:

Ví dụ:
$$\text{Vận tốc} = \frac{\text{Chiều dài}}{\text{Thời gian}}$$

Ký hiệu thứ nguyên vận tốc, gia tốc là:

$$[\text{Vận tốc}] = \frac{L}{T} = LT^{-1}$$

$$[\text{Gia tốc}] = \frac{L}{T^2} = LT^{-2}$$

Đơn vị của vận tốc là mét/giây: ($m.s^{-1}$).

Đơn vị của gia tốc là mét/giây bình phương: ($m.s^{-2}$).

Nhờ khái niệm thứ nguyên ta có thể phần nào kiểm tra độ đúng đắn của một công thức vật lý mới, vì hai vế của một công thức vật lý phải có thứ nguyên như nhau.

Ví dụ: Công thức chu kỳ của con lắc đơn:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Thứ nguyên của 2 vế là:

$$T = \sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = T$$

1.4. Chiều dài

Năm 1792, nước Cộng hoà Pháp đã thiết lập một hệ thống đo lường mới. Ban đầu nền tảng của nó là mét, được định nghĩa là 1 phần 10 triệu của khoảng cách từ Bắc Cực đến Xích Đạo. Cuối cùng vì lý do thực tiễn mà chuẩn Trái Đất này bị huỷ bỏ và mét được định nghĩa là khoảng cách giữa hai đường mảnh, khác gần hai đầu của một thanh platin-iridi, là thanh mét chuẩn, được lưu trữ ở Viện Đo lường Quốc tế gần Paris. Các bản sao chính xác của thanh chuẩn

được gửi đến các phòng thí nghiệm tạo chuẩn trên toàn thế giới. Những chuẩn thứ cấp này được dùng để làm ra các chuẩn khác khả dụng hơn nhiều, để cuối cùng, mỗi dụng cụ đo đều được rút ra từ thanh mét chuẩn thông qua một dây chuyền so sánh phức tạp.

Bảng 1.3. Một số chiều dài

Chiều dài	Mét
Bán kính Trái Đất	$6 \cdot 10^6$
Độ dày tờ giấy ta đang viết	$1 \cdot 10^{-4}$
Bước sóng ánh sáng	$5 \cdot 10^{-7}$
Độ dài con virus điển hình	$1 \cdot 10^{-8}$
Bán kính của nguyên tử hydro	$5 \cdot 10^{-11}$
Bán kính của proton	$\sim 10^{-15}$

Năm 1983, Hội nghị Đo lường Quốc tế lần thứ 17 đã định nghĩa lại mét. Mét là chiều dài của đoạn đường mà ánh sáng đi được trong chân không trong khoảng thời gian $1/299792458$ giây. Con số này được chọn như vậy để vận tốc ánh sáng c chính xác bằng:

$$c = 299792458 \text{ m/s.}$$

Việc đo vận tốc ánh sáng đạt độ chính xác cực kỳ cao, nên mới chấp nhận vận tốc ánh sáng là một đại lượng xác định và dùng nó định nghĩa “mét chuẩn”.

1.5. Thời gian

Hàng ngày chúng ta dùng chiếc đồng hồ để biết được các sự kiện “xảy ra khi nào” và “xảy ra trong bao lâu”.

Dựa vào tần số dao động của con lắc đồng hồ, được lấy chuẩn theo sự quay của Trái Đất, chúng ta xác định được khoảng thời gian.

Bảng 1.4. Một số khoảng thời gian

Khoảng thời gian	Giây
Thời gian sống của proton (dự đoán)	$\sim 10^{39}$
Tuổi của vũ trụ	$5 \cdot 10^{17}$
Tuổi thọ hy vọng đạt được của con người	$2 \cdot 10^9$
Độ dài của một ngày	$9 \cdot 10^4$
Thời gian giữa hai nhịp tim	$8 \cdot 10^{-1}$
Xung sóng ngắn nhất trong phòng thí nghiệm (1989)	$6 \cdot 10^{-15}$

Để xác định khoảng thời gian chính xác hơn, Hoa Kỳ và nhiều nước khác đã chế tạo “đồng hồ nguyên tử” dựa trên “Tần số” đặc trưng của đồng vị Xeri – 133.

Hội nghị lần thứ 13 về Đo lường Quốc tế 1967 đã thông qua “giây chuẩn” trên cơ sở đồng vị Xeri – 133. Một giây là thời gian để xảy ra 9192631770 dao

động của ánh sáng (có bước sóng được quy định) do nguyên tử Xeri – 133 phát ra. Độ chính xác về khoảng thời gian đã đạt tới cỡ 10^{-18} (s).

1.6. Khối lượng

a) Kilôgam chuẩn

Chuẩn khối lượng trong hệ SI là một hình trụ Platin – Iridi được lưu trữ tại Viện Đo lường Quốc tế tại Paris, được thống nhất là có khối lượng 1 kilôgam. Các bản sao chính xác của khối lượng chuẩn này được gửi đến các phòng thí nghiệm tạo chuẩn khối lượng trên toàn thế giới.

Bảng 1.5. Một số khối lượng

Vật thể	Kilôgam
Mặt Trời	$2 \cdot 10^{30}$
Mặt Trăng	$7 \cdot 10^{22}$
Trái Đất	$5,98 \cdot 10^{24}$
Quả nho	$3 \cdot 10^{-3}$
Hạt bụi	$7 \cdot 10^{-10}$
Phân tử Penixillin	$5 \cdot 10^{-17}$
Proton	$2 \cdot 10^{-27}$
Electron	$9 \cdot 10^{-31}$

b) Chuẩn khối lượng phụ

Có thể so sánh khối lượng của các nguyên tử với nhau một cách chính xác hơn là so sánh chúng với kilôgam chuẩn. Do đó, ta có chuẩn khối lượng phụ. Đó là khối lượng của một nguyên tử Cacbon – 12: C12 mà quốc tế đã thừa nhận bằng khối lượng của 12 đơn vị khối lượng nguyên tử (u). Mối liên hệ giữa hai chuẩn này là:

$$1u = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

với độ chính xác ± 10 ở hai chữ số thập phân cuối cùng. Dùng khối phổ kế xác định khối lượng các nguyên tử khác so với khối lượng Cacbon – 12 cho độ chính xác tin cậy hơn.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Để đo lường các đại lượng vật lý, tại sao ta cần định nghĩa một “đơn vị” và định nghĩa một “chuẩn” ?
2. Bạn suy nghĩ gì nếu ta bỏ đại lượng cơ bản thời gian trong bảng 1.1 ?
3. Khi đo nhiệt độ cơ thể bạn bằng nhiệt kế thủy ngân, kết quả là 37°C , bạn nghĩ nhiệt kế chỉ đúng hay sai?

4. Bạn thử nghĩ ra vài cách đo nhiệt độ, đo chiều dài, đo khối lượng.
5. Bạn hãy đưa ra phương pháp đo:
 - a) Độ dày của tờ giấy.
 - b) Đường kính của một nguyên tử.
 - c) Đường kính của tế bào thực vật.
 - d) Đường kính hạt tinh bột.
6. Tại sao ta thấy có lợi khi có hai chuẩn khối lượng là kilôgam và nguyên tử C12.
7. Công thức thứ nguyên có ý nghĩa gì ?
8. Hàng ngày bạn lấy chuẩn thời gian ở đâu?
9. Đồng hồ con lắc (mặt 12 số) chạy nhanh mỗi ngày 1 phút. Sau khi lấy giờ đúng cho nó thì phải sau bao lâu nó mới lại chỉ giờ đúng? Bạn hãy giải thích.

PHẦN THỨ NHẤT

CƠ HỌC

CÁC KHÁI NIỆM ĐẠI CƯƠNG

1. Chuyển động cơ học

Chuyển động cơ học là sự thay đổi vị trí của vật hay một bộ phận của vật trong không gian theo thời gian.

2. Chất điểm

Chất điểm là một vật có khối lượng nhưng có kích thước nhỏ không đáng kể so với những khoảng cách mà ta đang khảo sát.

Một tập hợp chất điểm gọi là hệ chất điểm (một vật có thể coi là tập hợp của vô số chất điểm).

Chất điểm có tính tương đối.

Ví dụ: electron chuyển động trên quỹ đạo quanh hạt nhân, Trái Đất quay xung quanh mặt trời,... đều được coi là chất điểm.

3. Hệ quy chiếu

Vật được chọn làm mốc, cùng với hệ toạ độ và một chiếc đồng hồ gắn liền với nó, để xác định vị trí của vật khác, được gọi là hệ quy chiếu.

Ví dụ: con tàu chuyển động so với nhà ga.

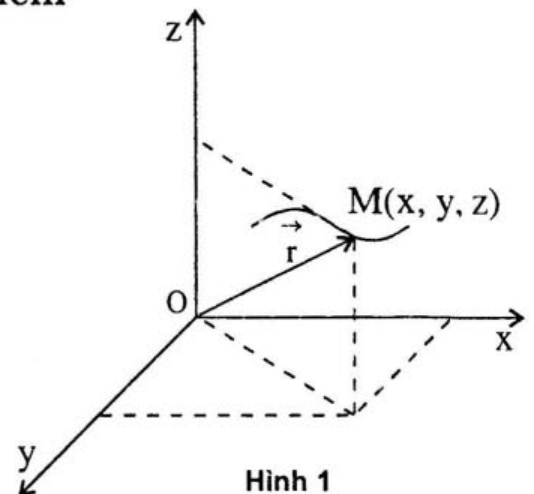
4. Phương trình chuyển động của chất điểm

Trong hệ toạ độ Đề các, vị trí của chất điểm M tại một thời điểm nào đó được xác định bởi 3 toạ độ x, y, z hoặc bởi bán kính vectơ \vec{r} , đều là những hàm của thời gian:

$$x = x(t) \quad z = z(t)$$

$$y = y(t) \quad \vec{r} = \vec{r}(t)$$

Các phương trình trên gọi là phương trình chuyển động của chất điểm.



5. Quỹ đạo chuyển động

Quỹ đạo chuyển động là đường mà chất điểm vạch ra trong không gian khi chuyển động.

Muốn xác định được dạng quỹ đạo, ta phải tìm phương trình quỹ đạo.

Phương trình quỹ đạo là phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa các tọa độ.

Ví dụ: $y = ax^2 + bx + c$ (quỹ đạo parabol)

6. Tính tương đối của chuyển động

Chuyển động có tính tương đối, tùy theo hệ quy chiếu, một vật có thể coi là đứng yên hay chuyển động.

Ví dụ: một người đang đứng yên trên tàu hỏa, nhưng lại chuyển động so với cây bên đường.

7. Các đại lượng vật lý

Mỗi thuộc tính của một đối tượng vật lý (một vật thể, một hiện tượng, một quá trình...) được đặc trưng bởi một hay nhiều đại lượng vật lý.

Ví dụ: khối lượng, thể tích, diện tích, lực, năng lượng...

Các đại lượng vật lý có thể là vô hướng hay hữu hướng (đại lượng vectơ).

a) Xác định một đại lượng vô hướng

Nghĩa là xác định giá trị của nó, có những đại lượng vô hướng không âm như: thể tích, khối lượng... có những đại lượng vô hướng mà giá trị có thể âm hay dương, ví dụ như: diện tích, hiệu điện thế. .

b) Xác định một đại lượng hữu hướng

Nghĩa là xác định điểm đặt, phương, chiều và độ lớn của vectơ đặc trưng cho đại lượng đó.

Ví dụ: lực \vec{F} , cường độ điện trường \vec{E} .

Chương 1

ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM

MỤC TIÊU

1. Trình bày được các khái niệm đặc trưng cho chuyển động:
 - Vận tốc trung bình, vận tốc tức thời.
 - Vectơ vận tốc, ý nghĩa.
2. Trình bày được khái niệm về gia tốc, các thành phần của gia tốc.
3. Trình bày được khái niệm về:
 - Vận tốc góc, gia tốc góc.
 - Sự liên hệ giữa vận tốc góc, gia tốc góc với vận tốc dài, gia tốc dài.

Động học là một phần của cơ học nghiên cứu các quy luật vận động cơ học, không chú ý đến nguyên nhân đã gây ra ảnh hưởng, tác động lên vận động cơ học.

1.1. VECTƠ DỊCH CHUYỂN

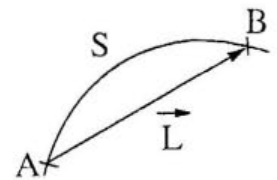
Giả thiết có một chất điểm vận động cơ. Sau thời gian t vạch ra quỹ đạo cong AB . Người ta gọi chiều dài của đoạn đường AB là đoạn đường dịch chuyển, ký hiệu là S . S là một hàm của thời gian.

$$S = S(t)$$

Nếu xét đoạn đường dịch chuyển AB từ A đến B hay từ B về A thì chiều dài, tính chất, độ cong... không có gì khác nhau.

Nếu lấy A làm gốc, B làm ngọn, vẽ vectơ \overline{AB} , người ta gọi vectơ \overline{AB} là vectơ dịch chuyển, ký hiệu \vec{L} .

Vectơ dịch chuyển \vec{L} khác đoạn đường dịch chuyển S về chiều dài, về tính chất đó là một vectơ chỉ hướng chuyển động. Do vậy không thể dùng đoạn đường dịch chuyển S để thay cho vectơ chuyển dịch \vec{L} và ngược lại.

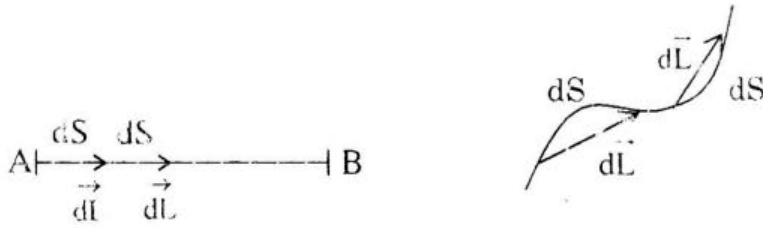


Hình 1.1

Nhưng nếu xét trong thời gian vô cùng nhỏ dt , chất điểm đi được đoạn đường vô cùng nhỏ dS , vectơ dịch chuyển tương ứng $d\vec{L}$. Ta thấy về độ lớn $dS = dL$ (dây cung chập lên cung vi phân).

Khi chất điểm chuyển động thẳng, có quỹ đạo là một đoạn thẳng thì các vectơ dịch chuyển vi phân $d\vec{L}$ trùng phương với đoạn đường dịch chuyển dS .

Khi chất điểm chuyển động cong, có quỹ đạo là một đoạn đường cong, thì các vectơ dịch chuyển $d\vec{L}$ có phương tiếp tuyến với đoạn đường dịch chuyển dS .



Hình 1.2

1.2. VẬN TỐC

1.2.1. Định nghĩa

Vận tốc là đại lượng vật lý đặc trưng cho sự biến đổi của quãng đường dịch chuyển theo thời gian.

Vận tốc đặc trưng cho cường độ chuyển động.

Ký hiệu là v ; đơn vị là m/s (trong hệ SI).

1.2.1.1. Vận tốc trung bình

Vận tốc trung bình là tỷ số giữa đoạn đường dịch chuyển ΔS mà chất điểm đi được sau khoảng thời gian Δt với khoảng thời gian Δt đó.

$$\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Trong một khoảng thời gian chuyển động Δt , chất điểm có thể có vận tốc không đều khi nhanh khi chậm. Do đó, vận tốc trung bình \bar{v} không thể đặc trưng cho cường độ chuyển động của chất điểm ở từng thời điểm, từng vị trí một trên quỹ đạo. Vì vậy, người ta dùng khái niệm vận tốc tức thời.

1.2.1.2. Vận tốc tức thời

Vận tốc tức thời là vận tốc của chất điểm ở một thời điểm xác định.

$$v_{tt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt} \quad (1.2)$$

Vận tốc tức thời có độ lớn bằng đạo hàm bậc nhất của quãng đường theo thời gian.

Ở mỗi thời điểm xác định, chất điểm có một giá trị vận tốc tức thời xác định. Vậy vận tốc tức thời cũng là một hàm số của thời gian chuyển động.

$$v_{tt} = v_{tt}(t)$$

1.2.2. Vectơ vận tốc

Khi chuyển động, chất điểm có vận tốc lúc nhanh, lúc chậm, khi đi theo hướng này, khi đi theo hướng khác. Do vậy để biểu thị vận tốc chuyển động của một chất điểm, ta phải dùng một vectơ để mô tả cả về độ lớn và phương chiều, gọi là vectơ vận tốc.

Ký hiệu: vectơ vận tốc \vec{v} .

1.2.2.1. Vectơ vận tốc trung bình

Sau một khoảng thời gian Δt , chất điểm đi được đoạn đường ΔS , có vectơ dịch chuyển tương ứng là $\Delta \vec{L}$.

Vectơ vận tốc trung bình:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} \quad (1.3)$$

1.2.2.2. Vectơ vận tốc tức thời

Vectơ vận tốc trung bình không đặc trưng cho chuyển động của chất điểm ở từng thời điểm, ta dùng khái niệm vectơ vận tốc tức thời (gọi tắt là vectơ vận tốc).

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{L}}{\Delta t} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (1.4)$$

\vec{v} có phương chiều là phương chiều của $d\vec{L}$ (phương tiếp tuyến với quỹ đạo cong tại điểm xét).

Độ lớn $|\vec{v}|$ bằng đạo hàm bậc nhất của quãng đường dịch chuyển theo thời gian

$$|\vec{v}| = \frac{dL}{dt} = \frac{dS}{dt} \quad (\text{vì } |d\vec{L}| = dS)$$

- Nếu chất điểm chuyển động trên mặt phẳng thì vận tốc của nó có 2 thành phần (v_x và v_y).

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y$$

- Nếu chất điểm chuyển động trong không gian vận tốc có 3 thành phần.

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y + \vec{v}_z$$

1.2.3. Ý nghĩa

- Nếu \vec{v} có phương không đổi theo thời gian thì chuyển động không đổi phương, quỹ đạo là một đoạn thẳng.

- Nếu \vec{v} có phương và độ lớn đều không đổi theo thời gian thì chuyển động là thẳng đều.

- Nếu \vec{v} có phương và độ lớn luôn thay đổi theo thời gian thì chuyển động là cong, biến đổi, quỹ đạo là một đường cong.

1.2.4. Công dụng

- Vectơ vận tốc \vec{v} cho biết chuyển động là cong hay thẳng, biến đổi hay đều.

- Biết độ lớn v suy ra quãng đường dịch chuyển.

$$v = \frac{dS}{dt} \Rightarrow v \cdot dt = dS \Rightarrow S = \int v \cdot dt$$

1.3. GIA TỐC

1.3.1. Định nghĩa vectơ gia tốc

Vectơ gia tốc là một đại lượng vật lý đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc theo thời gian.

Ký hiệu là \vec{a} ; Đơn vị là m/s^2 .

1.3.2. Biểu thức

1.3.2.1. Gia tốc trung bình

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (1.5)$$

Gia tốc trung bình của chuyển động trong khoảng thời gian Δt là tỷ số giữa độ biến thiên vận tốc $\Delta \vec{v}$ với khoảng thời gian Δt xảy ra độ biến thiên vận tốc đó.

1.3.2.2. Gia tốc tức thời

Là đại lượng đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc ở tại một thời điểm xác định (gọi tắt là gia tốc).

Khoảng thời gian Δt càng nhỏ thì gia tốc trung bình càng đặc trưng chính xác cho sự biến thiên của vận tốc.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (1.6)$$

Vậy: gia tốc là đại lượng vectơ bằng đạo hàm bậc nhất của vectơ vận tốc theo thời gian.

1.3.3. Các thành phần của gia tốc

Gia tốc là một đại lượng vectơ nên ta có thể phân chia gia tốc ra làm 2 thành phần: **gia tốc tiếp tuyến** \vec{a}_t và **gia tốc pháp tuyến** \vec{a}_n .

Mỗi thành phần của gia tốc đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc về một phương diện: độ lớn và phương chiều.

Xét một chất điểm chuyển động cong, giả sử sau thời gian Δt rất nhỏ, sao cho quỹ đạo MM_1 có thể coi như một cung trên đường tròn tâm O , bán kính R :

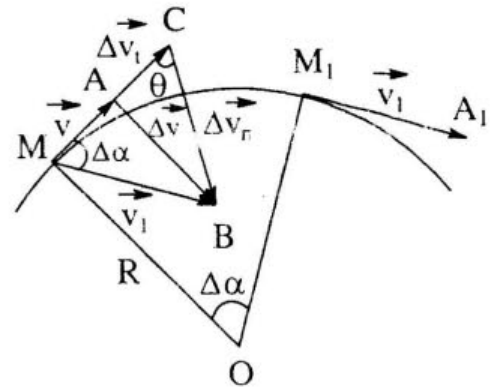
- Tại điểm M : chất điểm có vận tốc \vec{v} biểu diễn bằng vectơ \vec{MA} .

- Sau thời gian Δt , chất điểm ở vị trí M_1 có vectơ vận tốc $\vec{v}_1 = \vec{v} + \Delta \vec{v}$ biểu diễn bởi vectơ $\vec{M_1A_1}$.

Từ điểm M vẽ vectơ $\vec{MB} = \vec{v}_1$. Nối A và B ta được vectơ:

$$\vec{AB} = \vec{v}_1 - \vec{v} = \Delta \vec{v}$$

- Từ điểm M trên phương \vec{v} , ta đặt đoạn $MC = v_1$. Nối C và B , theo hình vẽ ta có:



Hình 1.3

$$\vec{AB} = \vec{AC} + \vec{CB}$$

hay
$$\Delta \vec{v} = \Delta \vec{v}_t + \Delta \vec{v}_n$$

gia tốc
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_t}{\Delta t} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_n}{\Delta t}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

(1.7)

Vậy gia tốc \vec{a} được phân tích thành hai thành phần. Ta hãy tìm ý nghĩa của từng thành phần.

1.3.3.1. Gia tốc tiếp tuyến

$$\vec{a}_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{AC}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_t}{\Delta t} \quad (1.8)$$

- Phương của \vec{a}_t : là phương của $\Delta \vec{v}_t$ khi $\Delta t \rightarrow 0$. Nghĩa là phương tiếp tuyến với quỹ đạo cong tại M . Do đó \vec{a}_t được gọi là gia tốc tiếp tuyến.

- Chiều của \vec{a}_t : là chiều của $\Delta \vec{v}_t$, \vec{a}_t cùng chiều \vec{v} nếu $v_1 > v$ (nghĩa là cùng chiều chuyển động, nếu chuyển động nhanh dần) và ngược lại, \vec{a}_t ngược chiều \vec{v} nếu $v_1 < v$ (nghĩa là ngược chiều chuyển động, nếu chuyển động chậm dần).

- Độ lớn của \vec{a}_t :

$$a_t = |\vec{a}_t| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{v}_t|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_1 - v}{\Delta t}$$

$$= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2}$$

Vậy gia tốc tiếp tuyến có độ lớn bằng đạo hàm bậc nhất độ lớn của vận tốc theo thời gian.

Độ lớn của vận tốc biến đổi càng nhiều, a_t càng lớn. Vì vậy ta nói: gia tốc tiếp tuyến đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc về mặt độ lớn.

1.3.3.2. Gia tốc pháp tuyến

$$\vec{a}_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{CB}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}_n}{\Delta t} \quad (1.9)$$

- Phương của \vec{a}_n : là phương của $\Delta \vec{v}_n$ khi $\Delta t \rightarrow 0$. Vectơ $\Delta \vec{v}_n$ hợp với phương tiếp tuyến MC một góc:

$$\theta = \frac{\pi - \Delta \alpha}{2} \quad (\Delta MCB \text{ cân tại } M)$$

Trong đó:

$$\Delta \alpha = \widehat{CMB} = \widehat{MOM}_1$$

Khi $\Delta t \rightarrow 0$; điểm M_1 tiến tới trùng M ; $\Delta \alpha \rightarrow 0$ do đó $\theta = \frac{\pi - 0}{2} = \frac{\pi}{2}$

Nghĩa là \vec{a}_n có phương trùng với pháp tuyến của quỹ đạo cong tại điểm M . Vì thế \vec{a}_n được gọi là gia tốc pháp tuyến.

- Chiều của \vec{a}_n : là chiều của $\Delta \vec{v}_n$, luôn hướng về phía tâm của quỹ đạo, nghĩa là hướng về tâm O của đường tròn, do đó \vec{a}_n còn gọi là gia tốc hướng tâm.

- Độ lớn của \vec{a}_n :

$$|\vec{a}_n| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{v}_n|}{\Delta t}$$

Từ hình vẽ 1.3 ta thấy ΔMCB đồng dạng với ΔOMM_1 . Do đó:

$$\frac{CB}{MM_1} = \frac{MC}{OM} \Rightarrow \frac{|\Delta \vec{v}_n|}{MM_1} = \frac{v_1}{R}$$

Khi $\Delta t \rightarrow 0$; $MM_1 \approx \Delta S$ nên

$$|\Delta \vec{v}_n| = \frac{v_1}{R} \cdot \Delta S$$

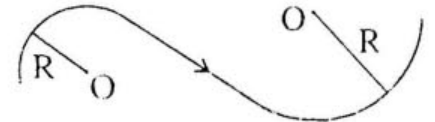
$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{v}_n|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_1}{R} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\left(\lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_1 = v; \quad \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = v \right)$$

do đó:
$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (1.10)$$

Từ công thức trên ta suy ra gia tốc pháp tuyến đặc trưng cho sự thay đổi phương của vectơ vận tốc.

Thực vậy: với một giá trị v xác định, bán kính R của quỹ đạo càng nhỏ, a_n càng lớn quỹ đạo càng cong nghĩa là phương của \vec{v} thay đổi nhiều.



Hình 1.4

Cùng một giá trị R , nếu v lớn, a_n càng lớn, phương của \vec{v} thay đổi càng nhiều. Tóm lại: a_n càng lớn, phương của \vec{v} thay đổi càng nhiều và ngược lại.

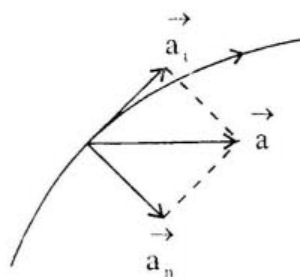
1.3.3.3. Kết luận

Vectơ gia tốc có thể phân tích thành hai thành phần:

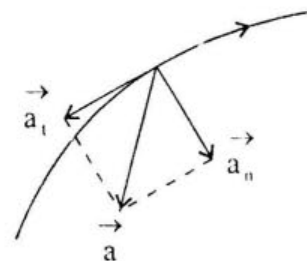
- Gia tốc tiếp tuyến \vec{a}_t đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc về độ lớn.
- Gia tốc pháp tuyến \vec{a}_n đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc về phương.

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

Về độ lớn:
$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}$$



Chuyển động nhanh dần



Chuyển động chậm dần

Hình 1.5

1.4. MỘT SỐ DẠNG CHUYỂN ĐỘNG ĐẶC BIỆT

1.4.1. Chuyển động thẳng biến đổi đều

Chuyển động thẳng có \vec{v} không đổi phương, do đó $a_n = 0$. Chuyển động biến đổi nên $a_t \neq 0$.

Chuyển động thẳng biến đổi đều có
$$\begin{cases} a_n = 0 \\ a_t = \text{const} \end{cases}$$

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n = \vec{a}_t = \text{const}$$

Do đó:
$$\vec{v} = \int \vec{a} dt = \vec{a}t + \vec{c}$$

Ở thời điểm đầu $t = 0$; thì $\vec{v} = \vec{v}_0$

Ta có:
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$$S = \int \vec{v} dt = \int (\vec{v}_0 + \vec{a}t) dt$$

$$S = \frac{at^2}{2} + \vec{v}_0 t + c$$

Ở $t = 0$ thì chất điểm đi được quãng đường S_0 ; nghĩa là $c = S_0$.

$$S = \frac{at^2}{2} + \vec{v}_0 t + S_0$$

$$v - v_0 = 2aS$$

Nếu vật rơi tự do từ độ cao h xuống đất. Ta có:

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

g : gia tốc trọng trường.

$$v = gt$$

$$v^2 = 2gh$$

1.4.2. Chuyển động tròn

1.4.2.1. Định nghĩa

Chuyển động tròn là chuyển động mà sự biến đổi về phương của vectơ vận tốc tại mọi điểm trên quỹ đạo, tại mọi thời điểm là bằng nhau. Quỹ đạo là một đường tròn.

$$a_n = \text{const}$$

Đối với chất điểm chuyển động tròn, ngoài các đại lượng vận tốc dài (vận tốc thẳng), gia tốc dài (gia tốc thẳng), người ta còn dùng các đại lượng đặc trưng khác là vận tốc góc, gia tốc góc để mô tả chuyển động.

1.4.2.2. Vận tốc góc (ω)

Sau thời gian Δt , chất điểm đi từ M đến M_1 . Bán kính quỹ đạo quét được một góc $\Delta\theta$.

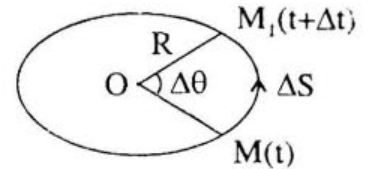
- Vận tốc góc trung bình:

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

- Vận tốc góc tức thời:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{\omega}$$

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (1.11)$$



Hình 1.6

Vậy, vận tốc góc tức thời (gọi tắt là vận tốc góc) có độ lớn bằng đạo hàm bậc nhất của góc quay đối với thời gian.

Quy ước vẽ vectơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ như sau:

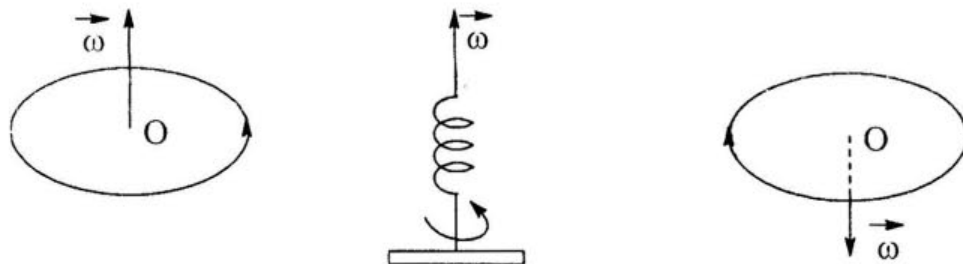
+ Có gốc tại tâm O.

+ Có độ lớn bằng $\frac{d\theta}{dt}$.

+ Có phương vuông góc với quỹ đạo tròn.

+ Có chiều được xác định theo quy tắc vặn nút chai: nếu quay cán vặn nút chai theo chiều chuyển động của chất điểm thì chiều tiến hay lùi của thân vặn nút chai là chiều của vectơ vận tốc góc.

+ Đơn vị đo: rad/s.



Hình 1.7

1.4.2.3. Gia tốc góc

Gia tốc góc là đại lượng vật lý đặc trưng cho sự biến đổi của vectơ vận tốc góc theo thời gian.

- Gia tốc góc trung bình:

$$\vec{\beta} = \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t}$$

- Gia tốc góc tức thời:

$$\vec{\beta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\omega}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (1.12)$$

Gia tốc góc $\vec{\beta}$ là một vectơ bằng đạo hàm bậc nhất của vectơ vận tốc góc đối với thời gian.

+ Có phương: là phương của $\vec{\omega}$, nghĩa là phương vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo tròn.

+ Chiều: cùng chiều với vận tốc góc $\vec{\omega}$, nếu chuyển động là nhanh dần và ngược chiều $\vec{\omega}$, nếu chuyển động là chậm dần ($\omega_2 < \omega_1$).

+ Độ lớn:

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

+ Đơn vị đo: rad/s².

1.4.2.4. Sự liên hệ giữa vận tốc dài \vec{v} , gia tốc tiếp tuyến \vec{a}_t với vận tốc góc $\vec{\omega}$ và gia tốc góc $\vec{\beta}$

Sau thời gian dt, chất điểm đi được đoạn đường dS, vectơ bán kính \vec{R} quét được một góc dθ.

Vì dS = R.dθ, nên

$$\begin{aligned} v &= \frac{dS}{dt} = R \cdot \frac{d\theta}{dt} \\ v &= R \cdot \omega \end{aligned}$$

Xét cả về mặt phương chiều của 3 vectơ \vec{v} , \vec{R} , $\vec{\omega}$, ta thấy:

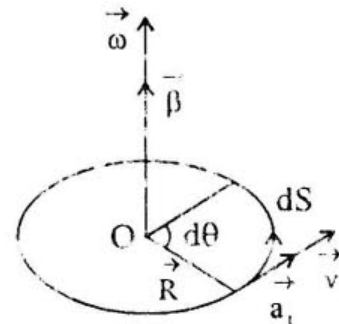
$$\vec{v} = [\vec{\omega} \wedge \vec{R}] \quad (1.13)$$

\vec{R} : vectơ bán kính quỹ đạo.

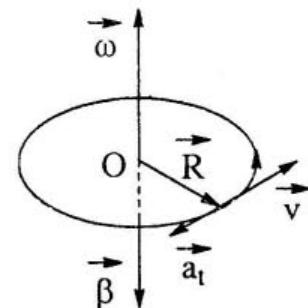
- Độ lớn của gia tốc pháp tuyến:

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{v^2}{R} = \frac{(\omega R)^2}{R} \\ a_n &= \omega^2 \cdot R \quad (1.14) \end{aligned}$$

- Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc góc:



Hình 1.8



Hình 1.9

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R \cdot \beta$$

Xét cả về phương chiều của 3 vectơ $\vec{\beta}$, \vec{a}_t và \vec{R} , ta có:

$$\vec{a}_t = [\vec{\beta} \wedge \vec{R}] \quad (1.15)$$

1.5. CHUYỂN ĐỘNG TƯƠNG ĐỐI

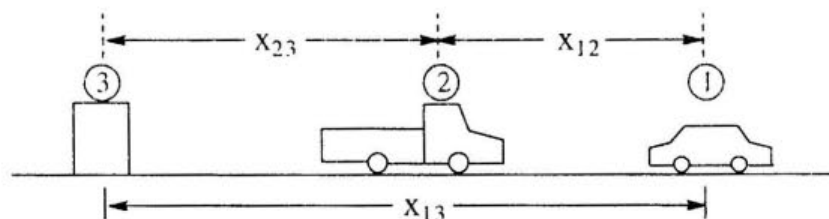
Khi khảo sát chuyển động của một vật, ta phải chọn hệ quy chiếu. Trong nhiều trường hợp người ta chọn hệ quy chiếu gắn liền với mặt đất. Tuy nhiên nếu ta đi trên máy bay hoặc con tàu vũ trụ thì hệ quy chiếu gắn liền với mặt đất có thể không thuận tiện. Ta có thể tự do chọn hệ quy chiếu khác.

Khi đó chuyển động của vật sẽ phụ thuộc vào hệ quy chiếu. Ta nói chuyển động có tính tương đối. Trong bài này, ta sẽ tìm mối quan hệ giữa vận tốc và gia tốc của vật trong các hệ quy chiếu khác nhau. Để đơn giản ta chỉ xét các hệ quy chiếu chuyển động tịnh tiến đối với nhau.

1.5.1. Chuyển động tương đối trên đường thẳng trong không gian một chiều

Giả sử có xe con (1) và xe tải (2) chuyển động cùng chiều trên một đường thẳng đối với bến xe (3). Khoảng cách từ xe (1) đến bến xe là x_{13} , khoảng cách từ xe (2) đến bến xe là x_{23} , khoảng cách từ xe (1) đến xe (2) là x_{12} . Ta có:

$$x_{13} = x_{12} + x_{23}$$



Hình 1.10

Đạo hàm 2 vế phương trình trên theo thời gian t , ta được:

$$\frac{dx_{13}}{dt} = \frac{dx_{12}}{dt} + \frac{dx_{23}}{dt}$$

$$v_{13} = v_{12} + v_{23} \quad (1.16)$$

Nếu ta chọn hệ quy chiếu gắn liền với bến xe và một hệ quy chiếu gắn với xe (2) thì rõ ràng là vận tốc của xe (1) đo trong 2 hệ quy chiếu sẽ khác nhau.

Vận tốc xe (1) đối với bến xe (3) bằng tổng vận tốc của xe (1) đối với xe (2) và vận tốc của xe (2) đối với bến xe (3).

Chuyển động của xe (1) đối với bến xe (3) (hệ quy chiếu quy ước là đứng yên) thường gọi là chuyển động tuyệt đối, còn chuyển động xe (1) đối với xe (2) (hệ quy chiếu chuyển động) gọi là chuyển động tương đối.

Đạo hàm 2 vế phương trình (1.16) theo thời gian t ta được:

$$\frac{dv_{13}}{dt} = \frac{dv_{12}}{dt} + \frac{dv_{23}}{dt}$$

$$a_{13} = a_{12} + a_{23} \quad (1.17)$$

Nghĩa là gia tốc của xe (1) đo trong hệ quy chiếu bến xe (3) bằng tổng gia tốc của xe (1) đo trong hệ quy chiếu gắn với xe (2) và gia tốc của xe (2) đối với bến xe (3).

Nếu xe (2) chuyển động thẳng đều với bến xe (3) thì $a_{23} = 0$.

Khi đó gia tốc của xe (1) trong 2 hệ quy chiếu là như nhau:

$$a_{13} = a_{12} \quad (1.18)$$

Ví dụ: Hai xe chuyển động trên cùng một đường thẳng nhưng ngược chiều nhau. Vận tốc của xe (1) là 78km/h, của xe (2) là 52km/h.

a) Tìm vận tốc tương đối của xe (1) đối với xe (2).

b) Một người bên đường nhìn thấy xe (1) hãm phanh và dừng lại sau 10s. người này đo được gia tốc của xe (1) bằng bao nhiêu (giả sử gia tốc không đổi)?

c) Người ngồi trên xe (2) đo được gia tốc của xe (1) bằng bao nhiêu?

Giải:

a) Khi nói vận tốc của xe (1), ta ngầm hiểu đó là vận tốc của xe (1) so với mặt đất (3), chọn chiều chuyển động của xe (1) là dương, ta có:

Vận tốc của xe (1) là:

$$v_{13} = 78\text{km/h} = 21,7\text{m/s}$$

Vận tốc của xe (2) là:

$$v_{23} = -52\text{km/h} = -14,4\text{m/s}$$

Suy ra vận tốc tương đối của xe (1) đối với xe (2) là:

$$v_{12} = v_{13} - v_{23} = 21,7 - (-14,4) = 36,1\text{m/s}$$

b) Người đứng bên đường thấy xe (1) dừng lại, lúc đó $v_{13} = 0$. Do đó gia tốc của xe (1) là:

$$a_{13} = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - 21,7}{10} = -2,17\text{m/s}^2$$

c) Khi xe (1) dừng lại đối với người trên mặt đất thì vẫn chuyển động đối với người trên xe (2) với vận tốc:

$$v_{12} = 0 - v_{23} = 0 - (-14,4) = 14,4\text{m/s} \quad (v_{13} = 0)$$

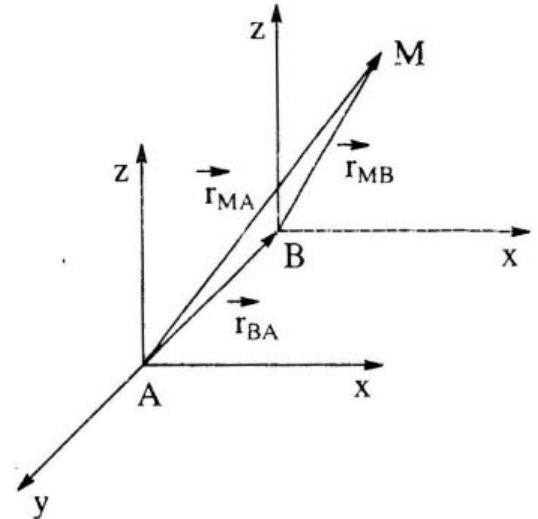
Người trên xe (2) thấy xe (1) giảm vận tốc từ 36,1m/s xuống 14,4m/s. Do đó thấy gia tốc của xe (1) là:

$$a_{12} = \frac{v - v_0}{t} = \frac{14,4 - 36,1}{10} = -2,17 \text{ m/s}^2$$

Như vậy gia tốc của xe (1) đo trong 2 hệ quy chiếu là như nhau.

1.5.2. Chuyển động tương đối trong không gian hai, ba chiều

Ta hãy xét chuyển động của một chất điểm M trong hai hệ quy chiếu A và B. Giả sử hệ B chuyển động tịnh tiến so với hệ A được xác định bởi vectơ \vec{r}_{MA} , trong hệ B được xác định bởi vectơ \vec{r}_{MB} (hình 1.11).



Hình 1.11

Từ hình vẽ ta có:

$$\vec{r}_{MA} = \vec{r}_{MB} + \vec{r}_{BA}$$

Đạo hàm hai vế phương trình theo thời gian, ta được:

$$\frac{d\vec{r}_{MA}}{dt} = \frac{d\vec{r}_{MB}}{dt} + \frac{d\vec{r}_{BA}}{dt}$$

$$\vec{v}_{MA} = \vec{v}_{MB} + \vec{v}_{BA} \quad (1.19)$$

Vậy, vectơ vận tốc của một chất điểm đối với hệ quy chiếu A bằng tổng vectơ vận tốc của nó đối với hệ quy chiếu B chuyển động tịnh tiến đối với hệ A và vectơ vận tốc của hệ B đối với hệ A.

Lấy đạo hàm (1.19) theo thời gian:

$$\frac{d\vec{v}_{MA}}{dt} = \frac{d\vec{v}_{MB}}{dt} + \frac{d\vec{v}_{BA}}{dt}$$

$$\vec{a}_{MA} = \vec{a}_{MB} + \vec{a}_{BA} \quad (1.20)$$

Vậy, vectơ gia tốc của một chất điểm đối với hệ quy chiếu A bằng tổng vectơ gia tốc của nó đối với hệ quy chiếu B chuyển động tịnh tiến đối với hệ A và vectơ gia tốc của hệ B đối với hệ A.

Nếu hệ quy chiếu B chuyển động thẳng đều đối với hệ A thì $\vec{a}_{BA} = 0$. Ta có:

$$\vec{a}_{MA} = \vec{a}_{MB}$$

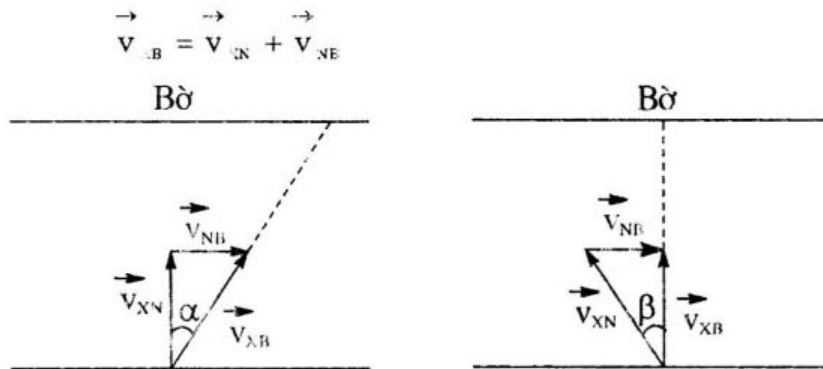
Nghĩa là gia tốc của một chất điểm trong các hệ quy chiếu chuyển động thẳng đều với nhau có giá trị như nhau.

Ví dụ: Một xuồng máy qua sông. Nước chảy với vận tốc 7,2km/h. Xuồng được định hướng vuông góc với dòng chảy. Vận tốc của xuồng so với nước là 36km/h.

- a) Tính vận tốc của xuồng so với bờ sông. Thực tế xuồng qua sông theo đường nào.
 b) Muốn xuồng qua sông theo đúng hướng vuông góc với bờ, xuồng phải được định hướng thế nào so với dòng chảy.

Giải:

a) Chuyển động của xuồng (X) được đo trong hai hệ quy chiếu: một gắn với bờ sông (B), một gắn với nước (N). Theo công thức (1.19), ta có:



Hình 1.12

Theo (hình 1.12), ta có:

$$v_{XB} = \sqrt{v_{XN}^2 + v_{NB}^2} = \sqrt{36^2 + 7,2^2} = 36,71 \text{ km/h}$$

Thực tế xuồng qua sông theo hướng hợp với đường vuông góc dòng chảy một góc α .

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{v_{NB}}{v_{XN}} = \frac{7,2}{36} = 0,2 \\ \Rightarrow \alpha &= 11^\circ 18' \end{aligned}$$

b) Muốn xuồng qua sông theo đúng hướng vuông góc với bờ, xuồng phải đi ngược dòng và chệch một góc β (hình 1.12).

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \frac{v_{NB}}{v_{XN}} = \frac{7,2}{36} = 0,2 \\ \Rightarrow \beta &= 11^\circ 32' \end{aligned}$$

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Phân biệt vận tốc trung bình và vận tốc tức thời. Nêu ý nghĩa vật lý của chúng.
2. Hãy nêu định nghĩa, biểu thức và ý nghĩa vật lý của gia tốc. Các thành phần của gia tốc. Trong trường hợp tổng quát, viết $|\vec{a}| = \frac{dv}{dt}$ có được không? Tại sao?

3. Vận tốc góc, gia tốc góc. Sự liên hệ giữa vận tốc góc và gia tốc góc với vận tốc dài, gia tốc dài.
4. Nêu một số dạng chuyển động đặc biệt.
5. Công thức liên hệ giữa vận tốc, gia tốc của vật trong hai hệ quy chiếu chuyển động tương đối với nhau.
6. Nêu một số ví dụ về vật rơi trong đó nếu bỏ qua ảnh hưởng của không khí là không hợp lý.
7. Nếu một người đứng ở độ cao nào đó so với mặt đất, ném thẳng đứng một quả bóng lên cao với tốc độ ban đầu v_0 , sau đó lại ném thẳng đứng một quả bóng khác xuống với cùng tốc độ ban đầu. Hỏi có quả bóng nào có vận tốc lớn hơn khi chạm đất? (Bỏ qua sức cản của không khí).
8. Bạn hiểu súng bắn “tốc độ” hay “vận tốc” của công an quản lý giao thông là như thế nào?
9. Đồng hồ đo “vận tốc” hay “vận tốc tức thời” trên xe máy của bạn ?
10. Một viên gạch hay một nửa viên gạch rơi từ độ cao h xuống mặt đất có khác nhau không về phương diện chuyển động cơ?
11. Vật ném xiên khi nào được tầm xa nhất, khi nào được độ cao nhất với cùng vận tốc ban đầu v_0 ?
12. Phân biệt chuyển động cơ và chuyển động nhiệt?
13. Mô tả quỹ đạo chuyển động của một chất điểm trên vành bánh xe nếu: hệ quy chiếu đặt trên đường, hệ quy chiếu đặt trên trục xe, hệ quy chiếu đặt trên thân xe.
14. Một vật chuyển động thẳng, khi nào thì vận tốc trung bình bằng trung bình các vận tốc.
15. Bạn đang lái xe ngay sau một xe tải đang tăng tốc, xe của bạn chạy cùng vận tốc với xe tải. Khi đó một chiếc thùng rơi từ xe tải xuống đường. Hỏi nếu bạn không hãm xe hoặc lái tránh sang bên thì xe bạn có húc vào vật đó trước khi nó rơi xuống đường không? Hãy giải thích.

BÀI TẬP

1. Bài mẫu 1

Một chiếc ô tô chuyển động trên một quỹ đạo tròn, bán kính bằng 50m. Quỹ đạo đi được trên quỹ đạo được xác định bởi công thức:

$$S = -0,5t^2 + 10t + 10$$

Tìm vận tốc, gia tốc tiếp tuyến và gia tốc toàn phần của ô tô lúc $t = 5$ giây.

Cho: $R = 50\text{m}$ Tìm: $v = ?$
 $t = 5\text{s}$ $a_t = ?$
 $S = -0,5t^2 + 10t + 10$ $a_n = ?$
 $a = ?$

Giải:

a) Vận tốc của ô tô ở thời điểm t:

$$v = \frac{dS}{dt} = -t + 10$$

Lúc $t = 5\text{s}$; thì $v = -5 + 10 = 5\text{m/s}$

b) Gia tốc tiếp tuyến:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = -1\text{m/s}^2$$

a_t là hằng số. Vậy lúc $t = 5\text{s}$; thì $a_t = -1\text{m/s}^2$. Trên quỹ đạo ô tô chạy chậm dần.

c) Gia tốc pháp tuyến ở thời điểm t:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(-t + 10)^2}{R}$$

Lúc $t = 5\text{s} \Rightarrow a_n = \frac{(-5 + 10)^2}{50} = 0,5\text{m/s}^2$

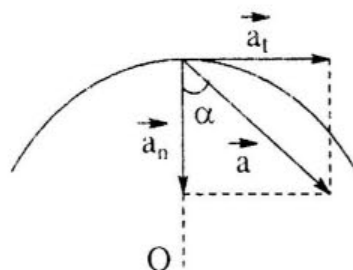
d) Gia tốc toàn phần:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{1 + 0,25} = 1,12\text{m/s}^2$$

Phương của \vec{a} được xác định bởi góc α .

$$\cos \alpha = \frac{a_n}{a} = \frac{0,5}{1,12} = 0,446$$

$$\Rightarrow \alpha = 63^\circ 30'$$



Hình 1.13

2. Bài mẫu 2

Một vô lăng đang quay với tốc độ 300 vòng/phút thì bị hãm lại. Sau 1 phút, tốc độ còn là 180 vòng/phút.

- a) Tính gia tốc góc của vô lăng khi bị hãm.
 b) Tính số vòng vô lăng quay được trong thời gian hãm.

Giải:

Cho	$n_1 = 300$ vòng/phút	Tìm	$\beta = ?$
	$n_2 = 180$ vòng/phút		$n = ?$
	$t = 1$ phút = 60 giây		

a) Giả sử khi hãm vô lăng quay chậm dần đều. Gọi ω_1 và ω_2 là tốc độ góc của vô lăng trước và sau khi hãm $\Delta t = 1$ phút. Theo định nghĩa gia tốc góc của vô lăng bằng:

$$\beta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\Delta t}$$

$$\omega_1 = 2\pi n_1$$

$$\omega_2 = 2\pi n_2$$

$$\Delta t = 60s$$

$$\text{với } n_1 = 300 \text{ vòng/phút} = 5 \text{ vòng/s}$$

$$\text{với } n_2 = 180 \text{ vòng/phút} = 3 \text{ vòng/s}$$

$$\beta = \frac{2\pi(n_2 - n_1)}{\Delta t} = \frac{2\pi(3 - 5)}{60} = -0,21 \text{ rad/s}^2$$

$\beta < 0$ vì vô lăng quay chậm dần đều.

b) Góc quay trong chuyển động chậm dần đều được tính theo công thức:

$$\theta = \omega_1 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot t^2$$

Góc quay được sau $\Delta t = 60$ giây:

$$\theta = \omega_1 \Delta t - \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \Delta t^2$$

Số vòng quay được sau thời gian Δt bằng:

$$n = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{2\pi \cdot 5 \cdot 60 - \frac{1}{2} \cdot (0,21) \cdot 60^2}{2\pi} \approx 240 \text{ vòng}$$

3. Bài mẫu 3

Một viên đạn được bắn lên với vận tốc 800m/s làm với phương nằm ngang một góc 30° .

- a) Viết phương trình chuyển động của viên đạn.
 b) Cho biết dạng quỹ đạo của viên đạn.
 c) Tính thời gian mà viên đạn bay từ thời điểm ban đầu cho tới thời điểm chạm đất.
 d) Xác định tầm xa của viên đạn.
 e) Tính độ cao lớn nhất của viên đạn đạt được.
 f) Xác định bán kính cong của quỹ đạo ở điểm cao nhất.
 Coi sức cản không khí là không đáng kể, cho $g = 9,81m/s^2$.

Giải:

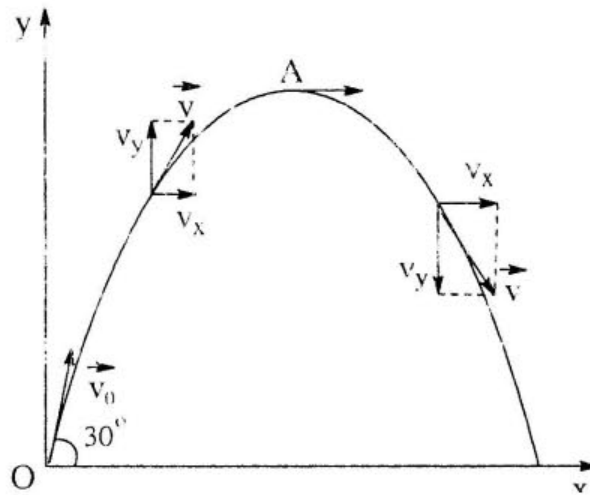
$$\text{Cho } v = 800\text{m/s}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$g = 9,81\text{m/s}^2$$

Khi viên đạn đã bay ra khỏi nòng súng, một mặt nó tiếp tục chuyển động theo quán tính, mặt khác nó chuyển động dưới sức hút của Trái Đất, với gia tốc $\vec{a} = \vec{g}$ (gia tốc rơi tự do) hướng thẳng đứng từ trên xuống.

Do đó chuyển động của viên đạn sẽ là chuyển động cong.



Hình 1.14

Để khảo sát chuyển động của viên đạn ta chọn hệ tọa độ vuông góc Oxy . Gốc O là điểm viên đạn bắt đầu chuyển động.

a) Viết phương trình chuyển động

Chuyển động của viên đạn có thể coi là tổng hợp hai chuyển động của nó trên các trục Oy và Ox .

- Chuyển động chiếu trên trục Ox là chuyển động không có gia tốc nghĩa là chuyển động đều: vì $a_x = 0$.

Vận tốc ban đầu theo phương Ox là $v_0 \cdot \cos\alpha$. Vậy phương trình chuyển động chiếu trên trục Ox là:

$$x = (v_0 \cdot \cos\alpha) \cdot t$$

- Chuyển động chiếu trên trục Oy là chuyển động có gia tốc $a_y = -g = \text{const}$ (nghĩa là chuyển động biến đổi đều). Vận tốc ban đầu chiếu trên trục Oy là: $v_0 \cdot \sin\alpha$.

Vậy phương trình chuyển động chiếu trên trục Oy sẽ là:

$$y = (v_0 \cdot \sin\alpha) \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Do đó phương trình chuyển động của viên đạn là:

$$\begin{cases} x = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t & (1) \\ y = (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} & (2) \end{cases}$$

b) Dạng quỹ đạo: khử t ở hai phương trình (1) và (2). Ta được phương trình quỹ đạo:

$$y = \frac{g}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + \tan \alpha \cdot x$$

Vậy viên đạn chuyển động trên một quỹ đạo parabol.

c) Khi viên đạn đạt đến điểm cao nhất, lúc đó $v_y = 0$. Nghĩa là:

$$v_y = \frac{dy}{dt} = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t = 0$$

Từ đây suy ra thời gian mà viên đạn cần để đạt tới điểm cao nhất:

$$t = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g} = \frac{800 \cdot \sin 30^\circ}{9,81} = 40,7 \text{ s}$$

Từ điểm cao nhất tới khi chạm đất viên đạn phải bay một thời gian bằng thế nữa. Thời gian viên đạn từ lúc bay đến khi chạm đất là:

$$t' = 2 \cdot t = 2 \cdot 40,7 = 81,4 \text{ s}$$

d) Gọi tầm xa của viên đạn là S_x theo phương ngang viên đạn bay với vận tốc không đổi:

$$\begin{aligned} S_x &= v_x \cdot t' = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t' = 800 \cdot \cos 30^\circ \cdot 81,4 \\ &= 565 \cdot 10^2 = 56500 \text{ m} = 56,5 \text{ km} \end{aligned}$$

e) Độ cao cực đại viên đạn đạt tới là:

$$\begin{aligned} y_{\max} &= (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} \\ y_{\max} &= (800 \cdot \sin 30^\circ) \cdot 40,7 - \frac{9,81 \cdot 40,7^2}{2} = 8100 \text{ m} = 8,1 \text{ km} \end{aligned}$$

f) Ở điểm cao nhất gia tốc toàn phần \vec{g} trùng với gia tốc pháp tuyến, do đó:

$$\begin{aligned} a_n &= g = \frac{v_x^2}{R} \quad (v_y = 0 \Rightarrow v = v_x) \\ R &= \frac{v_x^2}{g} = \frac{(v_0 \cdot \cos \alpha)^2}{g} = \frac{(800 \cdot \cos 30^\circ)^2}{9,81} = 4,89 \cdot 10^4 \text{ m} \end{aligned}$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Một vật rơi tự do từ độ cao $h = 19,6\text{m}$

- Tính thời gian để vật rơi hết độ cao đó.
- Tìm quãng đường mà vật đi được trong 0,1 giây đầu và trong 0,1 giây cuối cùng của vật rơi.
- Tính thời gian để vật rơi được 1m đầu tiên và 1m cuối cùng của độ cao.
Không kể tới ma sát của không khí. Cho $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Hướng dẫn và đáp số:

- $t = 2\text{s}$
- $h_1 = 4,9\text{cm}$
 $h_2 = 191\text{cm}$

Tìm quãng đường đi được trong 1,9 giây. Từ đó suy ra quãng đường trong 0,1 giây cuối.

- $t_1 = 0,45\text{s}$
- $t_2 = 0,05\text{s}$

2. Từ một độ cao $h = 2,1\text{m}$, ta ném một hòn đá lên cao với vận tốc ban đầu bằng v_0 nghiêng một góc $\alpha = 45^\circ$ với phương nằm ngang. Hòn đá đạt được tầm xa $l = 42\text{m}$. Tính:

- Vận tốc ban đầu của hòn đá.
- Thời gian hòn đá chuyển động.
- Độ cao lớn nhất mà hòn đá đạt được.

Đáp số: a) $19,8\text{m/s}$.

b) 3 giây.

c) $y_{\max} = 12\text{m}$.

3. Từ một đỉnh tháp cao $h = 25\text{m}$, ta ném một hòn đá theo phương nằm ngang với vận tốc ban đầu $v_0 = 15\text{m/s}$.

- Thiết lập phương trình chuyển động của hòn đá.
- Suy ra dạng quỹ đạo của hòn đá.
- Tính thời gian hòn đá rơi từ đỉnh tháp xuống mặt đất.
- Tầm xa theo phương nằm ngang của nó.
- Tính vận tốc, gia tốc tiếp tuyến và pháp tuyến của đá lúc nó chạm đất.
Coi ma sát không đáng kể, lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Hướng dẫn và đáp số:

a) $x = v_0 \cdot t; y = \frac{g \cdot t^2}{2}$

b) $y = \frac{g}{2 \cdot v_0^2} \cdot x^2$, quỹ đạo là một parabol.

c) Cho $y = h$, suy ra $t = 2,26s$.

d) $l = 33,9m$.

e) $v = 26,7m/s$; $a_t = \frac{dv}{dt} = 8,1m/s^2$; $a_n = 5,6m/s^2$.

4. Trong nguyên tử Hydro ta có thể coi electron chuyển động tròn đều xung quanh hạt nhân. Biết rằng bán kính quỹ đạo của electron là $R = 0,5 \cdot 10^{-8}cm$ và vận tốc của electron trên quỹ đạo là $v = 2,2 \cdot 10^8cm/s$. Tìm:
- Vận tốc góc của electron.
 - Thời gian electron quay được một vòng quanh hạt nhân.
 - Gia tốc pháp tuyến của electron.

Đáp số: a) $4,4 \cdot 10^{16}rad/s$.

b) $1,4 \cdot 10^{-16}s$.

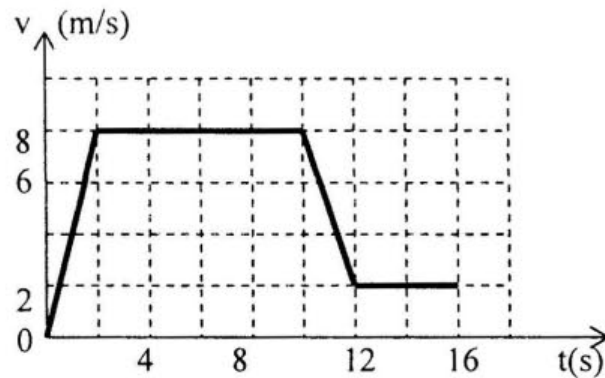
c) $9,7 \cdot 10^{22}m/s^2$.

5. Một bánh xe bán kính $10cm$ quay tròn với gia tốc góc $3,14rad/s^2$. Sau giây đầu tiên, hãy tính:
- Vận tốc góc của bánh xe.
 - Vận tốc dài, gia tốc tiếp tuyến, pháp tuyến và toàn phần của một điểm trên vành bánh xe.

Đáp số: a) $\omega = \beta \cdot t = 3,14rad/s$.

b) $0,314m/s$; $a_t = 0,314m/s^2$; $a_n = 0,986m/s^2$.

6. Một người chạy được bao xa trong $16s$ nếu đồ thị vận tốc – thời gian được cho như hình 1.15.



Hình 1.15

Đáp số: $100m$.

7. Một hạt chuyển động theo chiều dương của trục tọa độ Ox theo phương trình

$$x = 4 - 27t + t^3.$$

- Tìm phương trình của vận tốc và gia tốc của vật.
- Xác định thời điểm vật có vận tốc bằng không.
- Mô tả chuyển động của hạt.

Đáp số: a) $v = 3t^2 - 27$; $a = 6t$.

b) $t = 3s$.

c) Xét $t = 0$; $0 < t < 3s$; $t = 3s$; $t > 3s$.

8. Khi có sự cố trên đường bạn hãm phanh xe để giảm vận tốc từ 75km/h xuống 45km/h trên đoạn đường 8,8m.
- Coi gia tốc của xe không đổi thì nó bằng bao nhiêu?
 - Khoảng thời gian phanh xe là bao lâu?
 - Nếu bạn tiếp tục phanh với gia tốc ở phần a) thì bao lâu xe dừng lại kể từ vận tốc 75km/h.

Đáp số: a) $-2,05.10^4 \text{km/h}^2 \approx -1,6 \text{ m/s}^2$.

b) 5,4s.

c) 13s.

9. Vị trí của vật được xác định bởi phương trình tọa độ $x = 2t^3$, trong đó x tính bằng mét và t tính bằng giây. Hãy tìm.

a) Vận tốc trung bình, gia tốc trung bình trong khoảng thời gian từ $t = 1\text{s}$ đến $t = 2\text{s}$.

b) Vận tốc tức thời, gia tốc tức thời ở thời điểm $t = 1\text{s}$ và $t = 2\text{s}$.

c) So sánh các đại lượng vận tốc, gia tốc ở câu a) và câu b).

d) Vẽ đồ thị x theo t và v theo t, từ đó chỉ ra cách trả lời cho câu a) và câu b).

Đáp số: a) 14m/s, 18m/s².

b) 6m/s; 24m/s; 12m/s²; 24m/s².

10. Chất điểm chuyển động thẳng nhanh dần đều đi được đoạn đường $S_1 = 24\text{m}$ và $S_2 = 64\text{m}$ trong hai khoảng thời gian liên tiếp bằng nhau là 4s. Xác định vận tốc ban đầu và gia tốc của chất điểm.

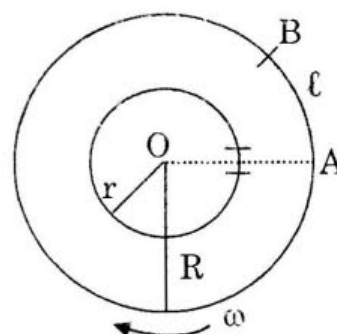
Đáp số: $v_0 = 1\text{m/s}$; $a = 2,5\text{m/s}^2$.

11. Trong 0,5s cuối trước khi chạm đất vật rơi tự do đi được quãng đường gấp đôi quãng đường đi được trong 0,5s liền trước đó. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$, bỏ qua sức cản của không khí. Tính độ cao vật bắt đầu rơi.

Đáp số: $h = 7,8\text{m}$.

12. Để nghiên cứu vận tốc các phân tử và phân bố phân tử theo vận tốc người ta dùng dụng cụ như sau.

Dụng cụ gồm hai ống hình trụ đồng trục O có bán kính r và R. Trụ nhỏ bán kính r có khe hẹp. Tại trục O đặt chất dễ bay hơi khi đốt ở nhiệt độ T(K). Hai ống trụ liên kết với nhau và quay quanh trục với cùng vận tốc góc ω . Khi hai hình trụ không quay, các phân tử bám ở vị trí A. Khi hai hình trụ quay đều, số phân tử bám vào vị trí B cách A một khoảng l . Tính vận tốc các phân tử bám vào vị trí B.



Hình 1.16

Đáp số: $v = \frac{\omega(R-r)R}{l}$

13. Một xe chuyển động thẳng có vận tốc trung bình 18km/h trên 1/4 đoạn đường đầu và vận tốc 54km/h trên 3/4 đoạn đường còn lại. Vận tốc trung bình trên cả đoạn đường là bao nhiêu?

Đáp số: 36km/h.

14. Một bao xi măng rơi tự do từ độ cao 53m. Khi còn cách mặt đất 14m thì một người thợ ngược nhìn lên thấy nó đang rơi thẳng xuống mình. Hỏi người thợ có bao nhiêu thời gian để lách sang một bên, biết rằng người thợ cao 1,8m. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Đáp số: $t = 0,41\text{s}$.

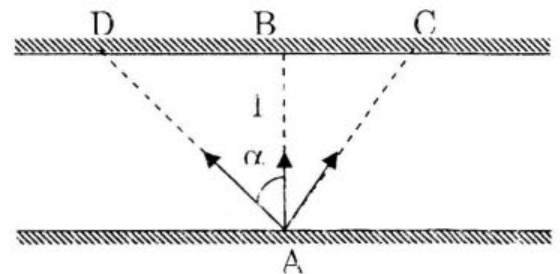
15. Một dòng sông thẳng, dòng nước có vận tốc v_2 , một thuyền chuyển động với vận tốc v_1 đối với nước. Từ A:

– Nếu người lái hướng mũi thuyền vào B thì sau 10 phút thuyền tới C về phía hạ lưu, với BC bằng 120m.

– Nếu người lái hướng mũi thuyền về phía thượng lưu với góc lệch α thì sau 12 phút 30 giây thuyền tới đúng điểm B.

a) Tính vận tốc thuyền v_1 và bề rộng của dòng sông l .

b) Xác định góc lệch α .



Hình 1.17

Đáp số: a) $v_1 = 1,2\text{km/h}$; $l = 200\text{m}$.

b) $\alpha = 37^\circ$.

Chương 2

ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

Động lực học là phần cơ học nghiên cứu mối liên hệ giữa chuyển động cơ học và tương tác giữa các vật.

MỤC TIÊU

1. Trình bày được ba định luật của Newton (phát biểu, thiết lập biểu thức, nội dung giải quyết của các định luật trong cơ học và ứng dụng).
2. Trình bày ý nghĩa vật lý của động lượng. Định luật bảo toàn động lượng trong cơ hệ kín. Vận dụng định luật trên để giải quyết một số bài toán trong thực tế.

2.1. ĐỊNH LUẬT NEWTON I

Định luật Newton I cho ta nghiên cứu chuyển động của chất điểm không chịu tác dụng nào ở bên ngoài (chất điểm cô lập). Định luật phát biểu:

Một chất điểm giữ nguyên trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều chừng nào chưa có tác dụng bên ngoài buộc nó phải thay đổi trạng thái này.

Tính chất bảo toàn trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều gọi là quán tính của vật.

Định luật I của Newton còn gọi là định luật quán tính. Một hệ quy chiếu nghiệm đúng định luật quán tính gọi là hệ quy chiếu quán tính. Các hệ quy chiếu đứng yên hay chuyển động tịnh tiến với hệ quy chiếu quán tính cho trước đều là hệ quy chiếu quán tính.

Ví dụ: một người đang đứng yên trên con tàu chuyển động thẳng đều. Khi đó người cũng chuyển động với vận tốc $v = \text{const}$. Bỗng nhiên tàu dừng lại, do quán tính người vẫn tiếp tục chuyển động, nên người bị ngã về phía trước.

Tương tự người bị ngã về phía sau khi tàu đang đứng yên bắt đầu chuyển động.

2.2. ĐỊNH LUẬT NEWTON II

Định luật Newton II cho ta biết chuyển động cơ học của một chất điểm thay đổi như thế nào khi nó chịu tác dụng của các vật bên ngoài.

2.2.1. Lực tác dụng

Tác dụng của một vật này lên vật khác được biểu thị bởi một đại lượng

vectơ \vec{F} gọi là lực. Dưới tác dụng của lực, vật có thể biến đổi vận tốc chuyển động tức là thu được gia tốc, hoặc bị biến dạng tức là thay đổi hình dạng và kích thước.

Khi có nhiều lực tác dụng lên một chất điểm: $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ thì tác dụng đồng thời của nhiều lực tương đương với tác dụng của lực tổng hợp.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

\vec{F} : bằng tổng vectơ của các lực thành phần.

Đó là nội dung của nguyên lý chồng chất lực.

2.2.2. Gia tốc và lực

Đại lượng đặc trưng cho sự thay đổi trạng thái chuyển động là vectơ gia tốc \vec{a} . Do đó ta có thể nói: *Lực là nguyên nhân gây ra gia tốc của chuyển động.*

Thực nghiệm chứng tỏ rằng: cùng một chất điểm nếu chịu tác dụng của các lực \vec{F} khác nhau, chất điểm sẽ thu được các gia tốc khác nhau. Lực càng lớn, gia tốc thu được càng lớn, trạng thái chuyển động của chất điểm thay đổi càng nhiều.

Gia tốc chất điểm thu được tỷ lệ thuận với lực tác dụng.

$$\begin{aligned} \vec{a} &\sim \vec{F} \quad (\vec{a} \text{ cùng phương, chiều với } \vec{F}) \\ \vec{a} &= K_1 \cdot \vec{F} \end{aligned} \quad (2.1)$$

K_1 : hệ số tỷ lệ là đại lượng vô hướng và dương.

2.2.3. Gia tốc và khối lượng

Nếu tác dụng cùng một lực lên các chất điểm khác nhau sẽ gây ra các gia tốc tương ứng khác nhau. Như vậy gia tốc chuyển động của chất điểm còn phụ thuộc vào tính chất vật lý của bản thân chất điểm đó. Tính chất này được đặc trưng bởi một đại lượng vật lý gọi là khối lượng của vật.

Ký hiệu: m ; Đơn vị: kg.

Thực nghiệm thấy rằng dưới cùng một lực tác dụng \vec{F} , gia tốc của chất điểm thu được tỷ lệ nghịch với khối lượng của nó.

$$a \sim \frac{1}{m} \quad \text{hay} \quad a = \frac{K_2}{m} \quad (2.2)$$

m càng lớn, a thu được càng nhỏ. Chứng tỏ sự thay đổi trạng thái chuyển động càng ít. Ta nói tính bảo toàn trạng thái chuyển động càng lớn (tức là quán tính lớn).

Vậy: Khối lượng của chất điểm là một đại lượng vật lý đặc trưng cho quán tính của chất điểm ấy.

2.2.4. Định luật Newton II

Theo (2.1) và (2.2). Ta có thể viết:

$$\vec{a} = K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{\vec{F}}{m}$$

Hay
$$\vec{a} = K \cdot \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.3)$$

K: hệ số tỷ lệ, phụ thuộc vào đơn vị chọn. Thường người ta chọn các đơn vị để cho $K = 1$. Khi đó công thức (2.3) có thể viết lại:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (2.4)$$

Phát biểu: Gia tốc mà chất điểm thu được tỷ lệ thuận với lực tác dụng lên chất điểm và tỷ lệ nghịch với khối lượng của chất điểm.

Ta cũng có thể viết:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (2.5)$$

Phương trình (2.5) gọi là phương trình cơ bản của định luật Newton II. Từ phương trình trên ta có thể xác định được gia tốc của một chất điểm khi biết các lực tác dụng. Từ đó nếu biết vị trí, vận tốc ban đầu, nó cho phép xác định trạng thái chuyển động của chất điểm.

2.2.5. Biểu thức tổng quát của định luật Newton II

Từ phương trình cơ bản:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Vì:
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ nên } \vec{F} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Trong cơ học cổ điển, ta chỉ xét các chất điểm chuyển động với vận tốc $v \ll c$ (vận tốc ánh sáng).

Khối lượng m của chất điểm là đại lượng không đổi. Vì thế có thể đưa m vào trong dấu đạo hàm:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

Đại lượng $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ gọi là vectơ động lượng (hay xung lượng) của chất điểm.

Từ đó ta nhận được:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2.6)$$

Đây là biểu thức tổng quát của định luật Newton II.

Phát biểu: *Tốc độ biến thiên động lượng của chất điểm theo thời gian bằng lực tổng hợp tác dụng lên nó.*

* Ý nghĩa của vectơ động lượng:

Như ta đã biết: vectơ vận tốc \vec{v} là một trong hai đặc trưng cơ bản của chuyển động về mặt động học. Theo định nghĩa vectơ động lượng $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ không những phụ thuộc vào vận tốc của chất điểm mà còn phụ thuộc vào khối lượng của chất điểm đó. Nghĩa là phụ thuộc vào tính chất của bản thân vật. Hai chất điểm có cùng một vận tốc \vec{v} , nhưng có khối lượng khác nhau, sẽ có khả năng gây ra các lực khác nhau, khi tác động vào vật khác.

Ta xét ví dụ khác, giả sử quả cầu khối lượng m_1 chuyển động với vận tốc \vec{v}_1 va chạm vào quả cầu khối lượng m_2 (đứng yên). Sau va chạm cả hai chuyển động với vận tốc \vec{v}_2 . Thực nghiệm chứng tỏ rằng $\vec{v}_1 \neq \vec{v}_2$, \vec{v}_2 không những phụ thuộc vào \vec{v}_1 mà còn phụ thuộc vào khối lượng m_1 của quả cầu thứ nhất. Nói cách khác, sự truyền chuyển động của quả cầu thứ nhất sang quả cầu thứ hai phụ thuộc vào động lượng của quả cầu thứ nhất.

Vậy động lượng của một vật là đại lượng đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động của vật đó.

Ta có thể nói: Động lượng là một đại lượng đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực học.

Trong hệ SI, thứ nguyên của lực là:

$$[F] = [\text{Khối lượng}] \cdot [\text{Gia tốc}]$$

$$[F] = M.L.T^{-2}$$

Đơn vị đo lực là $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$. Đơn vị này được gọi là Newton (N).

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$$

2.3. ĐỊNH LUẬT NEWTON III

Định luật Newton III xét một hệ hai vật tương tác với nhau.

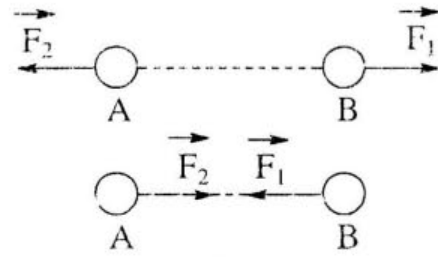
Định luật phát biểu: *Khi chất điểm A tác dụng lên chất điểm B một lực \vec{F}_1 thì ngược lại chất điểm B sẽ tác dụng lên chất điểm A một lực \vec{F}_2 có cùng*

phương, ngược chiều với \vec{F}_1 và có độ lớn bằng độ lớn của \vec{F}_1 (hai lực \vec{F}_1 và \vec{F}_2 trực đối nhau).

$$\text{Ta có: } \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$\text{Suy ra: } \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$$

Một trong hai lực được gọi là lực tác dụng, lực còn lại gọi là phản lực.



Hình 2.1

Chú ý: Hai lực \vec{F}_1 và \vec{F}_2 có điểm đặt khác nhau (\vec{F}_1 đặt lên B và \vec{F}_2 đặt lên A). Chúng không triệt tiêu nhau.

Ví dụ: người bơi lấy tay và chân đẩy nước về phía sau, phản lực của nước sẽ đẩy người đó về phía trước.

Suy rộng ra, nếu có một hệ gồm nhiều chất điểm, chỉ tác dụng với nhau mà không tác dụng với bên ngoài thì tổng các lực tác dụng của cả hệ bằng không.

2.4. MỘT VÀI LOẠI LỰC THƯỜNG GẶP

2.4.1. Trọng lực và trọng lượng

2.4.1.1. Trọng lực

Do có sức hút của Trái Đất nên mọi vật đều rơi với gia tốc như nhau, được gọi là gia tốc rơi tự do \vec{g} .

Điều đó có nghĩa trong hệ quy chiếu gắn với Trái Đất, một vật khối lượng m chịu tác dụng của một lực:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Lực \vec{P} gọi là trọng lực, trọng lực đặt trên vật, có cùng phương chiều với gia tốc rơi tự do (hướng vào tâm Trái Đất).

2.4.1.2. Trọng lượng

Muốn vật không rơi phải đặt vật trên một giá đỡ nằm ngang hoặc treo vật trên một giá treo thẳng đứng. Khi đó trọng lực \vec{P} cân bằng với phản lực \vec{F}_r của giá đỡ hoặc giá treo.

$$-\vec{F}_r = \vec{P}$$

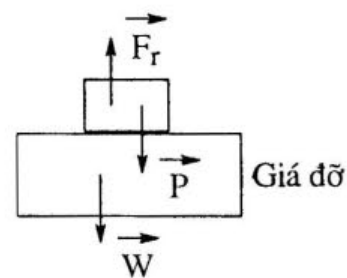
Theo định luật Newton III, vật tác dụng lên giá đỡ hoặc giá treo một lực:

$$\vec{W} = -\vec{F}_r$$

Lực \vec{W} gọi là trọng lượng.

Vậy: Trọng lượng là lực của một vật do chịu sức hút của Trái Đất, tác dụng lên giá đỡ hoặc giá treo.

Khi giá đỡ hoặc giá treo đứng yên đối với mặt đất thì trọng lực \vec{P} và trọng lượng \vec{W} có độ lớn và phương chiều như nhau.



Hình 2.2

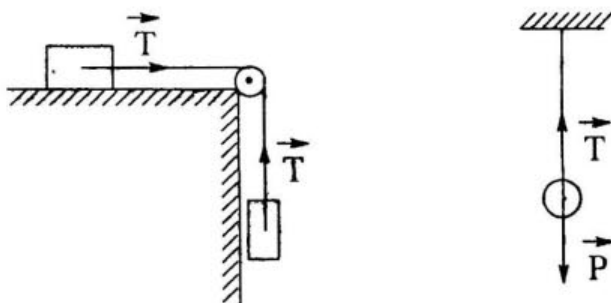
Nhưng điểm đặt của chúng khác nhau. Lực \vec{P} đặt lên vật, còn lực \vec{W} đặt lên giá đỡ.

2.4.2. Lực đàn hồi

Khi các vật bị biến dạng đàn hồi thì trong vật xuất hiện những lực có xu hướng đưa vật trở lại hình dạng và kích thước ban đầu. Những lực đó gọi là lực đàn hồi. Lực đàn hồi tác dụng ở chỗ tiếp xúc giữa vật bị biến dạng và vật gây ra biến dạng. Trong thực tế thường gặp các loại lực đàn hồi sau:

2.4.2.1. Lực căng

Buộc sợi dây vào một vật, rồi kéo vật, dây bị căng, trên nó xuất hiện lực tác dụng lên vật gọi là lực căng \vec{T} . Lực căng \vec{T} có phương dọc theo dây, có chiều đi ra từ vật. Lực căng của cùng một đoạn dây tác dụng lên các vật khác nhau có độ lớn bằng nhau.



Hình 2.3

2.4.2.2. Phản lực pháp tuyến

Khi một vật nén lên mặt một giá đỡ nào thì vật chịu tác dụng của một phản lực vuông góc với mặt, gọi là phản lực pháp tuyến \vec{N} .



Hình 2.4

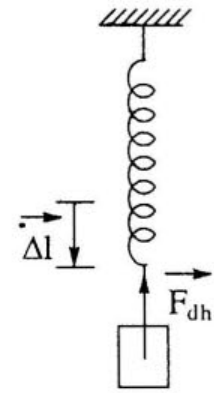
2.4.2.3. Lực đàn hồi của lò xo

Khi một lò xo bị nén hoặc dãn một đoạn Δl (trong giới hạn đàn hồi) thì trên lò xo xuất hiện lực đàn hồi.

Theo định luật Hook, lực đàn hồi có độ lớn tỷ lệ với độ biến dạng và có chiều ngược với độ biến dạng.

$$\vec{F}_{dh} = -k \cdot \Delta l \quad (2.7)$$

K: hệ số đàn hồi hay độ cứng của lò xo.



Hình 2.5

2.4.3. Lực ly tâm

Xét một vật chuyển động cong, vật có gia tốc toàn phần:

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$$

Theo định luật Newton II. Lực \vec{F} tác dụng lên vật, gây ra gia tốc \vec{a} cho vật cũng có thể phân ra hai thành phần:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot (\vec{a}_t + \vec{a}_n)$$

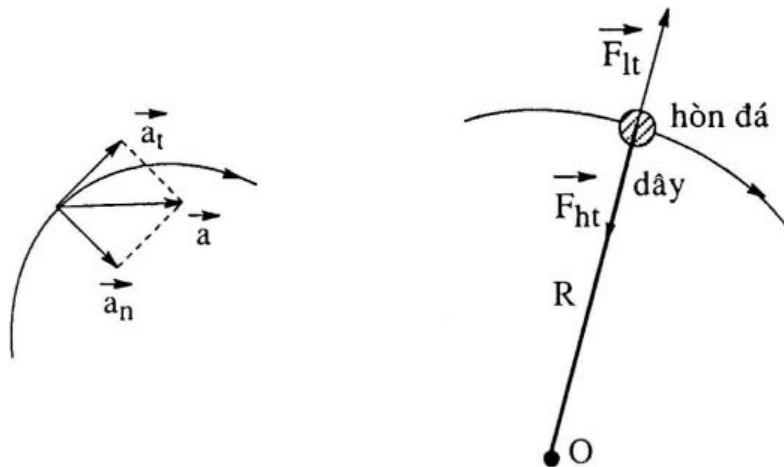
$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_n$$

\vec{F}_t : lực tiếp tuyến.

\vec{F}_n : lực hướng tâm hay lực pháp tuyến có tác dụng kéo vật chuyển động cong hướng về tâm quỹ đạo.

Ví dụ: buộc hòn đá vào sợi dây và quay tròn, sợi dây tác dụng lên hòn đá lực hướng tâm \vec{F}_n đặt vào trung tâm hòn đá.

Theo định luật Newton III, hòn đá tác dụng lên sợi dây một lực cùng phương, ngược chiều với lực hướng tâm gọi là lực ly tâm.



Hình 2.6

$$\vec{F}_{ht} = -\vec{F}_t$$

Về độ lớn: $F_t = F_{ht} = \frac{m.v^2}{R}$ (2.8)

Ứng dụng: trong các máy ly tâm, máy vắt, máy giặt.

2.4.4. Lực ma sát

Khi hai vật tiếp xúc với nhau, chuyển động đối với nhau, thì ở chỗ tiếp xúc xuất hiện các lực cản trở chuyển động gọi là lực ma sát.

2.4.4.1. Ma sát nghỉ

Hãy xét ví dụ: một cái hòm nặng đặt trên nền nhà. Muốn di chuyển nó phải đẩy hay kéo một lực \vec{F} theo phương nằm ngang. Nhưng hòm vẫn đứng yên. Điều đó chứng tỏ ở chỗ tiếp xúc giữa mặt hòm và mặt nền đã xuất hiện một lực ma sát cân bằng với ngoại lực. Gọi là ma sát nghỉ (\vec{F}_{mso}). Khi ngoại lực $\vec{F} > \vec{F}_{mso}$ max thì hòm bắt đầu trượt.

$$\vec{F}_{mso} :$$

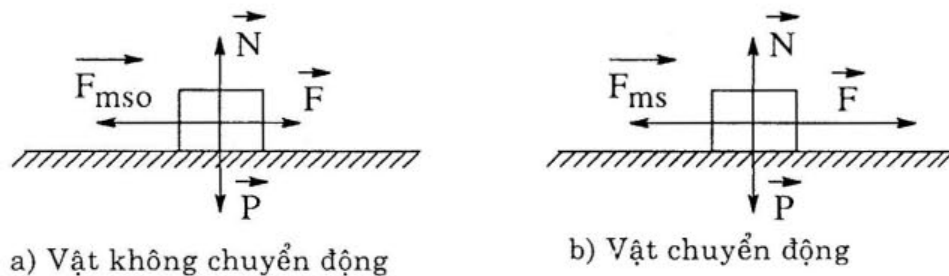
- Có phương tiếp tuyến với mặt tiếp xúc giữa hai vật.
- Ngược chiều và có độ lớn bằng thành phần song song với mặt tiếp xúc của ngoại lực \vec{F} .
- Giá trị cực đại của lực ma sát nghỉ:

$$F_{\max(mso)} = K_0 \cdot F_n = K_0 \cdot N \quad (2.9)$$

F_n : lực nén vuông góc của vật ta xét lên vật tiếp xúc với nó.

N : phản lực tác dụng lên vật ta xét.

K_0 : hệ số ma sát nghỉ.



Hình 2.7

2.4.4.2. Lực ma sát trượt

Khi $\vec{F} > \vec{F}_{mso}$ thì vật bắt đầu trượt. Lực ma sát tác dụng lên vật khi đó gọi là ma sát trượt (\vec{F}_{ms}).

\vec{F}_{ms} :

- Có phương tiếp tuyến với mặt tiếp xúc giữa hai vật.
- Chiều ngược với chiều chuyển động.
- Độ lớn:

$$F_{ms} = K.F_n = K.N \quad (2.10)$$

K: hệ số ma sát trượt. Phụ thuộc vào bản chất các vật tiếp xúc.

2.5. ÁP DỤNG ĐỊNH LUẬT NEWTON TRONG BÀI TOÁN CƠ HỌC

Khi áp dụng các định luật Newton để giải các bài toán, có thể tiến hành theo các bước sau:

1. Chọn hệ quy chiếu, thường chọn hệ quy chiếu gắn với mặt đất. Tìm và vẽ các vectơ lực tác dụng lên vật.

2. Viết phương trình định luật Newton II dưới dạng vectơ cho từng vật. Sau đó chuyển thành phương trình độ lớn bằng cách chiếu phương trình vectơ lên phương chuyển động của từng vật. Khi chiếu chọn một chiều dương, cùng chiều dương lấy dấu cộng, ngược chiều dương lấy dấu trừ.

3. Để tìm phản lực \vec{N} , lực ma sát, chiếu phương trình vectơ lên phương vuông góc với phương chuyển động của vật.

Trong nhiều trường hợp còn phải kết hợp với các điều kiện khác như: lực căng của cùng một đoạn dây tác dụng lên hai vật ở hai đầu có độ lớn như nhau.

4. Giải phương trình.

2.5.1. Bài mẫu 1

Hai vật $m_1 = 1\text{kg}$ và $m_2 = 1,5\text{kg}$ được nối với nhau bằng một sợi dây mảnh, không giãn, vắt qua một ròng rọc. Vật m_2 có thể trượt trên một mặt phẳng nghiêng một góc $\alpha = 30^\circ$ so với phương nằm ngang. Bỏ qua khối lượng của ròng rọc và của dây. Biết hệ số ma sát giữa vật m_2 và mặt phẳng nghiêng là $K = 0,1$. Tìm gia tốc của các vật và lực căng của sợi dây. Cho $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Giải:

Chọn hệ quy chiếu gắn với mặt đất.

Vật m_1 chịu tác dụng của 2 lực: trọng lực \vec{P}_1 và lực căng \vec{T}_1 .

Theo định luật Newton II:

$$\vec{P}_1 + \vec{T}_1 = m_1 \cdot \vec{a}_1 \quad (2.11)$$

Vật m_2 chịu tác dụng của 4 lực: trọng lực \vec{P}_2 , lực căng \vec{T}_2 , phản lực pháp tuyến \vec{N} , lực ma sát \vec{F}_{ms} .

Phương trình chuyển động của vật m_2 :

$$\vec{P}_2 + \vec{T}_2 + \vec{N} + \vec{F}_{ms} = m_2 \cdot \vec{a}_2 \quad (2.12)$$

Để tìm hình chiếu của lực ma sát. Ta hãy xét xem khi không có ma sát hệ vật chuyển động về phía nào. Từ hình vẽ (2.8) ta thấy lực kéo m_1 xuống theo phương thẳng đứng là:

$$P_1 = m_1 \cdot g = 9,8 \text{ N}$$

Lực kéo m_2 xuống theo phương mặt phẳng nghiêng là:

$$P_2 \cdot \sin \alpha = m_2 \cdot g \cdot \sin \alpha = 7,35 \text{ N}$$

Như vậy $P_1 > P_2 \rightarrow P_1 > P_2 \cdot \sin \alpha$ do đó khi không có ma sát vật m_1 đi xuống, vật m_2 đi lên.

Lực ma sát ngược chiều chuyển động nghĩa là có chiều hướng xuống dưới.

Chiếu các phương trình (2.11) và (2.12) lên phương chuyển động của vật m_1 và vật m_2 tương ứng, chú ý các lực căng $T_1 = T_2 = T$. Các gia tốc $a_1 = a_2 = a$.

Ta có:
$$\begin{cases} P_1 - T = m_1 \cdot a & (2.13) \\ -P_2 \cdot \sin \alpha + T - F_{ms} = m_2 \cdot a & (2.14) \end{cases}$$

$$F_{ms} = K \cdot N$$

Muốn tìm N ta chiếu phương trình (2.12) lên phương vuông góc với phương chuyển động của vật m_2 , ta được:

$$-P_2 \cdot \cos \alpha + N = 0 \quad (2.15)$$

Suy ra:
$$N = P_2 \cdot \cos \alpha$$

$$F_{ms} = K \cdot P_2 \cdot \cos \alpha$$

Thay vào (2.14) ta có:

$$-P_2 \cdot \sin \alpha + T - K \cdot P_2 \cdot \cos \alpha = m_2 \cdot a \quad (2.16)$$

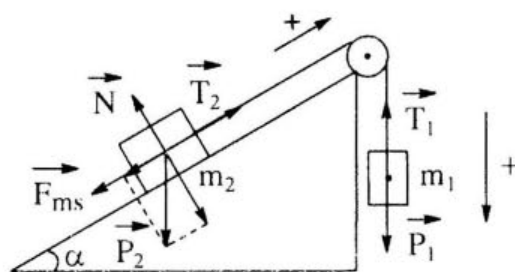
Cộng (2.13) và (2.16) ta được:

$$P_1 - P_2 \cdot (\sin \alpha + K \cdot \cos \alpha) = (m_1 + m_2) \cdot a$$

$$a = \frac{m_1 - m_2 \cdot (\sin \alpha + K \cdot \cos \alpha)}{m_1 + m_2} \cdot g = 0,47 \text{ m/s}^2$$

$$T = P_1 - m_1 \cdot a = m_1 \cdot (g - a)$$

$$= 1 \cdot (9,8 - 0,47) = 9,33 \text{ N}$$



Hình 2.8

2.5.2. Bài mẫu 2. Sự tăng giảm trọng lượng

Một người có khối lượng $m = 72,2 \text{ kg}$ đứng yên trên một bàn cân đặt trong buồng một thang máy. Hỏi trọng lượng của người đó (tức là số chỉ của cân) bằng bao nhiêu khi:

- a) Thang máy chuyển động đều.
- b) Thang máy đi lên với gia tốc bằng $3,2\text{m/s}^2$.
- c) Thang máy đi xuống với gia tốc bằng $3,2\text{m/s}^2$.
- d) Thang máy rơi tự do với $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Giải:

Trong hệ quy chiếu gắn với mặt đất. Người chịu tác dụng của trọng lực \vec{P} , phản lực pháp tuyến \vec{N} của cabin và chuyển động với gia tốc \vec{a} . Theo định luật Newton II:

$$\vec{P} + \vec{N} = m \cdot \vec{a} \quad (2.17)$$

Trọng lượng \vec{W} là lực nén \vec{W} của người lên cabin. Lực \vec{W} cùng với phản lực \vec{N} tạo thành một cặp "lực - phản lực". Muốn tìm \vec{W} phải tìm \vec{N} .

Chiếu phương trình (2.17) lên phương thẳng đứng, chọn chiều dương từ trên xuống.

- a) Khi thang chuyển động đều $\vec{a} = 0$

$$\begin{aligned} P - N &= 0 \\ N &= P = 72,2 \cdot 9,8 = 707,6\text{N} \end{aligned}$$

Nghĩa là trọng lượng của người giống như khi thang đứng yên.

- b) Khi thang đi lên với gia tốc $a = 3,2\text{m/s}^2$, \vec{a} hướng lên trên, ta có:

$$\begin{aligned} P - N &= -m \cdot a \\ N &= P + m \cdot a = m \cdot (g + a) \\ &= 72,2 \cdot (9,8 + 3,2) = 938,6\text{N} \end{aligned}$$

Nghĩa là người ở trạng thái tăng trọng lượng.

- c) Khi thang đi xuống với gia tốc $3,2\text{m/s}^2$, \vec{a} hướng xuống dưới, ta có:

$$\begin{aligned} P - N &= m \cdot a \\ N &= P - m \cdot a = m \cdot (g - a) \\ &= 72,2 \cdot (9,8 - 3,2) = 476,5\text{N} \end{aligned}$$

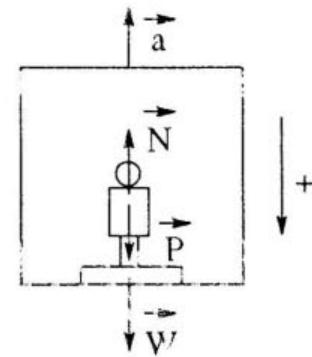
Mà $W \equiv N$

Người ở trạng thái giảm trọng lượng.

- d) Khi thang rơi tự do với $g = 9,8\text{m/s}^2$:

$$\begin{aligned} P - N &= m \cdot g \\ N &= P - m \cdot g = m \cdot (g - g) = 0 \end{aligned}$$

Người ở trạng thái không trọng lượng.



Hình 2.9

2.6. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN ĐỘNG LƯỢNG TRONG CƠ HỆ KÍN

2.6.1. Định luật bảo toàn động lượng

Cơ hệ kín là một hệ cơ học gồm n chất điểm tương tác với nhau, nhưng không tương tác với môi trường ngoài.

Ta hãy xét một cơ hệ kín gồm 3 chất điểm, mỗi chất điểm sẽ chịu tác dụng của hai chất điểm kia.

Theo định luật Newton II:

$$\text{Với vật 1: } \frac{d\vec{p}_1}{dt} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31}$$

$$\text{Với vật 2: } \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$$

$$\text{Với vật 3: } \frac{d\vec{p}_3}{dt} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

Cộng 2 vế của các phương trình trên ta có:

$$\frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3)}{dt} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{12} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{32}$$

Theo định luật Newton III:

$$\vec{F}_{ik} = -\vec{F}_{ki}$$

Do đó vế phải bằng không:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3)}{dt} = 0$$

Từ đó suy ra:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = \text{const}$$

$$\vec{p} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 + m_3 \cdot \vec{v}_3 = \text{const}$$

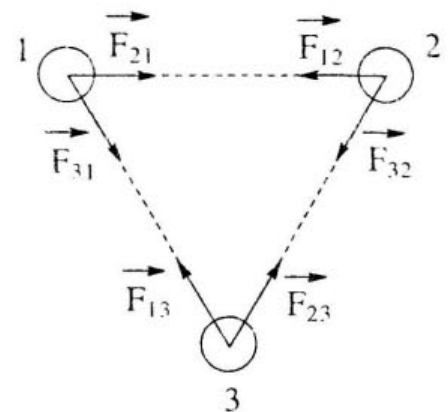
Suy rộng ra: Nếu hệ cô lập gồm n chất điểm ta sẽ có:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \vec{v}_i = \text{const} \quad (2.18)$$

Vậy, *Tổng các vectơ động lượng của các chất điểm trong một hệ cơ học kín không biến đổi theo thời gian* (Hay, nó được bảo toàn theo thời gian).

2.6.2. Ứng dụng định luật

Định luật trên cũng đúng cho những hệ cơ học chịu tác dụng của ngoại lực, nhưng các lực cân bằng nhau hoặc ngoại lực rất nhỏ so với nội lực, có thể bỏ qua.



Hình 2.10

Ví dụ như giải thích sự giật lùi của súng, chuyển động của tên lửa.

• Ví dụ: chuyển động phản lực của tên lửa: một tên lửa có khối lượng ban đầu là M_0 . Trong quá trình chuyển động tên lửa luôn phụt khí ra phía sau. Khối lượng của nó giảm dần, tên lửa tiến lên phía trước, vận tốc của nó tăng dần. Tìm vận tốc của tên lửa khi khối lượng của nó bằng M .

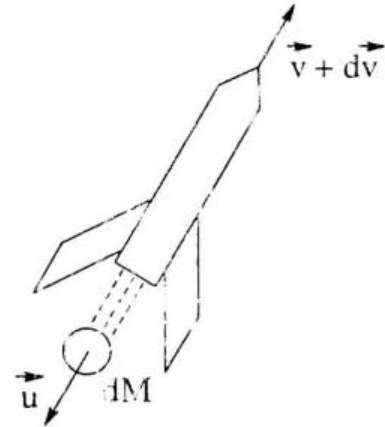
Giải:

Giả sử tại thời điểm t tên lửa có khối lượng M , vận tốc là \vec{v} . Động lượng của tên lửa là:

$$\vec{p}_1 = M \cdot \vec{v}$$

Sau khoảng thời gian dt , tên lửa phụt ra phía sau một khối lượng khí bằng dM_1 .

Nếu vận tốc phụt khí đối với tên lửa luôn luôn không đổi và bằng \vec{u} thì vận tốc phụt khí đối với hệ quy chiếu đang quan sát bằng $\vec{u} + \vec{v}$ và động lượng của khí phụt ra là: $dM_1(\vec{u} + \vec{v})$.



Hình 2.11

Sau khi khí phụt ra, khối lượng của tên lửa là $M + dM$ (với chú ý $dM = -dM_1$).

Động lượng của tên lửa là: $(M + dM)(\vec{v} + d\vec{v})$

Động lượng của hệ sau khi phụt khí là:

$$\vec{p}_2 = dM_1(\vec{v} + \vec{u}) + (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v})$$

Theo định luật bảo toàn động lượng:

$$\vec{p}_1 = \vec{p}_2$$

Hay: $-dM(\vec{v} + \vec{u}) + (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v}) = M \cdot \vec{v}$

Khai triển phép tính và bỏ qua số hạng vô cùng nhỏ ($dM \cdot d\vec{v}$) ta được:

$$M \cdot d\vec{v} = -\vec{u} \cdot dM$$

Vì các vectơ đều cùng phương nên chiếu lên phương chuyển động chọn làm chiều dương, ta được:

$$M \cdot dv = -u \cdot dM$$

(\vec{u} và $d\vec{v}$ ngược chiều).

$$dv = -u \cdot \frac{dM}{M}$$

Tích phân 2 vế phương trình trên:

$$\int_0^v dv = -u \int_{M_0}^M \frac{dM}{M}$$
$$v = u \ln \frac{M_0}{M} \quad (2.19)$$

Công thức (2.19) gọi là công thức Ciolkovskij.

Theo công thức này muốn cho vận tốc tên lửa lớn thì vận tốc phụt khí (đổi với tên lửa) u phải lớn và tỷ số $\frac{M_0}{M}$ cũng phải lớn.

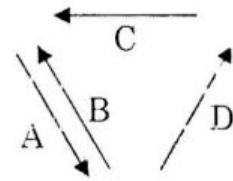
2.6.3. Ý nghĩa

Định luật bảo toàn động lượng là một định luật cơ bản của tự nhiên, không những áp dụng cho hệ cơ học cổ điển mà còn cho cả hệ hạt vi mô.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Thế nào là một hệ cô lập? Phát biểu định luật Newton I? Nó giải quyết vấn đề gì của phần cơ học.
2. Lực là gì, khối lượng là gì? Phát biểu định luật Newton II. Tại sao phương trình $\vec{F} = m \vec{a}$ lại được gọi là phương trình cơ bản của động lực học.
Thiết lập biểu thức tổng quát của định luật Newton II, ý nghĩa của vectơ động lượng.
3. Phân biệt: trọng lượng và khối lượng, lực hướng tâm và lực ly tâm, các loại lực ma sát.
4. Phát biểu định luật Newton III? Định luật này có phụ thuộc vào hệ quy chiếu không? Nó giải quyết vấn đề gì của phần cơ học.
Phát biểu *lực và phản lực triệt tiêu nhau* có đúng không?
5. Nêu định luật bảo toàn động lượng trong cơ hệ kín, ý nghĩa, ứng dụng.
6. Vận dụng các định luật Newton để giải thích hiện tượng: súng giật, chuyển động của tên lửa, người bị ngã về phía sau khi tàu chạy, tình trạng giảm trọng lượng và tăng trọng lượng của người khi đi thang máy.
7. Tại sao những chiếc ghế tựa trên ô tô người ta làm chúng có độ cao bằng đầu mà không làm độ cao bằng cổ khi người ngồi trên ghế?
8. Hãy trình bày ngắn gọn vài cách, để ta có thể thực hiện tình trạng không trọng lượng?
9. Bạn có thể cân bạn bằng cái cân có số chỉ cực đại nhỏ hơn khối lượng bạn được không? Nếu được thì bạn làm thế nào?

10. Có bốn lực với độ lớn bằng nhau như hình vẽ. Hỏi trong số đó có ba lực nào mà khi chúng cùng tác dụng vào vật thì vận tốc của vật không thay đổi?



Hình 2.12

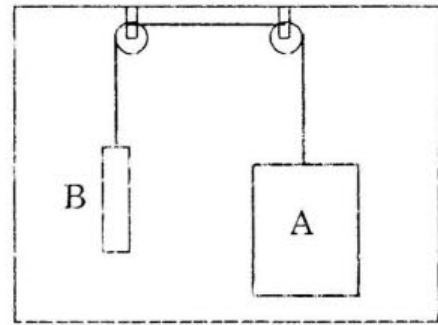
11. Biểu diễn xiếc, người ta dùng tay chặt ngói, gạch, bê tông, ... Tại sao người ta không chặt thanh gỗ?

12. Hai đội kéo co, phần sân bên đội thắng có ma sát lớn hơn bên đội thua, theo bạn có đúng không?

13. Phát biểu định luật Newton I chỉ là trường hợp đặc biệt của định luật Newton II có đúng không?

14. Khi cân vật bằng cân lò xo, để vật thật nhanh lên đĩa và để vật từ từ lên đĩa, theo bạn khối lượng của chúng có khác nhau không? Tại sao?

15. Trong cầu thang máy người ta dùng đối trọng B có khối lượng lớn hơn buồng thang máy A (cỡ 300kg). Tại sao người ta làm như vậy?



Hình 2.13

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Một vật có khối lượng m , được đặt trên một mặt phẳng nghiêng với mặt nằm ngang một góc 4° . Hỏi:

a) Giới hạn của hệ số ma sát bằng bao nhiêu để vật có thể trượt trên mặt phẳng nghiêng?

b) Nếu hệ số ma sát là 0,03 thì gia tốc của vật là bao nhiêu?

c) Trong điều kiện đó, vật trượt trên mặt phẳng nghiêng 100m phải mất thời gian bao lâu?

d) Vận tốc của vật cuối quãng đường 100m là bao nhiêu?

Hướng dẫn và đáp số:

a) Muốn vật trượt được trên mặt phẳng, phải có điều kiện:

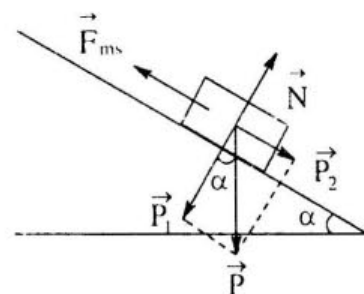
$$P_2 \geq F_{ms}$$

$$(F_{ms} = K.N)$$

$$K = \tan \alpha = 0,07$$

b) $a = 0,29 \text{ m/s}^2$.

c) Vật chuyển động nhanh dần không có vận tốc ban đầu. Phương trình chuyển động là:



Hình 2.14

$$S = \frac{1}{2}at^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = 26,3s$$

d) $v = at$
 $v = 7,63m/s.$

2. Một xe có khối lượng 15 tấn chuyển động chậm dần với gia tốc bằng $-0,49m/s^2$ và với vận tốc ban đầu $v_0 = 27km/h$. Hỏi:

- a) Lực hãm chuyển động.
 b) Sau bao lâu xe dừng lại.

Đáp số: a) $F = -7350N.$

b) $\Delta t = 15,3s.$

3. Trên đường ray có một xe khối lượng 10 tấn. Trên xe có một khẩu pháo khối lượng 0,5 tấn (không kể đạn). Mỗi viên đạn khối lượng 1kg, khi bắn có vận tốc ban đầu (so với đất) bằng 500m/s. Coi nòng pháo nằm ngang và chia dọc theo đường ray. Tính tốc độ của xe sau khi bắn trong 2 trường hợp:

- a) Ban đầu xe chuyển động với vận tốc 18km/h và đạn bắn theo chiều xe chạy.
 b) Ban đầu xe chuyển động với vận tốc 18km/h và đạn bắn ngược chiều xe chạy.

Coi ma sát giữa đạn và không khí là không đáng kể.

Hướng dẫn và đáp số:

Tìm động lượng của hệ (xe + súng + đạn) trước và sau khi bắn.

Đáp số: a) $v = 4,95m/s$

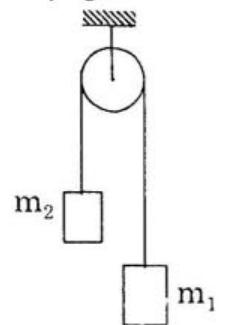
b) $v = 5,05m/s.$

4. Một sợi dây vắt qua một ròng rọc hai đầu buộc hai quả nặng có khối lượng lần lượt bằng $m_1 = 3kg; m_2 = 2kg$. Tính gia tốc của hệ và lực căng của sợi dây. Giả sử ma sát không đáng kể, dây không giãn và không có khối lượng.

Đáp số:

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot g = 1,96m/s^2$$

$$T = \frac{2 \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot g = 23,5N$$



Hình 2.15

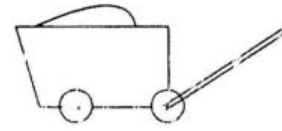
5. Một người đi chuyển một chiếc xe với vận tốc không đổi. Lần đầu người ấy kéo xe từ phía trước, lần sau người ấy đẩy xe từ phía sau. Trong cả hai trường hợp cùng xe hợp với phương nằm ngang một góc α . Hỏi trong trường hợp nào người tốn lực hơn. Biết rằng trọng lượng của xe là P , hệ số ma sát của bánh xe với mặt đất là K .

Hướng dẫn và đáp số:

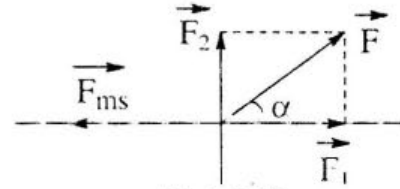
Trường hợp kéo xe từ phía trước, muốn xe chuyển động thì:

$$F_1 = F_{ms} = K.N$$

Đẩy xe về phía sau tốn lực kéo hơn.



6. Một vật được buộc chặt vào một sợi dây dài 1m. Một người cầm đầu kia của dây quay. Phải quay vật kia bao nhiêu vòng trong 1 phút nếu sợi dây vẽ nên một hình nón tạo với phương thẳng đứng một góc 60° . Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.



Hình 2.16

Đáp số: $n = 42,6$ vòng/phút

7. Một vật có khối lượng $m = 50\text{kg}$ đặt trên sàn buồng thang máy. Tính trọng lượng của vật trong các trường hợp sau:
- Thang đi lên nhanh dần đều với gia tốc $a = 0,2\text{m/s}^2$.
 - Thang đi lên chậm dần đều với gia tốc $a = 0,2\text{m/s}^2$.
 - Thang rơi với $a = 4,9\text{m/s}^2$.

Cho $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Đáp số: a) 500N.

b) 480N.

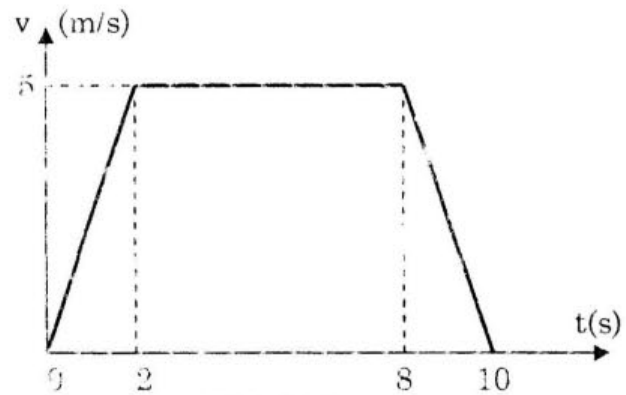
c) 245N.

8. Thang máy khối lượng 1000kg chuyển động từ mặt đất có đồ thị vận tốc theo thời gian như hình vẽ.

a) Tính lực căng của cáp treo thang máy trong từng giai đoạn chuyển động trong hai trường hợp sau:

- Thang máy đi lên.
- Thang máy đi xuống.

b) Vẽ đồ thị tọa độ và gia tốc của thang máy theo thời gian trong hai trường hợp trên. Lấy $g = 10\text{m/s}^2$.



Hình 2.17

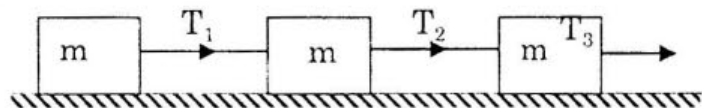
Đáp số: a) - Thang máy đi lên: 12500N, 10000N, 7500N.

- Thang máy đi xuống: 7500N, 10000N, 12500N.

9. Ba vật đặt trên một mặt bàn nằm ngang không ma sát, được nối với nhau bằng dây không giãn. Chúng được kéo sang phải bằng lực $T_3 = 65\text{N}$. Biết $m_1 = 12\text{kg}$, $m_2 = 24\text{kg}$, $m_3 = 31\text{kg}$. Hãy tìm:

a) Gia tốc hệ vật.

b) Lực căng T_1 và T_2 .



Hình 2.18

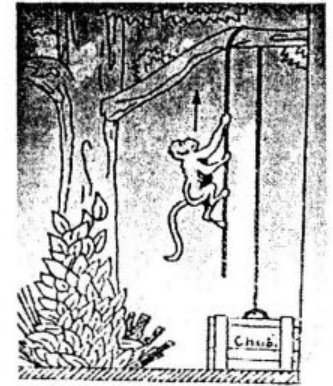
Đáp số: a) $0,970\text{m/s}^2$.

b) 11,6N; 34,9N.

10. Một con khỉ 10kg leo lên một sợi dây không khối lượng, vắt qua một cành cây không ma sát. Đầu kia của dây buộc một hộp có khối lượng 15kg.

a) Con khỉ phải leo với gia tốc ít nhất là bao nhiêu để vật nâng khỏi mặt đất ?

b) Nếu sau khi vật được nâng lên, khỉ ngừng leo và vẫn giữ dây thì gia tốc của nó và lực căng của dây là bao nhiêu?



Hình 2.19

Đáp số: a) $4,9\text{m/s}^2$.

b) 2m/s^2 ; 120N .

11. Một xe có khối lượng $m = 1600\text{kg}$ chuyển động với vận tốc không đổi $v = 20\text{m/s}$ trên một đường phẳng, tròn bán kính $R = 190\text{m}$. Hệ số ma sát giữa lốp xe và mặt đường K ít nhất bằng bao nhiêu để xe không bị trượt? K có phụ thuộc khối lượng của xe không?

Đáp số: $K = 0,21$.

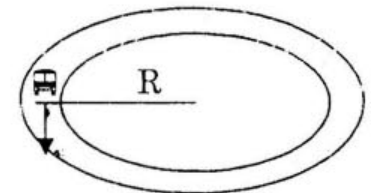
12. Do Trái Đất quay mà có thể quả rọi không chỉ đúng tâm của Trái Đất, mà lệch một góc nhỏ. Hãy tính góc lệch này:

a) ở vĩ độ 40° . b) ở các cực. c) ở xích đạo.

Đáp số: a) $5,8'$

b) Không.

c) Không.



Hình 2.20

Chương 3

CÔNG VÀ NĂNG LƯỢNG

MỤC TIÊU

1. Biết cách tính công trong các chuyển động cơ.
2. Trình bày và vận dụng các định lý về thế năng và động năng.
3. Trình bày được định luật bảo toàn cơ năng. Áp dụng giải các bài toán trong chuyển động cơ.

3.1. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT

3.1.1. Công

Khái niệm về công đã có trong đời sống hàng ngày. Thực vậy, khi kéo một gầu nước, đẩy xe, ta nói ta đã thực hiện công. Lực càng lớn, chuyển dời càng xa thì công sinh ra càng nhiều.

Trong vật lý người ta nói rằng lực sinh công cơ học khi điểm đặt của lực chuyển dời.

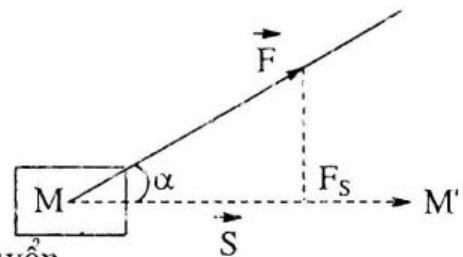
Để đơn giản ta xét lực tác dụng \vec{F} là không đổi, đoạn đường dịch chuyển là thẳng. Giả sử điểm đặt của lực chuyển dời một đoạn $MM' = S$. Công do lực sinh ra trong dịch chuyển MM' được định nghĩa:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} \quad (3.1)$$

(\vec{S} : vectơ dịch chuyển)

$$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha = F_s \cdot S$$

Với F_s : hình chiếu của lực \vec{F} lên phương dịch chuyển.



Hình 3.1

* Chú ý:

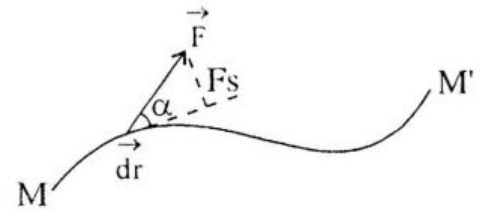
a) Từ công thức (3.1) ta thấy: A là một đại lượng vô hướng có thể dương, có thể âm hoặc bằng 0.

- Nếu $\alpha < \frac{\pi}{2}$; $\cos\alpha > 0 \rightarrow$ công $A > 0$: lực sinh công phát động.

- Nếu $\alpha > \frac{\pi}{2}$; $\cos\alpha < 0 \rightarrow$ công $A < 0$: lực sinh công cản.

- Nếu $\alpha = \frac{\pi}{2}$; $\cos\alpha = 0 \rightarrow$ công $A = 0$: lực không sinh công.

b) Trong trường hợp lực \vec{F} biến đổi và đoạn đường dịch chuyển là cong. Để tính công trong dịch chuyển ta chia đoạn đường cong MM' thành các đoạn dịch chuyển vô cùng nhỏ $d\vec{S}$ có thể coi như là thẳng, sao cho trên mỗi đoạn đường này, lực \vec{F} có thể coi là không đổi.



Hình 3.2

Vi phân công của lực trong dịch chuyển vô cùng nhỏ theo định nghĩa:

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (3.2)$$

Công tổng cộng trong chuyển dời MM' :

$$A = \int_M^{M'} dA = \int_M^{M'} \vec{F} \cdot d\vec{S} \quad (3.3)$$

3.1.2. Công suất

Để đặc trưng cho sức mạnh của các máy người ta đưa ra khái niệm công suất. Hai máy cùng sinh một công thì máy nào thực hiện công đó trong thời gian ít hơn sẽ mạnh hơn.

Định nghĩa: Công suất là một đại lượng vật lý về trị số bằng công mà lực sinh ra trong một đơn vị thời gian.

Nếu gọi dA là công mà lực sinh ra trong thời gian dt thì công suất sẽ bằng:

$$P = \frac{dA}{dt}$$

Theo (3.1)
$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

$$P = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (3.4)$$

Công suất bằng tích vô hướng của lực tác dụng với vectơ vận tốc của chuyển dời.

– Đơn vị công A:

Trong hệ SI:
$$A = \vec{F} \cdot \vec{S}$$

Đơn vị A:
$$N \cdot m = \text{Joule (J)}$$

– Đơn vị công suất P:
$$\text{J}/\text{s} = \text{Watts (W)}$$

$$1\text{kJ} = 1000\text{J}$$

$$1\text{kW} = 1000\text{W}$$

Trong kỹ thuật còn dùng một số đơn vị:

$$\text{kWh} \quad (1\text{kWh} = 3,6 \cdot 10^6\text{J})$$

1 mã lực (HP – HorsePower) là đơn vị công suất ($1 \text{HP} = 745,7\text{W} \approx 746\text{W}$).

3.2. ĐỘNG NĂNG

3.2.1. Khái niệm về năng lượng

Vật chất luôn vận động không ngừng. Mức độ vận động của chúng có thể rất khác nhau. Để đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất người ta đưa ra khái niệm năng lượng.

Năng lượng là thước đo mức độ vận động của vật chất. Một hệ vật chất có năng lượng thì nó sẽ có khả năng sinh công.

Ví dụ: một viên đạn đang bay (vận động cơ học) nó có năng lượng, có khả năng sinh công thắng công cản của sắt thép khi xuyên vào sắt thép. Một búa máy ở độ cao h sẽ có năng lượng, nó có khả năng sinh công làm biến dạng các vật khác khi nó rơi và đập vào các vật đó.

Hơi nước ở áp suất và nhiệt độ cao (vận động nhiệt) có khả năng sinh công kéo các toa xe lửa.

Rõ ràng khi hệ thực hiện công thì năng lượng của hệ biến thiên.

Thực nghiệm chứng tỏ: độ biến thiên năng lượng của hệ bằng công mà hệ trao đổi với bên ngoài. Giữa công và năng lượng có mối liên hệ mật thiết.

Năng lượng cơ học (gọi là cơ năng) có thể tách thành hai thành phần. Động năng phụ thuộc vào vận tốc, tức là phụ thuộc vào chuyển động của vật. Thế năng phụ thuộc vào vị trí, tức là phụ thuộc vào tương tác giữa các vật.

3.2.2. Động năng và định lý về động năng

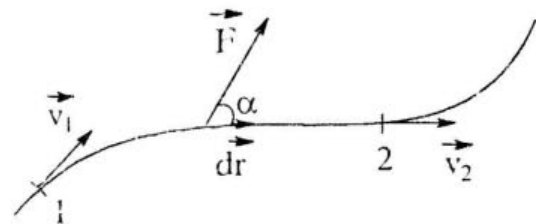
Động năng của một vật là phần cơ năng ứng với chuyển dời của vật đó.

Để xác định biểu thức của động năng, ta hãy xét trường hợp cụ thể. Giả sử dưới tác dụng của lực \vec{F} , một chất điểm có khối lượng m dịch chuyển từ vị trí 1 đến vị trí 2 có vận tốc thay đổi từ \vec{v}_1 đến \vec{v}_2 . Công của lực \vec{F} trong chuyển dời từ 1 đến 2 là:

$$A = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Theo định luật Newton II:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt}$$



Hình 3.3

Do đó:
$$A = \int_1^2 m \cdot d\vec{v} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} \quad (\text{vì } \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v})$$

Nên:
$$A = \int_1^2 m \cdot \vec{v} \cdot d\vec{v} = \int_1^2 m \cdot d\left(\frac{v^2}{2}\right) = \int_1^2 d\left(\frac{mv^2}{2}\right)$$

$$A = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} \quad (3.5)$$

Gọi đại lượng $\frac{m.v^2}{2} = E_d$ (động năng của chất điểm).

$$E_{d1} = \frac{m.v_1^2}{2} \text{ là động năng của chất điểm ở vị trí 1.}$$

$$E_{d2} = \frac{m.v_2^2}{2} \text{ là động năng của chất điểm ở vị trí 2.}$$

$$\text{Từ (3.5) ta có: } A = E_{d2} - E_{d1} \quad (3.6)$$

Từ (3.6) ta có thể phát biểu định lý về động năng như sau: Độ biến thiên động năng của một chất điểm trong một quãng đường nào đó có giá trị bằng công của ngoại lực tác dụng lên chất điểm sinh ra trong quãng đường đó.

Ý nghĩa: nếu một vật đứng yên $v = 0$ thì $E_d = 0$. Nếu ta tác động một ngoại lực lên vật ta có thể truyền cho nó một động năng $E_d > 0$.

Một vật có động năng thì có khả năng sinh công.

Ví dụ: dòng nước chảy có thể làm quay bánh xe nước.

3.3. THẾ NĂNG

Thế năng là năng lượng phụ thuộc vào vị trí của vật.

Trong thực tế có thể xảy ra trường hợp công của ngoại lực không làm thay đổi động năng của vật, mà chỉ làm thay đổi vị trí của vật, do đó làm thay đổi tương tác giữa các vật, tức là làm thay đổi thế năng của chúng.

Cụ thể, ta hãy xét thế năng của hệ Trái Đất và chất điểm.

3.3.1. Khái niệm về trọng trường

Xung quanh Trái Đất có một trường hấp dẫn. Trường hấp dẫn này gọi là trọng trường. Biểu hiện của trọng trường là một vật có khối lượng m khi đứng gần Trái Đất đều chịu tác dụng của trọng trường:

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

Trong một phạm vi không gian đủ nhỏ, trọng lực \vec{P} không thay đổi về phương chiều và độ lớn.

Ta nói trong không gian đó có một trọng trường đều.

3.3.2. Thế năng trong trọng trường

Để tính thế năng của chất điểm ở độ cao h nào đó trong trọng trường. Ta hãy tính công của trọng lực làm chất điểm dịch chuyển từ vị trí đó về mặt đất.

Giả sử ta tính công của trọng lực làm dịch chuyển chất điểm có khối lượng m từ vị trí 1 có độ cao h_1 đến vị trí 2 có độ cao h_2 trong trọng trường đều.

Theo định nghĩa về công:

$$A = \int_1^2 \vec{P} \cdot \vec{dr} = \int_1^2 P \cdot |dr| \cdot \cos \alpha$$

Vì $|dr| \cdot \cos \alpha = -dh$ là độ giảm chiều cao tương ứng với dịch chuyển vô cùng nhỏ \vec{dr} nên:

$$A = \int_{h_1}^{h_2} -m \cdot g \cdot dh = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 \quad (3.7)$$

Từ công thức (3.7) ta kết luận: công của trọng lực khi dịch chuyển chất điểm từ vị trí 1 đến vị trí 2 trong trọng trường không phụ thuộc vào dạng đường dịch chuyển, mà chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối.

Ta nói *trọng lực là một lực thế*, trọng trường là một *trường lực thế*.

Vì công của trọng lực chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối nên ứng với mỗi vị trí người ta đưa vào một đại lượng gọi là thế năng E_t sao cho:

$$A = E_{t_1} - E_{t_2} = -\Delta E_t \quad (3.8)$$

Độ giảm thế năng của chất điểm trong trọng trường trong chuyển dời nào đó bằng công của trọng lực trong chuyển dời đó. So sánh (3.7) và (3.8) suy ra: thế năng của chất điểm tại vị trí 1 và 2 là:

$$E_{t_1} = m \cdot g \cdot h_1 + C$$

$$E_{t_2} = m \cdot g \cdot h_2 + C$$

Thế năng của chất điểm ở độ cao h tính từ mặt đất là:

$$E_t = m \cdot g \cdot h + C$$

Trong đó C là một hằng số phụ thuộc vào việc chọn mốc tính thế năng. Nếu ta chọn thế năng tại mặt đất $h = 0$, $E_{t_0} = 0$. Khi đó thế năng của một chất điểm cách mặt đất một độ cao h là:

$$E_t = m \cdot g \cdot h \quad (3.9)$$

* *Ý nghĩa*: – Thế năng là dạng năng lượng đặc trưng cho tương tác.

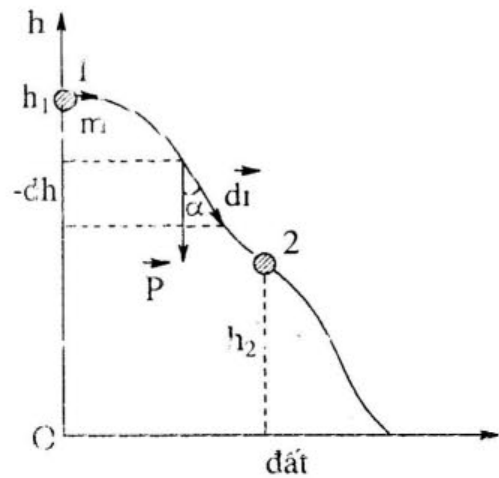
– Thế năng của chất điểm trong trọng trường của Trái Đất là năng lượng đặc trưng cho tương tác giữa Trái Đất với chất điểm.

* *Định nghĩa*: Thế năng của chất điểm ở độ cao h so với mặt đất chính bằng công của trọng lực dịch chuyển chất điểm từ độ cao h đó tới một điểm trên mặt đất.

3.4. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN CƠ NĂNG TRONG TRƯỜNG LỰC THẾ

Cơ năng: Cơ năng của chất điểm bao gồm động năng và thế năng.

$$E = E_d + E_t = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$



Hình 3.4

Khi chất điểm khối lượng m chuyển động từ vị trí 1 đến vị trí 2 trong một trường lực thế thì công của trường lực cho bởi:

$$A_{12} = E_{t_1} - E_{t_2}$$

Nhưng theo định lý về động năng (nếu chất điểm chỉ chịu tác dụng của trường lực thế). Ta có:

$$A_{12} = E_{d_2} - E_{d_1}$$

Vậy:

$$E_{d_2} - E_{d_1} = E_{t_1} - E_{t_2}$$

$$E_{d_2} + E_{t_2} = E_{d_1} + E_{t_1} \quad (3.10)$$

Hay cơ năng:

$$E = E_d + E_t = \text{const} \quad (3.11)$$

Tổng này gọi là cơ năng toàn phần có giá trị không đổi, không phụ thuộc vị trí của chất điểm.

* *Định luật:* Khi chất điểm chuyển động trong một trường lực thế (mà không chịu tác dụng của một lực nào khác) thì cơ năng toàn phần của chất điểm là một đại lượng bảo toàn.

Định luật trên gọi là định luật bảo toàn cơ năng trong trường lực thế.

* *Hệ quả:*
$$E = \frac{1}{2} m.v^2 + m.g.h = \text{const}$$

Cơ năng của chất điểm được bảo toàn trong quá trình chuyển động nên nếu thế năng giảm, thì động năng tăng và ngược lại. Tức thế năng và động năng chuyển hoá cho nhau, động năng giảm một lượng bằng bao nhiêu thì thế năng tăng một lượng đúng bằng như vậy hay ngược lại.

* *Chú ý:* khi chất điểm chuyển động trong trường lực thế còn chịu tác dụng của một lực khác không thế (ví dụ: lực ma sát) thì nói chung cơ năng của chất điểm không bảo toàn. Độ biến thiên của cơ năng chất điểm sẽ bằng công của lực không thế.

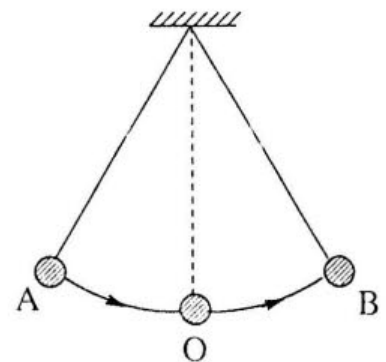
$$E_2 - E_1 = A_{ms} \quad (3.12)$$

Ví dụ: xét một chất điểm m treo dưới một sợi dây chuyển động từ A đến B qua vị trí cân bằng O (hình 3.5) (bỏ qua ma sát của môi trường).

Ở A, B: E_t cực đại, E_d cực tiểu (bằng 0).


Ở O: E_t cực tiểu, E_d cực đại.

Từ A đến O: E_t giảm, E_d tăng. Từ O đến B: E_t tăng, E_d giảm. Động năng và thế năng đã chuyển hoá cho nhau.



Hình 3.5

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Khi nào một lực \vec{F} sinh công? Viết biểu thức công của lực trong trường hợp tổng quát. Nêu rõ ý nghĩa của các trường hợp $A > 0$ và $A < 0$.
 2. Công và công suất khác nhau như thế nào?
 3. Phát biểu và chứng minh định lý về động năng và thế năng.
 4. Trình bày định luật bảo toàn cơ năng trong trường lực thế.
 5. Những công cụ: mặt phẳng nghiêng, ròng rọc, ... thực tế có lợi về công hay còn tốn công thêm.
 6. Một con kiến tha mẩu thức ăn lên đỉnh một hình nón. Hãy so sánh công mà nó thực hiện trên mẩu thức ăn nếu nó bò theo một đường xoắn ốc quanh mặt nón với công mà nó thực hiện khi bò thẳng theo cạnh hình nón.
- 
7. Độ dịch chuyển của vật phụ thuộc vào hệ quy chiếu của quan sát viên đo nó. Điều đó dẫn đến công thực hiện trên vật cũng phụ thuộc hệ quy chiếu. Giả sử bạn kéo một cái thùng trên mặt sàn sù sì bằng một sợi dây. Hãy đưa ra các hệ quy chiếu trong đó công mà sợi dây thực hiện trên thùng là: dương, âm và bằng không.
 8. Tại sao cầm một vật nặng thì mệt người mà không có công nào được thực hiện?
 9. Bạn nâng chậm một quả bóng từ sân lên để chơi: trọng lượng mg của nó và lực nâng $F = -mg$ của bạn. Hai lực khử nhau không có công thực hiện. Mặt khác bạn thấy rằng mình đã thực hiện một công nào đó. Điều gì sai ở lập luận trên?
 10. Bạn tung quả bóng theo phương thẳng đứng sau đó bắt nó lại khi nó rơi xuống. Cái gì xảy ra đối với động năng của quả bóng khi nó chuyển động? Lúc đầu không tính đến sức cản của không khí, sau đó có tính đến sức cản.

BÀI TẬP MẪU

Trong chương này chúng ta hay gặp các bài toán:

- Áp dụng định lý động năng:

$$A = \frac{m.v_2^2}{2} - \frac{m.v_1^2}{2} = E_{c2} - E_{c1}$$

- Bảo toàn cơ năng của hệ cô lập:

$$E_2 = E_1$$

1. Bài mẫu 1

Một xe có khối lượng $m = 20000\text{kg}$ chuyển động chậm dần dưới tác dụng của lực ma sát có giá trị bằng 6000N . Sau một thời gian thì dừng lại. Vận tốc ban đầu của xe là 54km/h . Tính:

- Công của lực ma sát.
- Quãng đường mà xe đi được từ lúc có lực hãm đến lúc xe dừng lại.

Giải:

$$\text{Cho: } m = 20000\text{kg} = 2 \cdot 10^4\text{kg} \quad \text{Tìm: } A = ?$$

$$v_1 = 54\text{km/h} = 15\text{m/s} \quad S = ?$$

$$F = 6000\text{N} = 6 \cdot 10^3\text{N}$$

- Áp dụng định lý động năng

$$A = \frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2}$$

Dưới tác dụng của lực ma sát vận tốc của xe giảm dần từ $v_1 = 15\text{m/s}$ tới khi dừng lại $v_2 = 0$. Do đó ta có:

$$A = -\frac{m \cdot v_1^2}{2} = -\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 15^2$$

$$A = -2,25 \cdot 10^6\text{J}$$

$A < 0$ chứng tỏ công này là công cản.

- Tính quãng đường S

Áp dụng biểu thức tính công:

$$A = FS \Rightarrow S = \frac{A}{F}$$

$$S = \frac{2,25 \cdot 10^6}{6 \cdot 10^3} = 375\text{m}$$

2. Bài mẫu 2

Một vật rơi từ độ cao $h = 240\text{m}$ xuống mặt đất với vận tốc ban đầu $v_1 = 14\text{m/s}$. Vật đi sâu vào đất một đoạn $S = 0,2\text{m}$. Tính lực cản trung bình của đất lên vật. Cho khối lượng của vật $m = 1\text{kg}$. Coi ma sát của không khí là không đáng kể.

Giải:

$$\text{Cho: } h = 240\text{m}$$

$$\text{Tìm: } F = ?$$

$$v_1 = 14\text{m/s}$$

$$S = 0,2\text{m}$$

$$m = 1\text{kg}$$

Nếu gọi vận tốc của vật vừa chạm đất là v_2 . Theo định luật bảo toàn cơ năng ta có: $E_1 = E_2$,

$$m.g.h + \frac{m.v_1^2}{2} = \frac{m.v_2^2}{2} + 0$$

Cơ năng này biến thành công để vật đi xuống đất sâu một đoạn là S .

Áp dụng định lý về động năng:

$$A = \frac{m.v_3^2}{2} - \frac{m.v_2^2}{2}$$

$v_3 = 0$ (vận tốc tại điểm 3 sâu trong đất)

$$\text{Nên: } A = -\frac{m.v_2^2}{2} = -\left(\frac{m.v_1^2}{2} + m.g.h\right)$$

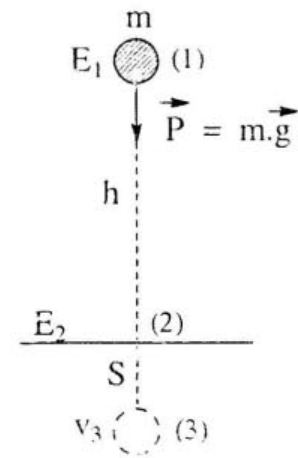
$$A = -m.\left(\frac{1}{2}.v_1^2 + g.h\right)$$

Mặt khác: $A = F.S$

$$F = \frac{A}{S} = \frac{-m.\left(\frac{1}{2}.v_1^2 + g.h\right)}{0.2}$$

$$F = -12250\text{N}$$

($A < 0$ vì lực cản).



Hình 3.6

3. Bài mẫu 3

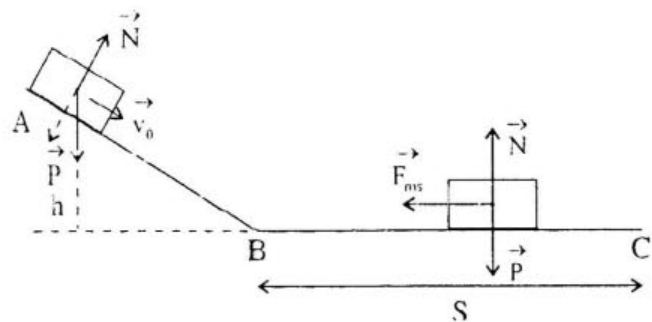
Một vật trượt từ độ cao $h = 5\text{m}$ với vận tốc ban đầu $v_0 = 0,5\text{m/s}$ dọc theo một máng nghiêng một góc $\alpha = 30^\circ$ so với mặt phẳng nằm ngang. Sau đó tiếp tục trượt trên mặt nằm ngang. Ma sát giữa vật và máng nghiêng bỏ qua. Hệ số ma sát giữa vật và mặt phẳng nằm ngang là $K = 0,1$. Gia tốc rơi tự do $g = 9,8\text{m/s}^2$.

- Tính vận tốc vật ở cuối máng nghiêng.
- Vật đi được quãng đường bằng bao nhiêu trên mặt nằm ngang thì dừng lại.

Giải:

Sử dụng định luật bảo toàn năng lượng.

- Trên máng nghiêng vật chịu tác dụng của trọng lực \vec{P} (lực thế) và phản lực pháp tuyến \vec{N} . \vec{N} luôn vuông góc với \vec{v}_0 , nghĩa là vuông góc với phương dịch chuyển nên không sinh công.



Hình 3.7

Vì vậy cơ năng bảo toàn:

$$E_A = E_B$$

Nếu chọn thế năng tại mặt phẳng nằm ngang bằng 0. Ta có:

$$\frac{m.v_B^2}{2} = \frac{m.v_0^2}{2} + m.g.h$$

Suy ra: $v_B = \sqrt{v_0^2 + 2.g.h}$

$$v_B = \sqrt{0,5^2 + 2.9,8.5} = 9,91 \text{ m/s}$$

b) Trên mặt nằm ngang, vì có lực ma sát tác dụng nên vật chỉ đi được một quãng đường S thì dừng lại. Độ biến thiên cơ năng bằng công của lực ma sát:

$$E_C - E_A = A_{ms}$$

$$0 - \left(\frac{m.v_0^2}{2} + m.g.h \right) = -F_{ms} . S$$

$$-\left(\frac{m.v_0^2}{2} + m.g.h \right) = -K.m.g.S$$

$$S = \frac{\frac{m.v_0^2}{2} + m.g.h}{K.m.g} = \frac{v_0^2}{2.K.g} + \frac{h}{K}$$

$$S = \frac{0,5^2}{2.0,1.9,8} + \frac{5}{0,1} = 50,13 \text{ m}$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Tính công để nâng một vật lên cao theo mặt phẳng nghiêng trong các điều kiện sau:

Vật có khối lượng $m = 100 \text{ kg}$. Chiều dài của mặt phẳng nghiêng $S = 2 \text{ m}$. Mặt phẳng nghiêng hợp với mặt phẳng nằm ngang một góc $\alpha = 30^\circ$. Hệ số ma sát $K = 0,1$. Gia tốc của vật trên mặt phẳng nghiêng $a = 1 \text{ m/s}^2$. Biết rằng ở chân mặt phẳng nghiêng vật đang nằm yên.

Hướng dẫn và đáp số:

Phân tích lực và tìm tổng các lực tác dụng lên vật. Áp dụng định luật Newton II và áp dụng công thức:

$$A = F.S \text{ (lấy } g = 9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$\text{Đáp số: } A = 1349,4 \text{ J.}$$

2. Một vật nặng trượt trên mặt phẳng nghiêng rồi trên mặt phẳng nằm ngang. Hệ số ma sát là K trên cả hai đoạn đường. Biết độ cao h và khoảng nằm ngang a của mặt phẳng nghiêng.

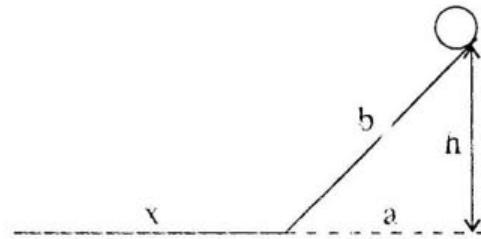
- Tính đoạn đường x mà vật đi được trên mặt phẳng nằm ngang.
- Tìm điều kiện về K để vật trượt được tới mặt phẳng nằm ngang.
- Áp dụng bằng số cho $h = 1\text{m}$; $a = 5\text{m}$; $K = 0,1$. Tính x .

Hướng dẫn và đáp số:

- Tính lực ma sát F_{ms} .

Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng. Thế năng ban đầu của vật chuyển thành công của lực ma sát trên cả hai đoạn đường nghiêng và nằm ngang:

$$x = \frac{h}{K} - a$$



Hình 3.8

- $x = 5\text{m}$.

- Một viên đạn có khối lượng $m = 1\text{kg}$ bay với vận tốc $v = 100\text{m/s}$ đến cắm vào một toa xe chở cát có khối lượng $M = 1000\text{kg}$ đang chuyển động với vận tốc $V = 1\text{m/s}$. Tính công mà đạn thực hiện được khi cắm vào toa xe. Xét hai trường hợp:
 - Xe đi cùng chiều với đạn.
 - Xe đi ngược chiều với đạn.

Hướng dẫn và đáp số:

Tính động lượng của hệ trước và sau va chạm.

Tính động năng của hệ trước và sau va chạm.

Nhiệt tỏa ra: $Q = E_{d_1} - E_{d_2}$

- $Q = 4894,4\text{J}$.

- $Q = 5094,6\text{J}$.

- Hồi động cơ của máy bay phải có công suất trung bình là bao nhiêu? Biết rằng máy bay có khối lượng $m = 3000\text{kg}$, lên cao 1km mất 1 phút. Bỏ qua sức cản của không khí. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Đáp số: $N = 4,9 \cdot 10^5\text{W}$

- Tính công cần thiết để làm cho đoàn tàu khối lượng $m = 800$ tấn:
 - Tăng tốc từ 36km/h đến 54km/h .
 - Dừng lại nếu vận tốc ban đầu bằng 72km/h .

Hướng dẫn và đáp số:

Dùng định lý động năng

- $A = 5 \cdot 10^7\text{J}$.

- $A = -16 \cdot 10^7\text{J}$ (công cản).

- Một buồng thang máy khối lượng $m = 500\text{kg}$ đang đi xuống với tốc độ $v_1 = 4\text{m/s}$ thì hệ thống dây tời bị trượt, làm cho buồng thang máy rơi xuống với gia tốc không đổi $a = \frac{g}{5}$; $g = 9,8\text{m/s}^2$.

- a) Tính công của trọng lực, công của lực căng của dây và công toàn phần của ngoại lực trong thời gian buồng thang máy rơi được quãng đường 12m.
 b) Tính động năng và vận tốc của buồng thang máy ở cuối quãng đường rơi.

Hướng dẫn và đáp số:

Trong hệ quy chiếu gắn với mặt đất. Phân tích các lực tác dụng lên thang.

Áp dụng định luật Newton II:

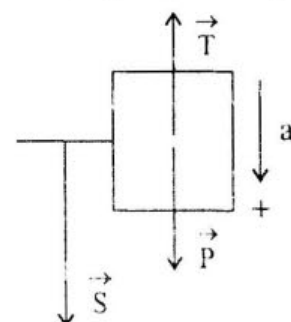
$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_{i,td} = m \cdot \vec{a}$$

Chiếu phương trình vectơ lên phương thẳng đứng, chọn chiều dương, tìm lực căng T của dây.

Áp dụng định lý động năng:

$$A = E_{d_2} - E_{d_1}$$

Tính vận tốc của buồng thang cuối quãng đường.



Hình 3.9

Đáp số: a) Công của P là $5,88 \cdot 10^4 \text{J}$

Công của T là $-4,7 \cdot 10^4 \text{J}$

Công của ngoại lực là $1,18 \cdot 10^4 \text{J}$

b) $W_d = 15602,5 \text{J}$; $v = 7,9 \text{m/s}$.

7. Ở một đầu sợi dây OA dài $l = 30 \text{cm}$ có treo một vật nặng. Hỏi tại điểm thấp nhất A phải truyền cho vật một vận tốc bé nhất bằng bao nhiêu để vật có thể quay tròn trong mặt phẳng thẳng đứng. Cho $g = 9,8 \text{m/s}^2$.

Đáp số: $v_{\text{amin}} = 3,8 \text{m/s}$.

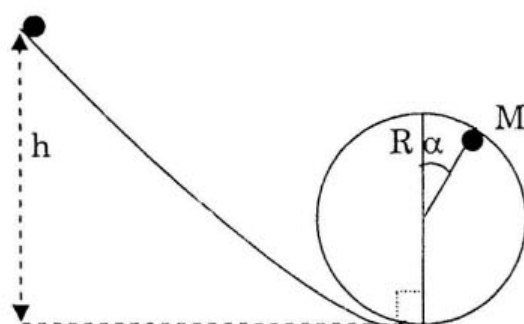
8. Vật nặng khối lượng $m_1 = 1 \text{kg}$ nằm trên tấm ván dài nằm ngang có khối lượng $m_2 = 3 \text{kg}$. Người ta đẩy vật nặng với vận tốc $v_0 = 2 \text{m/s}$ theo phương nằm ngang. Hệ số ma sát giữa vật và ván là $\mu = 0,2$, ma sát giữa ván và sàn không đáng kể. Dùng định luật bảo toàn động lượng và định lý động năng tính quãng đường đi của vật nặng đối với tấm ván. Coi vật nặng và ván là hệ kín.

Đáp số: $0,75 \text{m}$.

9. Quả cầu có khối lượng m lăn không vận tốc ban đầu từ độ cao h qua một vòng xiếc bán kính R. Bỏ qua ma sát.

a) Tính lực do quả cầu nén lên vòng xiếc ở vị trí M, xác định bởi góc α như hình vẽ.

b) Tìm độ cao h nhỏ nhất mà quả cầu vượt qua hết vòng xiếc.



Đáp số: a) $N = N = mg \left(\frac{2h}{R} - 3\cos\alpha - 2 \right)$

b) $h \geq 2,5R$

10. Quả cầu có khối lượng m , treo bằng sợi dây chiều dài l không giãn, có đầu trên cố định. Truyền cho quả cầu một vận tốc ban đầu v_0 theo phương ngang từ vị trí cân bằng. Bỏ qua sức cản không khí.

a) Tìm vận tốc và lực căng của dây treo tại vị trí dây hợp với phương thẳng đứng một góc α .

b) Nếu $v_0^2 = 3gl$, tìm độ cao cực đại h_0 mà quả cầu đạt tới (tính từ vị trí cân bằng) trong chuyển động tròn.

Độ cao cực đại H_0 mà quả cầu đạt được trong cả quá trình chuyển động.

$$\text{Đáp số: a) } v = \sqrt{v_0^2 - 2gl(1 - \cos\alpha)}$$

$$T = \frac{mv_0^2}{l} - mg(3\cos\alpha - 2)$$

$$\text{b) } h_0 = \frac{4}{3}l; H_0 = \frac{40}{27}l$$

Chương 4

CƠ HỌC CHẤT LỎNG

MỤC TIÊU

1. *Nắm được đặc điểm chung của chất lưu.*
2. *Hiểu được bản chất của áp suất tĩnh, áp suất thủy tĩnh, áp suất động của chất lỏng.*
3. *Trình bày được các định lý về sự chuyển động của chất lỏng lý tưởng và ứng dụng.*
4. *Hiểu rõ bản chất của hiện tượng nội ma sát. Trình bày định luật Newton, công thức Poiseuille, ứng dụng đo hệ số nhớt của chất lỏng.*

4.1. ĐẶC ĐIỂM CỦA CHẤT LƯU

Chất lưu bao gồm các chất lỏng và các chất khí. Về mặt cơ học, một chất lưu có thể quan niệm là một môi trường liên tục tạo thành bởi các chất điểm liên kết với nhau bằng những nội lực tương tác (nói chung đó là lực hút).

Chất lưu có các tính chất cơ bản sau:

1. Không có hình dạng nhất định.
2. Các chất lưu bao gồm các chất lưu dễ nén (chất khí) và các chất lưu khó nén (chất lỏng).
3. Chất lưu lý tưởng là chất hoàn toàn không nén được và không có lực ma sát nội (lực nhớt). Khi chất lưu chuyển động các lớp chất của nó chuyển động với những vận tốc khác nhau, nên giữa các lớp chất này xuất hiện lực nội ma sát.

Một chất lưu không lý tưởng gọi là chất lưu thực.

Theo định nghĩa trên, mọi chất lưu đều là chất lưu thực. Tuy nhiên một chất lưu rất linh động (không nhớt) có thể tạm coi là chất lưu lý tưởng.

Ngoài ra, theo các tính chất trên, lực nội ma sát chỉ xuất hiện trong chất lưu chuyển động. Vậy một chất lưu ở trạng thái nằm yên có gần đầy đủ tính chất của một chất lưu lý tưởng. Chương này chủ yếu nghiên cứu các định luật chuyển động của chất lỏng.

4.2. TĨNH HỌC CHẤT LỎNG

4.2.1. Áp suất

Xét trong lòng chất lỏng một khối chất lỏng nằm trong mặt kín S , gọi dS là một diện tích vi phân bao quanh một điểm M bất kỳ của S .

Thực nghiệm chứng tỏ rằng phần chất lỏng ở ngoài mặt kín S tác dụng lên dS một lực \vec{dF} gọi là áp lực (lực nén).

Trong trường hợp chất lỏng nằm yên, áp lực \vec{dF} vuông góc với dS.

Ta có thể định nghĩa áp suất tại điểm M trong chất lỏng là:

$$P = \frac{dF}{dS} \quad (4.1)$$

Thực nghiệm cũng chứng tỏ rằng với một chất lỏng lý tưởng áp suất P tại điểm M là một đại lượng xác định (chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm M, không phụ thuộc vào hướng của \vec{dF}).

Biểu hiện cụ thể của áp suất là khi nhúng một tấm mỏng vào trong một chất lỏng thì trên bề mặt của vật ấy xuất hiện các lực nén (áp lực) do chất lỏng tác dụng, có độ lớn như nhau và vuông góc với bề mặt tấm mỏng, bất kể tấm mỏng định hướng như thế nào.

Đơn vị đo: N/m^2 (gọi là Paxcan: Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ atm} = 1,013.10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

4.2.2. Áp suất thủy tĩnh

Giả sử có một khối chất lỏng không chịu nén và ở trạng thái tĩnh (đứng yên). Hãy xét một diện tích S nằm ngang ở độ sâu h trong chất lỏng (hình 4.3).

Nếu không kể đến áp lực của khí quyển trên mặt thoáng thì lực tác dụng lên diện tích S bằng trọng lượng của cột chất lỏng ngay phía trên S.

$$F = P = m.g = V.D.g = S.h.D.g \quad (4.2)$$

Trong đó: V = S.h (thể tích của cột chất lỏng).

D: Khối lượng riêng của chất lỏng.

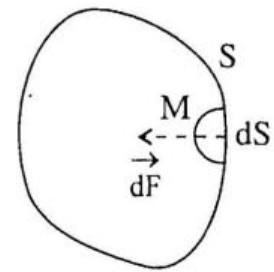
g: Gia tốc trọng trường.

$$\text{Áp suất thủy tĩnh: } p_{tt} = \frac{F}{S} = D.g.h \quad (4.3)$$

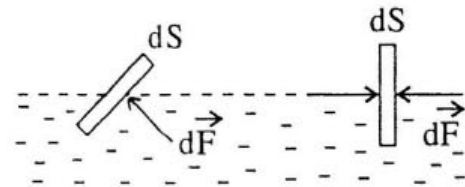
Nếu áp suất của khí quyển trên mặt thoáng chất lỏng là p_0 thì áp suất toàn phần tác dụng lên diện tích S ở độ sâu h là:

$$p = p_0 + D.g.h \quad (4.4)$$

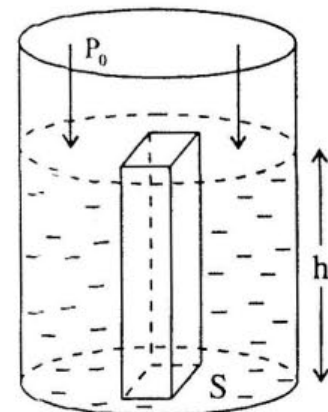
Chú ý: Hai điểm trong chất lỏng trên cùng một mặt phẳng ngang (cùng độ sâu) thì áp suất tương ứng như nhau.



Hình 4.1



Hình 4.2



Hình 4.3

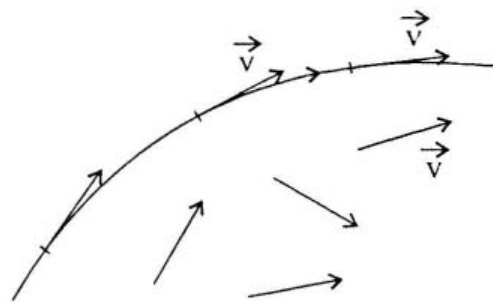
4.3. ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT LỎNG LÝ TƯỞNG

4.3.1. Khái niệm về sự chuyển động của chất lỏng

4.3.1.1. Đường dòng

Xét một khối chất lỏng chuyển động, mỗi phân tử chất lỏng có một vận tốc riêng được đặc trưng bởi một vectơ \vec{v} .

Toàn bộ khối lượng chất lỏng gồm tập hợp vô số các vectơ \vec{v} . Đó là một trường vectơ vận tốc. Nếu trong trường vectơ vận tốc có một đường cong mà tiếp tuyến của đường cong này tại bất kỳ một điểm nào trên đường cong đều trùng với vectơ vận tốc \vec{v} của chất lỏng thì đường cong đó gọi là đường dòng.



Hình 4.4

4.3.1.2. Ống dòng

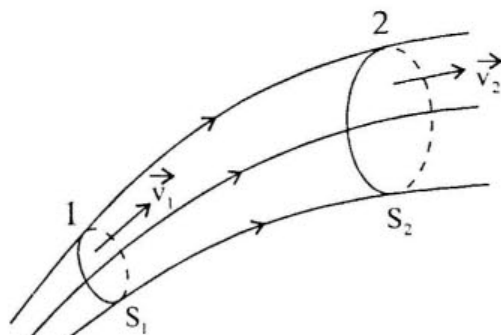
Tập hợp nhiều đường dòng tựa trên một đường cong kín gọi là một ống dòng.

Khái niệm về đường dòng và ống dòng chỉ là những hình ảnh để mô tả sự chuyển động của chất lỏng.

4.3.1.3. Chế độ chảy dừng

Trong sự chảy của chất lỏng nói chung vận tốc của mỗi phân tử ở tại mỗi điểm (mỗi vị trí) tại các thời điểm khác nhau là khác nhau. Nhưng cũng có trường hợp vận tốc chuyển động của các phân tử chất lỏng tại một vị trí xác định ở các thời điểm khác nhau lại bằng nhau. Nghĩa là bất kỳ phân tử chất lỏng nào ở tại mọi thời điểm đi qua một vị trí xác định tùy chọn đều có cùng một vận tốc chuyển động. Trường hợp đó người ta nói chất lỏng ở trạng thái chảy dừng và chế độ chảy của chất lỏng như vậy gọi là chế độ chảy dừng.

Ví dụ: Có một khối chất lỏng lý tưởng, tách một ống dòng để khảo sát. Tại vị trí (1) và (2) có tiết diện S_1, S_2 ; chất lỏng có vận tốc \vec{v}_1, \vec{v}_2 . Chất lỏng ở trạng thái chảy dừng.



Hình 4.5

4.3.2. Lưu lượng của chất lỏng

Là thể tích chất lỏng chảy qua một tiết diện nào đấy trong một đơn vị thời gian.

Ký hiệu là: L

Lưu lượng trung bình:

$$\bar{L} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4.5)$$

Sau khoảng thời gian Δt , có thể tích ΔV của chất lỏng chảy qua tiết diện ΔS .

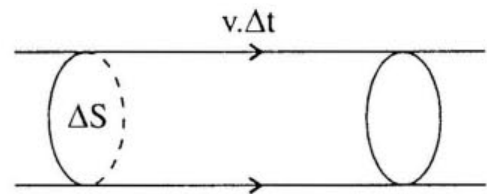
Nếu chất lỏng ở trạng thái chảy dừng thì lưu lượng trung bình đúng bằng lưu lượng tức thời. Gọi tắt là lưu lượng.

Gọi v là độ lớn của vận tốc chảy của chất lỏng khi đi qua tiết diện ΔS . Ta có:

$$L = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta S \cdot l}{\Delta t} = \frac{\Delta S \cdot v \cdot \Delta t}{\Delta t}$$
$$L = \Delta S \cdot v \quad (4.6)$$

$$(\Delta V = \Delta S \cdot v \cdot \Delta t)$$

Lưu lượng của chất lỏng qua tiết diện ΔS bằng tích số giữa diện tích ΔS với độ lớn của vận tốc chảy v của chất lỏng khi đi qua diện tích ấy.



Hình 4.6

4.4. CÁC ĐỊNH LÝ VỀ SỰ CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG

4.4.1. Định lý về sự liên tục của dòng

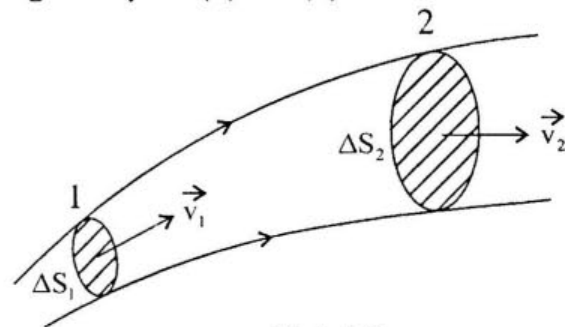
Giả sử có một khối chất lỏng lý tưởng ở trạng thái chảy dừng.

Ta tưởng tượng tách riêng một ống dòng chứa chất lỏng để khảo sát sự chuyển động của chất lỏng qua phần giới hạn giữa vị trí (1) và (2).

– Ở vị trí 1 của ống dòng chất lỏng có vận tốc \vec{v}_1 , tiết diện của ống là ΔS_1 .

– Ở vị trí 2 vận tốc chất lỏng là \vec{v}_2 , tiết diện ống là ΔS_2 .

Sau khoảng thời gian Δt chất lỏng chảy qua ΔS_1 là ΔV_1 và qua ΔS_2 là ΔV_2 .



Hình 4.7

Vì chất lỏng đang xét là chất lỏng lý tưởng ở trạng thái chảy dừng cho nên có bao nhiêu chất lỏng chảy qua ΔS_1 cũng có bấy nhiêu chất lỏng chảy qua ΔS_2 .

Tức là:

$$\Delta V_1 = \Delta V_2$$
$$\Delta S_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = \Delta S_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$
$$\Delta S_1 \cdot v_1 = \Delta S_2 \cdot v_2$$

Hay

$$L_1 = L_2$$

Nếu xét ở các vị trí trung gian bất kỳ khác nữa trên ống dòng ta có:

$$\Delta S_1 \cdot v_1 = \Delta S_2 \cdot v_2 = \Delta S_3 \cdot v_3 = \dots = \Delta S_n \cdot v_n$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n = \text{const} \quad (4.7)$$

Định lý: Với chất lỏng lý tưởng ở trạng thái chảy dừng thì lưu lượng của nó ở mọi điểm trên ống dòng là bằng nhau và bằng một hằng số.

Trên thực tế chỗ ống nào có diện tích bé (hẹp) nước chảy xiết, chỗ nào có diện tích lớn, nước chảy từ từ. Tức là khi ΔS nhỏ thì v lớn và ngược lại.

4.4.2. Phương trình Bernoulli

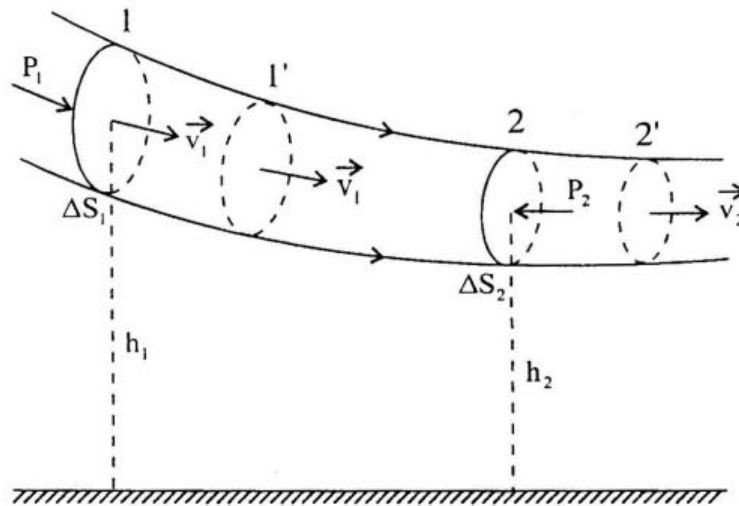
Đây là phương trình cơ bản của động lực học chất lỏng.

4.4.2.1. Đặt vấn đề

Giả sử có một khối chất lỏng ở trạng thái chảy dừng, chúng ta khảo sát chuyển động của khối chất lỏng trong một ống dòng, giới hạn bởi vị trí (1 – 2).

– Ở vị trí 1: ống dòng có tiết diện ΔS_1 , vận tốc chảy \vec{v}_1 , áp suất p_1 , chiều cao so với mặt đất h_1 .

– Ở vị trí 2: Tương ứng ta có: ΔS_2 , \vec{v}_2 , p_2 , h_2 . Chiều chảy của chất lỏng từ 1 → 2.



Hình 4.8

Quy ước $p_1 > 0$ và $p_2 < 0$.

Thiết lập phương trình nêu lên mối liên quan giữa các đại lượng v , p , h , D (khối lượng riêng của chất lỏng). Phương trình mô tả chuyển động của chất lỏng.

4.4.2.2. Thiết lập phương trình

Giả sử sau thời gian Δt khối chất lỏng (1 – 2) chuyển đến vị trí (1' – 2').

Quãng đường dịch chuyển:

$$(1 - 1') = \Delta l_1 = v_1 \cdot \Delta t$$

$$(2 - 2') = \Delta l_2 = v_2 \cdot \Delta t$$

Trong thời gian Δt thể tích chất lỏng chảy qua tiết diện ΔS_1 là:

$$\Delta V_1 = \Delta S_1 \cdot \Delta l_1 = v_1 \cdot \Delta S_1 \cdot \Delta t$$

qua ΔS_2 là:

$$\Delta V_2 = \Delta S_2 \cdot \Delta l_2 = v_2 \cdot \Delta S_2 \cdot \Delta t$$

Vì chất lỏng ở trạng thái chảy dừng nên có bao nhiêu chất lỏng qua ΔS_1 cũng có bấy nhiêu chất lỏng qua ΔS_2 .

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$

hay: $\Delta m_1 = \Delta m_2 = \Delta m$ (khối lượng chất lỏng qua ΔS_1 và ΔS_2).

Khi chuyển từ vị trí (1 – 2) đến (1' – 2') phần chất lỏng (1' – 2) không thay đổi. Vì thế khi xét cơ năng của khối chất lỏng trong thời gian Δt ta chỉ cần xét cơ năng của khối chất lỏng (1 – 1') và (2 – 2'), có thể tích là ΔV và khối lượng Δm .

Gọi E_1 là cơ năng của khối chất lỏng (1 – 1').

$$E_1 = \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_1^2 + \Delta m \cdot g \cdot h_1$$

E_2 : cơ năng của khối chất lỏng (2 – 2').

$$E_2 = \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_2^2 + \Delta m \cdot g \cdot h_2$$

Biến thiên cơ năng của khối chất lỏng sau thời gian Δt là:

$$\Delta E = E_2 - E_1 \quad (4.8)$$

ΔE này bằng công của ngoại lực tác dụng lên khối chất lỏng, làm cho nó chuyển động. Ngoại lực ở đây là áp lực của khối chất lỏng lên các diện tích ΔS_1 và ΔS_2 .

$$F_1 = p_1 \cdot \Delta S_1$$

$$F_2 = p_2 \cdot \Delta S_2$$

Áp lực \vec{F}_1 đẩy khối chất lỏng ΔV chảy qua tiết diện ΔS_1 , công của nó là $A_1 > 0$:

$$A_1 = F_1 \cdot \Delta l_1$$

Áp lực \vec{F}_2 ngăn cản khối chất lỏng chảy qua ΔS_2 , nên công của nó $A_2 < 0$:

$$A_2 = F_2 \cdot \Delta l_2$$

Tổng cộng công của ngoại lực là:

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 \\ &= p_1 \cdot \underbrace{\Delta S_1 \cdot \Delta l_1}_{\Delta V} - p_2 \cdot \underbrace{\Delta S_2 \cdot \Delta l_2}_{\Delta V} \end{aligned}$$

$$A = (p_1 - p_2) \cdot \Delta V \quad (4.9)$$

Cho biểu thức (4.8) bằng (4.9):

$$(p_1 - p_2) \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_2^2 + \Delta m \cdot g \cdot h_2 - \frac{1}{2} \cdot \Delta m \cdot v_1^2 - \Delta m \cdot g \cdot h_1$$

Chia cả 2 vế cho ΔV và chú ý: $\frac{\Delta m}{\Delta V} = D$

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_1^2 + D \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_2^2 + D \cdot g \cdot h_2$$

Vị trí (1) và (2) tùy chọn, nên ta có thể chọn nhiều vị trí khác trên ống dòng, tương tự ta có:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_1^2 + D \cdot g \cdot h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_2^2 + D \cdot g \cdot h_2 =$$

$$p_3 + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_3^2 + D \cdot g \cdot h_3 = \dots = p_n + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v_n^2 + D \cdot g \cdot h_n$$

Tổng quát:
$$p + \frac{1}{2} \cdot D \cdot v^2 + D \cdot g \cdot h = \text{const} \quad (4.10)$$

Đây là biểu thức tổng quát của phương trình Bernoulli.

p – áp suất tĩnh: áp suất của chất lỏng tác dụng lên diện tích vuông góc với ống dòng.

$\frac{1}{2} \cdot D \cdot v^2$ – áp suất động: áp suất của chất lỏng khi chuyển động.

$D \cdot g \cdot h$ – áp suất thủy tĩnh: áp suất của cột chất lỏng ở độ cao h tác dụng lên diện tích nằm ngang của ống dòng.

Phát biểu định lý: *Với chất lỏng lý tưởng ở trạng thái chảy dừng thì tổng số áp suất tĩnh, áp suất động và áp suất thủy tĩnh tại mọi điểm trên ống dòng là bằng nhau và bằng một hằng số.*

Chú ý: định luật Bernoulli áp dụng cho cả chất khí (chất lưu).

Về thực chất, định luật Bernoulli là định luật bảo toàn cơ năng của chất lỏng chuyển động.

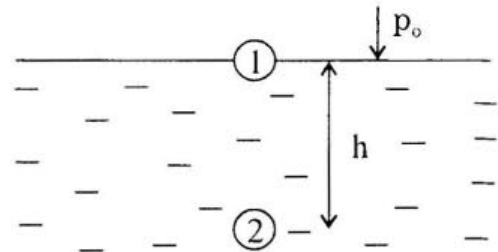
4.4.2.3. Hệ quả

a) Nếu chất lỏng không chuyển động ($v_1 = v_2 = 0$), từ (4.10) suy ra:

$$p_1 + Dgh_1 = p_2 + Dgh_2$$

$$p_2 = p_1 + Dg(h_1 - h_2)$$

Nếu điểm (1) nằm trên mặt thoáng thì p_1 là áp suất khí quyển p_0 , p_2 là áp suất thủy tĩnh của chất lỏng ở độ sâu h .



Hình 4.9

$$p_2 = p_0 + D.g.h \quad (4.11)$$

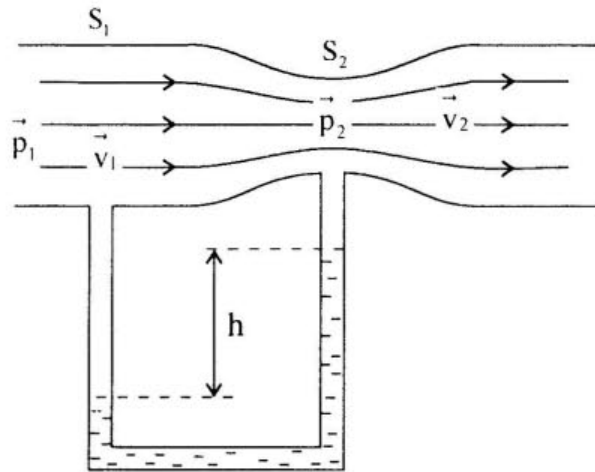
b) Nếu chất lỏng chuyển động trong một mặt phẳng nằm ngang ($h_1 = h_2 = 0$):

Ta có:

$$p_1 + \frac{D.v_1^2}{2} = p_2 + \frac{D.v_2^2}{2} \quad (4.12)$$

Vậy chỗ nào trên ống dòng có vận tốc lớn, áp suất tĩnh nhỏ.

Ta hãy xét một ống hình chày có tiết diện khác nhau có một chỗ thắt lại ở giữa và một áp kế để đo hiệu áp suất của chất lỏng giữa phần rộng và phần hẹp của ống (hình 4.10). Dụng cụ trên được gọi là tốc kế Venturi, dùng để đo tốc độ chảy của chất lỏng.



Hình 4.10

Giả sử phần rộng có tiết diện S_1 , tại đó chất lỏng chảy với vận tốc v_1 , có áp suất p_1 và phần hẹp có tiết diện S_2 , tại đó vận tốc chất lỏng là v_2 , áp suất p_2 .

Vì ống nằm ngang:

$$p_1 - p_2 = \frac{D}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

Theo phương trình liên tục (4.7):

$$v_1.S_1 = v_2.S_2$$

Ta có:

$$p_1 - p_2 = \frac{D.v_1^2}{2} \left(\frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right)$$

Suy ra:

$$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{D(S_1^2 - S_2^2)}} \quad (4.13)$$

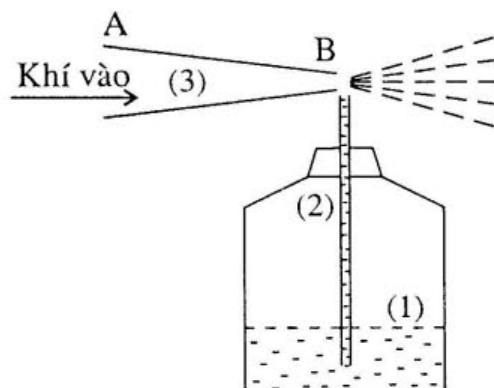
Biết v_1 ta có thể tính được lưu lượng của chất lỏng:

$$L = S_1.v_1$$

4.4.2.4. Ứng dụng của phương trình Bernoulli

a) Máy phun chất lỏng

Cấu tạo: Gồm một bình đựng chất lỏng (1) có ống dẫn chất lỏng (2) ống dẫn khí đường kính nhỏ dần (3). Cho một luồng khí vào ống (3), vận tốc khí tăng dần, tại đầu B vận tốc lớn nhất, áp suất tĩnh ở đó nhỏ nhất, thấp hơn áp suất trong bình. Khi đó chất lỏng trong bình bị hút lên theo ống (2), gặp luồng khí được phun thành những hạt nhỏ li ti.



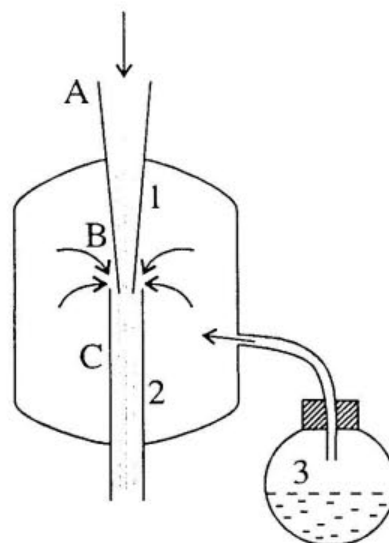
Hình 4.11

b) Bơm hút chân không dùng nước

Cấu tạo: Gồm ống (1) có tiết diện nhỏ dần từ A → B, đặt nối tiếp với ống (2). Cả hai ống đặt trong bình C có vòi nối với bình cần hút chân không (3).

Thoạt đầu áp suất khí tại mọi điểm trong C là như nhau.

Nếu cho dòng nước chảy từ A → B thì tại B vận tốc của nước là lớn nhất $v_B = v_{\max}$ nên P_B là nhỏ nhất. Khi đó không khí trong bình C và bình (3) sẽ ùa về B và bị nước cuốn đi. Nước càng chảy không khí bị cuốn đi càng nhiều. Áp lực trên bề mặt chất lỏng trong bình (3) càng giảm.



Hình 4.12

4.5. SỰ CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG THỰC

Tùy theo tốc độ chảy, chất lỏng thực sẽ chuyển động thành lớp khi chảy với vận tốc nhỏ và chuyển động xoáy khi chảy với vận tốc lớn (các hạt nước chảy theo những đường phức tạp, không phải là đường thẳng).

4.5.1. Hiện tượng nội ma sát và định luật Newton

Khi chất lỏng chảy với vận tốc nhỏ, nó sẽ chảy thành lớp. Giả sử có một dòng chất lỏng chảy theo một hướng xác định Ox.

Mỗi lớp chất lỏng có tốc độ lần lượt là $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ (các hạt chất lỏng trong cùng một lớp có vận tốc như nhau).

Do ma sát, các lớp tác dụng lên nhau. Lớp có v lớn hơn có xu hướng kéo lớp có

v nhỏ. Ngược lại, lớp chuyển động chậm hơn gần lớp chuyển động nhanh. Xuất hiện lực ma sát nội (lực nhớt): (F_{ms}).

Độ lớn của lực nội ma sát giữa hai lớp thứ i và j ở một nhiệt độ nhất định sẽ phải:

- Tỷ lệ thuận với dS là phần diện tích tiếp xúc giữa hai lớp i và j .

- Tỷ lệ thuận với $dv = v_i - v_j$. Trong đó v_i, v_j là vận tốc lớp thứ i và j .

- Tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa hai lớp (dz).

- Tùy thuộc vào bản chất của chất lỏng được đặc trưng bằng hằng số tỷ lệ. Gọi là hệ số nhớt của chất lỏng η (êta).

Theo Newton:

$$F_{ms} = \eta \cdot \frac{dv}{dz} \cdot dS \quad (4.11)$$

$\frac{dv}{dz}$: gọi là gradient vận tốc. Cho thấy mức độ thay đổi của vận tốc khi đi từ lớp này qua lớp khác.

Nếu $dS = 1$ đơn vị diện tích:

$$\frac{dv}{dz} = 1. \text{ Thì } F_{ms} = \eta \quad (4.15)$$

Ý nghĩa vật lý của η : hệ số nhớt của chất lỏng chính bằng lực ma sát nội xuất hiện giữa hai lớp chất lỏng có diện tích là 1 đơn vị và gradient vận tốc của chúng bằng 1.

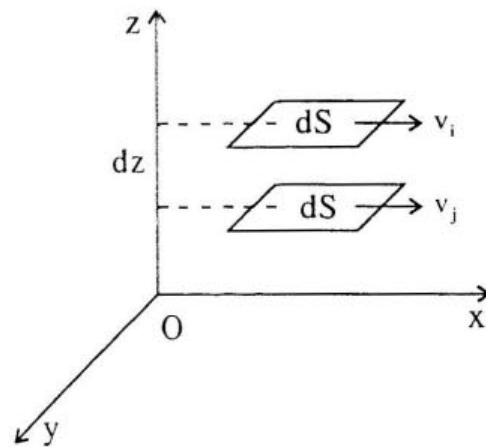
Lúc đó hệ số nhớt η chỉ phụ thuộc vào bản chất của chất lỏng và nhiệt độ của chất lỏng.

$\eta_{20^\circ C}$ là một hằng số vật lý cùng với các hằng số vật lý khác dùng để định tính các chất.

Chú ý: hệ số nhớt phụ thuộc vào nhiệt độ là vì lực nội ma sát gây ra do các phân tử chất lỏng chuyển động tương đối với nhau. Khi nhiệt độ thay đổi thì trạng thái chuyển động của các phân tử cũng thay đổi.

Đơn vị của η : $N \cdot s / m^2$ hay $kg / m \cdot s$ hay $Pa \cdot s$.

Ngoài ra η còn dùng đơn vị $mPa \cdot s = 10^{-3} Pa \cdot s$. Trong hệ CGS, đơn vị của η là Poise (P), $1P = 0,1 Pa \cdot s$.



Hình 4.13

Bảng hệ số nhớt của một số chất ở 20°C.

Tên chất	η (N.s/m ²)	η/η_0
Nước	0,01	1
Rượu êtylic	0,012	1,2
Glycerin	8,5	850
Máu người	0,038 – 0,045	3,8 – 4,5

Hệ số nhớt của máu phụ thuộc vào cả huyết thanh và hồng cầu. Theo Einstein, hệ số nhớt của một dung dịch chứa những hạt rất nhỏ phụ thuộc vào hệ số η của riêng chất lỏng và thể tích V của tất cả các hạt trong 1 cm³ dung dịch.

Như vậy lượng hồng cầu ảnh hưởng rất nhiều đến η của máu. Người thiếu máu và người bình thường có hệ số η khác nhau.

Ngoài ra hệ số η cũng cho ta biết tình trạng của cơ thể. Bình thường η của huyết thanh từ 1,64 ÷ 1,69 ở 20°C. Khi ốm có thể từ 1,5 ÷ 3. Do tỷ lệ và chất lượng của các albumin trong huyết thanh thay đổi.

4.5.2. Chuyển động của chất lỏng thực qua ống tròn nằm ngang. Công thức Poiseuille

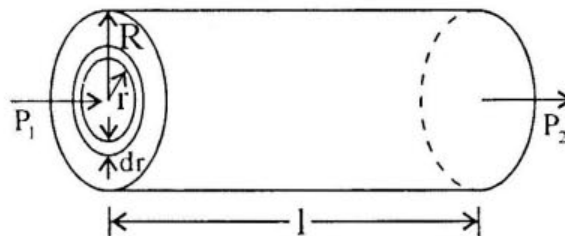
Xét một ống trụ tròn bán kính R , chiều dài l có chất lỏng thực hệ số nhớt η chảy qua, hai đầu ống có áp suất lần lượt là P_1 và P_2 ($P_1 > P_2$).

Do sự chảy thành lớp, lớp chất lỏng dính sát thành bình ma sát lớn với thành ống nên đứng yên. Đi từ thành ống vào trục, lớp nào càng xa thành ống (có bán kính r càng bé) thì tốc độ chảy càng lớn. Tạo thành các lớp nước hình trụ đồng trục. Lớp chất lỏng nằm đúng giữa trục sẽ có tốc độ lớn nhất.

Tốc độ lớp nước tại nơi cách trục một khoảng r là:

$$v = \frac{P_1 - P_2}{4 \cdot \eta \cdot l} \cdot (R^2 - r^2) \quad (4.16)$$

Từ công thức trên ta thấy: Tại sát thành ống $r = R$ thì $v = 0$. Tại đúng trục $r = 0$ nên v đạt lớn nhất.



Hình 4.14

Về phương diện lưu lượng chất lỏng chảy qua ống, ta thấy với chất lỏng lý tưởng, tốc độ chảy tại mọi điểm trên tiết diện S là như nhau (không thành lớp) nên lưu lượng sẽ bằng tích của tiết diện nhân với vận tốc.

$$L = \Delta S.v$$

(phương trình liên tục $L = \text{const}$).

Với chất lỏng thực, mỗi lớp chất có một tốc độ, nghĩa là lưu lượng mỗi lớp chất có giá trị khác nhau. Để có lưu lượng toàn ống ta phải cộng lưu lượng của tất cả các lớp chất lỏng trong ống lại.

Theo hình 4.14 lớp chất lỏng nằm trong hình trụ bán kính trong là r, bán kính ngoài $r + dr$ có lưu lượng:

$$dL = v.dS = \frac{p_1 - p_2}{4.\eta.l} (R^2 - r^2).2\pi.r.dr$$

Lưu lượng chất lỏng qua toàn ống hình trụ L (tức là lượng chất lỏng qua tiết diện của ống trong một giây) là:

$$L = \int_0^R \frac{(p_1 - p_2)(R^2 - r^2).2\pi.r.dr}{4.\eta.l}$$

$$L = \frac{\pi.R^4.(p_1 - p_2)}{8.\eta.l} = \frac{\pi.R^4.\Delta p}{8.\eta.l} \quad (4.17)$$

Đây là công thức của định luật Poiseuille.

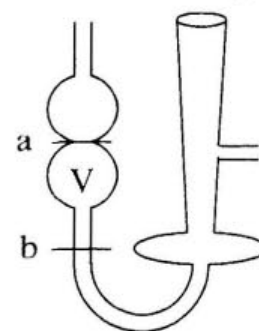
Phát biểu: *Lưu lượng của chất lỏng qua ống thẳng tỷ lệ với hiệu áp suất Δp ở hai đầu ống, tỷ lệ nghịch với độ dài ống và hệ số nhớt của chất lỏng, tỷ lệ với lũy thừa bậc bốn của bán kính ống.*

Định luật Poiseuille thường được áp dụng để đo độ nhớt của chất lỏng.

Dụng cụ là một nhớt kế Ostwald, gồm một ống mao dẫn, đầu trên có bầu đựng chất lỏng. Phép đo rút lại là xác định thời gian t để chất lỏng chảy hết thể tích chất lỏng v trong bầu, so sánh với thời gian t_0 chảy của một chất lỏng có độ nhớt đã biết η_0 (nước cất).

Áp dụng công thức:

$$V = \frac{\pi.R^4.(p_1 - p_2).t}{8.\eta.l}$$



Nhớt kế Ostwald

Hình 4.15

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Phát biểu và chứng minh định lý liên tục của dòng.
2. Thiết lập phương trình Bernoulli, nêu ý nghĩa ứng dụng.
3. Trình bày sự chảy của chất lỏng thực, công thức Newton, ứng dụng.
4. Nội dung nghiên cứu của Poiseuille, nêu công thức ý nghĩa và ứng dụng.
5. Giải thích sự vận chuyển máu trong cơ thể.
6. Hai chiếc xô giống nhau được đổ đầy nước tới tận miệng, nhưng một cái có một miếng gỗ nổi trong nước. Chiếc xô đó hay xô kia nặng hơn.
7. Với quyển sách có những trang giấy mỏng, nhẹ. Khi ta giở tờ thứ nhất, nó hay kéo theo tờ thứ hai. Một “lực lạ” nào làm điều đó?
8. Tập bơi ngoài biển dễ dàng hơn tập bơi ở bể bơi, tại sao?
9. Tàu ngầm lặn với mọi độ sâu của đại dương, nhưng khí cầu chỉ đạt được ở độ cao nhất định, tại sao?
10. Tại sao có những cục băng nổi hẫng trên đại dương bao la?
11. Lực đẩy Archimede liệu có phụ thuộc vào độ sâu của đại dương?
12. Các phân tử khí chuyển động hỗn loạn không có phương ưu tiên. Xong bão cấp 12 có vận tốc 120km/h. Bạn hiểu thế nào về điều đó?
13. Dòng khí của khói thuốc từ điều thuốc bay lên, lúc đầu đi thẳng, tại sao khi lên cao lại bị cuộn xoáy.
14. Tại sao cái quạt trần quay suốt ngày mà lại bị bụi bám rất chắc vào ngay cả mặt dưới của cánh quạt.
15. Một tờ giấy mỏng đặt trên mặt bàn, ta thổi luồng gió trên mặt thấy tờ giấy như dính chặt vào mặt bàn, có lúc lại như được nâng hẫng lên. Bạn hãy giải thích tại sao?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Một ống dòng bằng thủy tinh được đổ đầy nước đến độ cao 20cm. Tính áp suất thủy tĩnh ở đáy ống. Biết áp suất khí quyển bằng 1atm, khối lượng riêng của nước bằng 10^3kg/m^3 , $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Đáp số: $p = 1,0196\text{atm}$.

2. Người ta dùng tốc kế Venturi để đo vận tốc của dòng nước. Tốc kế có tiết diện $S_1 = 5\text{cm}^2$; $S_2 = 1\text{cm}^2$. Chênh lệch áp suất tĩnh $\Delta p = 120\text{Pa}$. Khối lượng riêng của nước bằng 10^3kg/m^3 . Tìm vận tốc của dòng nước.

Đáp số: $v = 0,1\text{m/s}$.

3. Ba chất lỏng không trộn lẫn vào nhau, được đổ vào một thùng chứa. Thể tích và khối lượng riêng của các chất lỏng là 0,5lít và 2,6g/cm³; 0,25lít và 1,0g/cm³; 0,4lít và 0,8g/cm³. Lực tác dụng vào đáy thùng chứa bởi các chất lỏng là bao nhiêu? (Bỏ qua tác dụng của khí quyển).

Đáp số: 13,7N.

4. Phổi của người có thể hoạt động chống lại một độ chênh lệch áp suất khoảng một phần mười hai atm. Nếu người thợ lặn dùng ống thở, thì người thợ có thể lặn sâu dưới mặt nước bao nhiêu?

Đáp số: 0,52m.

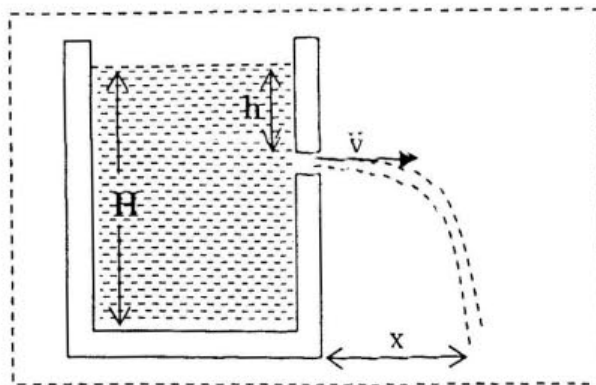
5. Một cái ống hình chữ U hở chứa thủy ngân. Khi đổ 11,2cm nước vào nhánh phải của ống, thì thủy ngân bên nhánh trái phải dâng cao thêm bao nhiêu, so với mức thủy ngân ban đầu?

Đáp số: 0,412cm.

6. Một vật được treo vào một cái cân lò xo. Cân chỉ 30N trong không khí, chỉ 20N khi vật nhúng trong nước và chỉ 24N khi vật nhúng vào chất lỏng khác có khối lượng riêng chưa biết. Tính khối lượng riêng của chất lỏng?

Đáp số: 600kg/m³.

7. Một cái bể chứa nước đến độ cao H. Một cái lỗ được đục ở một trong các thành ở độ sâu h dưới mặt nước.



- a) Chứng minh rằng khoảng cách x từ chân thành bể mà từ đó tia nước phun ra đập vào sàn cho bởi $x = 2\sqrt{h(H-h)}$.
- b) Lỗ nhỏ có thể đục ở vị trí khác để tạo ra tia nước thứ 2, có cùng tầm xa.
- c) Xác định vị trí lỗ nhỏ để có tầm xa cực đại.

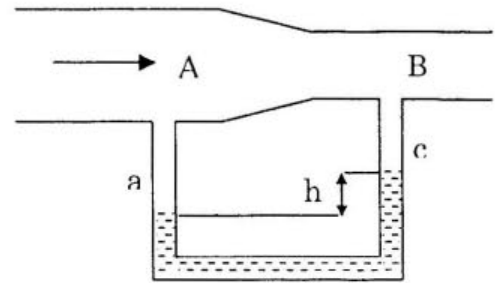
Đáp số: b) $h_1 \neq h_2, h_1 + h_2 = H$.

$$c) h = \frac{H}{2}$$

8. Một khối gỗ nổi trong nước, với hai phần ba thể tích của nó bị chìm. Trong dầu, khối gỗ nổi với 0,90 thể tích bị chìm. Tìm khối lượng riêng của gỗ và của dầu?

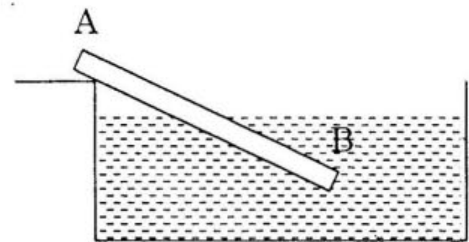
Đáp số: 667kg/m^3 ; 740kg/m^3 .

9. Một ống Pitot như hình bên. Cho không khí thổi qua ống AB với lưu lượng $L = 10\text{lít/phút}$. Tiết diện ống $S_A = 2\text{cm}^2$, $S_B = 0,5\text{cm}^2$, khối lượng riêng của không khí $D = 1,32\text{kg/m}^3$, của nước trong ống ac là $D' = 1000\text{kg/m}^3$. Tính độ chênh lệch h của hai mực nước.



Đáp số: $h = 0,69\text{mm}$.

10. Thanh gỗ đồng nhất AB, đầu A được giữ bằng bản lề mà thanh quay được, đầu B thả vào dầu. Khi cân bằng một nửa thanh chìm trong dầu, đầu B không chạm đáy mà lơ lửng trong dầu. Biết khối lượng riêng của dầu $D = 800\text{kg/m}^3$. Tính khối lượng riêng của thanh.



Đáp số: 600kg/m^3 .

Chương 5

CHUYỂN ĐỘNG DAO ĐỘNG, SÓNG VÀ SÓNG ÂM

MỤC TIÊU

1. Nêu được hai ví dụ về chuyển động dao động. Thiết lập phương trình dao động điều hoà.
2. Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương, cùng chu kỳ.
3. Phân biệt các loại sóng, sóng âm và siêu âm.
4. Trình bày được vận tốc âm, sự truyền âm, khái niệm cường độ âm, mức cường độ âm.
5. Trình bày hiệu ứng Doppler và ứng dụng trong kỹ thuật và chẩn đoán bệnh.

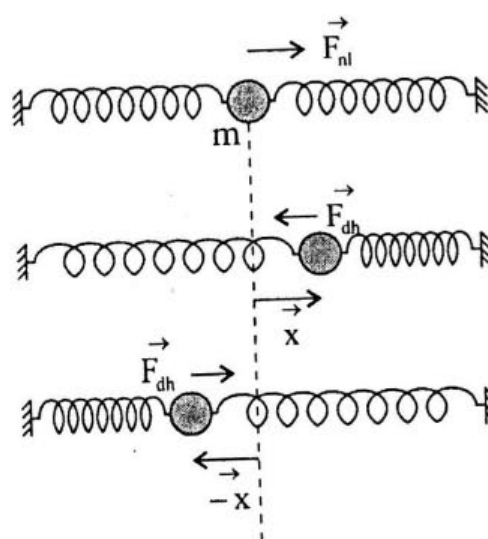
5.1. CHUYỂN ĐỘNG DAO ĐỘNG

5.1.1. Ví dụ về dao động

5.1.1.1. Dao động của lò xo

Lấy 2 lò xo giống hệt nhau (cùng làm bằng một kim loại, cùng đường kính, vòng xoắn...). Mỗi lò xo có một đầu gắn vào một bàn cố định, đầu kia cùng gắn vào một vật khối lượng m .

Bình thường toàn bộ hệ thống ở trạng thái cân bằng. Khi tác dụng một ngoại lực \vec{F}_{nl} làm cho vật nặng kéo theo lò xo dịch chuyển một đoạn x . Giả sử phương của ngoại lực cùng phương của hệ thống, lò xo phải bị nén. Thôi tác dụng ngoại lực $\vec{F}_{nl} = 0$, ta thấy lò xo phải đẩy, lò xo trái kéo vật về vị trí cân bằng O bằng một lực đàn hồi \vec{F}_{dh} . Lực đàn hồi bằng nhưng ngược chiều với ngoại lực.



Hình 5.1

$$\vec{F}_{dh} = -\vec{F}_{ml} \quad (5.1)$$

$$\vec{F}_{dh} = -k \cdot \vec{x} \quad (5.2)$$

Dấu (-) do lực đàn hồi luôn ngược chiều với vectơ dịch chuyển \vec{x} .

k: hệ số đàn hồi của lò xo. Phụ thuộc bản chất của lò xo.

Đến vị trí cân bằng $\vec{F}_{dh} = 0$. Nhưng do quán tính, vật tiếp tục chuyển động sang trái một đoạn đúng bằng x (nếu bỏ qua ma sát của không khí).

Lúc đó lại xuất hiện lực đàn hồi do lò xo phải kéo, lò xo trái đẩy, vật lại qua vị trí cân bằng rồi sang phải.

Quá trình cứ lặp lại như vậy nhiều lần sau từng khoảng thời gian bằng nhau. Người ta gọi chuyển động đó là chuyển động dao động.

5.1.1.2. Dao động và con lắc

Lấy một sợi dây mảnh, không co dãn, chiều dài l. Một đầu dây buộc vào vật nặng khối lượng m, đầu kia buộc vào bản cố định. Ta có một con lắc toán học.

Thoạt đầu dưới tác dụng của trọng lực \vec{P} con lắc đứng yên.

Tác dụng một ngoại lực làm cho con lắc lệch ra khỏi phương thẳng đứng một góc lệch α . Sau đó thôi tác dụng ngoại lực.

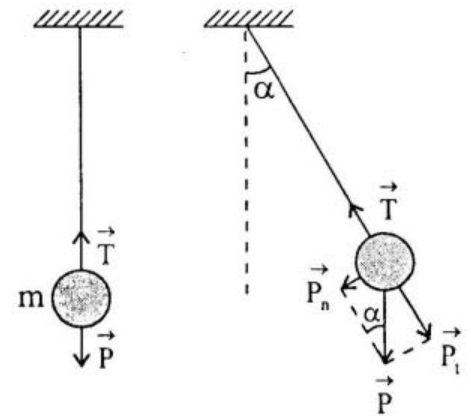
Ở vị trí mới, trọng lực \vec{P} của vật nặng được phân chia ra 2 thành phần:

$$\vec{P} = \vec{P}_t + \vec{P}_n$$

\vec{P}_t : theo phương kéo dài của dây treo.

\vec{P}_n : có tác dụng kéo con lắc về vị trí cân bằng.

Ở vị trí cân bằng $\vec{P}_n = 0$. Nhưng do còn quán tính nó lại tiếp tục sang trái (giả thiết như ban đầu bài toán đề ra: dây treo mảnh, góc α nhỏ, bỏ qua ma sát của không khí). Con lắc lệch sang trái một góc đúng bằng α và lúc đó \vec{P}_n lại xuất



Hình 5.2

hiện kéo vật về vị trí cân bằng. Cứ như vậy chuyển động của con lắc lặp đi lặp lại sau những khoảng thời gian như nhau.

Lực \vec{P}_n là lực gây ra chuyển động dao động:

$$P_n = P \cdot \sin\alpha \quad (5.3)$$

Vì α nhỏ $\Rightarrow \sin\alpha \approx \alpha$

Ta có:

$$P_n = P \cdot \alpha \quad (5.4)$$

Tương tự công thức của định luật Hook

$$F_{dh} = -k \cdot x$$

P_n gọi là lực chuẩn đàn hồi.

Định nghĩa: *Chuyển động dao động là sự chuyển động qua lại vị trí cân bằng được lặp đi lặp lại nhiều lần sau những khoảng thời gian nhất định, dưới tác dụng của lực đàn hồi hay lực chuẩn đàn hồi.*

5.1.2. Phương trình dao động điều hoà

Trong 2 ví dụ trên nếu không có ma sát của môi trường thì độ dịch chuyển x và góc lệch α về 2 phía đối với vị trí cân bằng là bằng nhau. Dao động sẽ thực hiện trong một thời gian dài.

Dao động như vậy ta gọi là dao động điều hoà. Trong dao động này, độ lệch cực đại (hay biên độ) không đổi theo thời gian.

Ngược lại nếu có ma sát của môi trường, độ lệch cực đại (hay biên độ) sẽ giảm dần, sau một thời gian sẽ ngừng chuyển động. Ta gọi là dao động tắt dần.

5.1.2.1. Thiết lập phương trình

Ta lấy ví dụ về dao động của lò xo để thiết lập phương trình dao động điều hoà. Lực đàn hồi gây ra gia tốc cho chuyển động dao động. Theo định luật Hook:

$$\vec{F}_{dh} = -k \cdot \vec{x} \quad (1)$$

Theo định luật Newton II:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= m \cdot \vec{a} \\ a &= \frac{d^2S}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ F &= m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2) \end{aligned}$$

Hay: $F = m.\ddot{x}$

Cho (1) bằng (2):

$$-k.x = m.\ddot{x}$$

$$m.\ddot{x} + k.x = 0 \quad (5.5)$$

Đây là phương trình vi phân cấp hai có vế phải bằng 0. Giải phương trình này ta có:

Vì $m > 0$ nên ta có thể chia cho m :

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}.x = 0$$

($k \geq 0, m \geq 0$), đặt $\frac{k}{m} = \omega^2$, ta có:

$$\ddot{x} + \omega^2.x = 0$$

Giải ra ta được 2 nghiệm:

$$x_1 = a.\cos(\omega t + \alpha)$$

$$x_2 = a.\sin(\omega t + \alpha') \quad (5.6)$$

Trong đó: a, α, α' là những hằng số phụ thuộc vào điều kiện ban đầu của bài toán.

x : ly độ dao động.

a : ly độ dao động cực đại hay biên độ của dao động.

$a = x_{\max}$ ứng với $\cos(\omega t + \alpha) = \pm 1$.

$(\omega t + \alpha)$: pha của dao động.

ω : tần số góc (tốc độ góc của vectơ biên độ dao động).

$$\omega^2 = \frac{k}{m}; \quad \omega = \frac{2.\pi}{T}$$

t : thời gian dao động.

T : chu kỳ dao động. Thời gian để dao động thực hiện một dao động toàn phần.

α : pha đầu của dao động, ứng với $t = 0$.

5.1.2.2. Biểu diễn dao động điều hoà

a) Phương pháp đồ thị

Từ phương trình:

$$x = a.\cos(\omega t + \alpha)$$

$$x = a.\sin(\omega t + \alpha')$$

x là hàm số của thời gian t . Ta vẽ đồ thị của hàm:

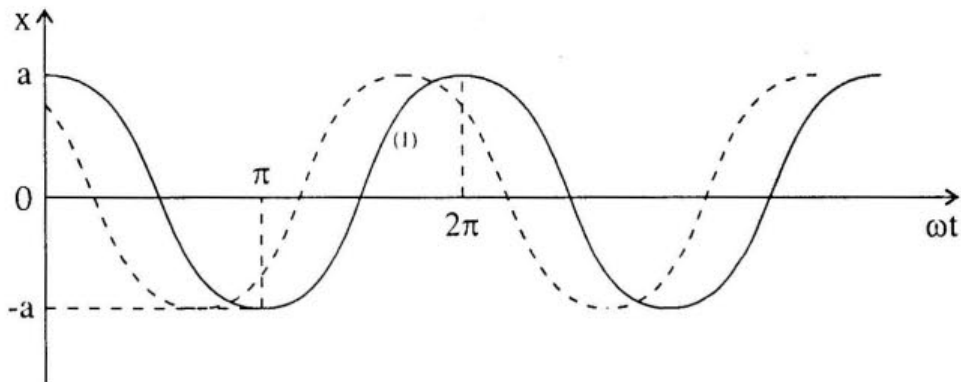
$$x = a \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

Sau đó vẽ đồ thị hàm số:

$$x = a \cdot \cos(\omega \cdot t + \alpha)$$

Chúng sẽ có đường biểu diễn là hai đường song song và cách nhau một khoảng thời gian:

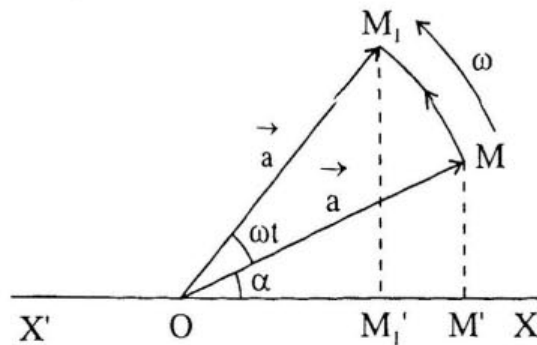
$$t = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot T$$



Hình 5.3

b) Phương pháp vectơ biên độ quay (phương pháp Fresnel)

Trên trục XX' lấy một điểm O làm gốc vẽ vectơ $\vec{OM} = \vec{a}$ (vectơ biên độ). Cho góc $\widehat{MOX} = \alpha$ (pha đầu của dao động tại thời điểm $t = 0$).



Hình 5.4

Hình chiếu của \vec{OM} trên trục XX' là OM' .

$$\overline{OM'} = x_0 = a \cdot \cos(\omega \cdot 0 + \alpha)$$

$$x_0 = a \cdot \cos \alpha$$

Sau đó cho vectơ \vec{OM} quay quanh điểm O ngược chiều kim đồng hồ với vận tốc góc: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$.

Sau thời gian t , vectơ biên độ \vec{a} quay được một góc $(\omega t + \alpha)$, ứng với vị trí OM_1 .

Hình chiếu $\overrightarrow{OM_1}$ trên trục XX' là OM_1' , OM_1' đóng vai trò ly độ dao động x trong phương trình dao động điều hoà ở thời điểm t bất kỳ.

$$OM_1' = x_t = a \cdot \cos(\omega t + \alpha)$$

Như vậy ta có thể biểu diễn ly độ dao động điều hoà bằng phương pháp vectơ biên độ quay.

5.1.3. Năng lượng dao động điều hoà

5.1.3.1. Động năng của dao động

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v = \frac{dx}{dt}$$

$$v = \frac{d(a \cdot \cos(\omega t + \alpha))}{dt}$$

Biết $\frac{k}{m} = \omega^2$

Ta sẽ có:

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot k \cdot a^2 \cdot \sin^2(\omega t + \alpha) \quad (5.7)$$

5.1.3.2. Thế năng của dao động điều hoà

Muốn tính thế năng ta đi tính công của ngoại lực làm dịch chuyển vật có khối lượng m từ vị trí cân bằng đến vị trí có ly độ x . Hay tính công của lực đàn hồi làm dịch chuyển vật từ vị trí có ly độ là x về vị trí cân bằng.

Công của lực đàn hồi trong dịch chuyển $x \rightarrow 0$ là:

$$A_{dh} = E_{t_x} - E_{t_0}$$

Quy ước thế năng ở vị trí cân bằng là bằng 0 ($E_{t_0} = 0$).

E_{t_x} : thế năng của lò xo ở vị trí x :

$$A_{dh} = E_{t_x}$$

$$A_{dh} = \int_x^0 F_{dh} \cdot dx = \int_x^0 -k \cdot x \cdot dx = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Vậy: $E_t = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot a^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \alpha) \quad (5.8)$

Năng lượng của dao động điều hoà:

$$E = E_d + E_t$$

$$E = \frac{1}{2}.k.a^2.(\sin^2(\omega.t + \alpha) + \cos^2(\omega.t + \alpha))$$

$$E = \frac{1}{2}.k.a^2 \quad (5.9)$$

Năng lượng của dao động điều hoà tỷ lệ với bình phương biên độ dao động.

5.1.4. Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương cùng chu kỳ bằng phương pháp vectơ biên độ quay

Trong thực tế ta gặp trường hợp một vật cùng một lúc thực hiện hai dao động. Hãy xét xem dao động tổng hợp của vật như thế nào.

Để đơn giản ta xét một vật tham gia 2 dao động cùng phương, cùng chu kỳ.

Giả sử hai dao động điều hoà cùng chu kỳ ($T = \frac{2.\pi}{\omega}$) và cùng phương được

biểu diễn bởi hai phương trình:

$$x_1 = a_1.\cos(\omega.t + \alpha_1) \quad (1)$$

$$x_2 = a_2.\cos(\omega.t + \alpha_2) \quad (2)$$

Dao động tổng hợp: $x = x_1 + x_2$ sẽ có dạng tổng quát:

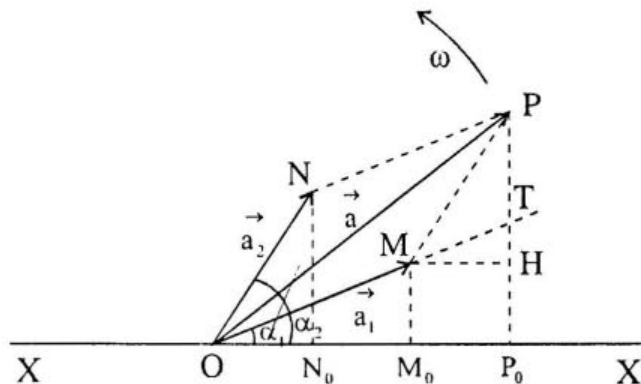
$$x = a.\cos(\omega.t + \alpha)$$

x : ly độ dao động tổng hợp.

a : biên độ dao động tổng hợp.

α : pha đầu của dao động tổng hợp.

Ta phải đi xác định a , ω , α . Để đơn giản ta dùng phương pháp vectơ biên độ quay.



Hình 5.5

Trên trục XX' ta lấy:

$$\overrightarrow{OM} = a_1 \quad (\text{vectơ biên độ})$$

$$\overrightarrow{ON} = a_2$$

$$\widehat{MOX} = \alpha_1: \text{pha đầu của dao động (1)}$$

$$\widehat{NOX} = \alpha_2: \text{pha đầu của dao động (2)}$$

Cho 2 vectơ \overrightarrow{OM} và \overrightarrow{ON} quay ngược chiều kim đồng hồ quanh điểm O với vận tốc góc ω . Hình chiếu của chúng sẽ mô tả ly độ của 2 dao động điều hoà theo thời gian (phương trình (1) và (2)).

Tổng hợp 2 vectơ \overrightarrow{OM} và \overrightarrow{ON} ta sẽ được vectơ \overrightarrow{OP} . Khi \overrightarrow{OP} quay quanh điểm O với vận tốc góc ω thì hình chiếu của nó trên trục XX' sẽ mô tả ly độ dao động tổng hợp:

$$x = x_1 + x_2$$

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{ON}$$

Gọi M_0, N_0, P_0 là hình chiếu của ngọn các vectơ $\overrightarrow{OM}, \overrightarrow{ON}$ và \overrightarrow{OP} .

$$\overline{OP_0} = \overline{OM_0} + \overline{ON_0} \quad (\text{vì } ON \parallel MP)$$

$$x_0 = x_{01} + x_{02} \quad (\text{ly độ dao động tổng hợp tại } t = 0)$$

Vậy $\widehat{POX} = \alpha$ (pha đầu của dao động tổng hợp).

5.1.4.1. Tần số ω của dao động tổng hợp

$$\overrightarrow{OP} = \overrightarrow{OM} + \overrightarrow{ON}$$

\overrightarrow{OP} luôn là tổng của \overrightarrow{OM} và \overrightarrow{ON} , mà \overrightarrow{OM} và \overrightarrow{ON} luôn cùng quay quanh O với vận tốc ω . Vậy \overrightarrow{OP} cũng phải quay với vận tốc góc ω .

Tần số ω của dao động tổng hợp đúng bằng tần số góc của 2 dao động thành phần.

5.1.4.2. Biên độ của dao động tổng hợp

$$OP = a \quad (\text{biên độ dao động tổng hợp})$$

Xét $\triangle POM$ có ($PM = ON$)

$$OP^2 = OM^2 + PM^2 - 2.OM.PM.\cos\widehat{OMP}$$

$$\widehat{OMP} = 180^\circ - \widehat{PMT} \quad (\widehat{PMT} = \widehat{NOM}); \quad \widehat{NOM} = (\alpha_2 - \alpha_1)$$

Ta có:

$$a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2.a_1.a_2.\cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2.a_1.a_2.\cos(\alpha_2 - \alpha_1)} \quad (5.10)$$

Biên độ dao động tổng hợp phụ thuộc vào hiệu số pha đầu $(\alpha_2 - \alpha_1)$ của 2 dao động thành phần.

* Nếu $(\alpha_2 - \alpha_1) = 2k\pi$. Hai dao động cùng pha.

$$\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = 1$$

$$a = \sqrt{(a_1 + a_2)^2} = a_1 + a_2$$

Biên độ dao động tổng hợp là: $a_{\max} = a_1 + a_2$.

Hai dao động tăng cường nhau.

* Nếu $(\alpha_2 - \alpha_1) = (2k + 1)\pi$. Hai dao động ngược pha.

$$\cos(\alpha_2 - \alpha_1) = -1$$

Biên độ dao động tổng hợp:

$$a_{\min} = \sqrt{(a_1 - a_2)^2} = |a_1 - a_2|$$

* Nếu $2k\pi < (\alpha_2 - \alpha_1) < \pi \pm 2k\pi$

$$1 > \cos(\alpha_2 - \alpha_1) > -1$$

$$a_{\max} > a > a_{\min}$$

a có giá trị trung gian.

5.1.4.3. Pha ban đầu của dao động tổng hợp

$$\widehat{POX} = \alpha$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{PP_0}{OP_0} = \frac{PH + HP_0}{OM_0 + M_0P_0}$$

$$PH = MP.\sin\widehat{PMH} = a_2.\sin\alpha_2$$

$$HP_0 = MM_0 = a_1.\sin\alpha_1$$

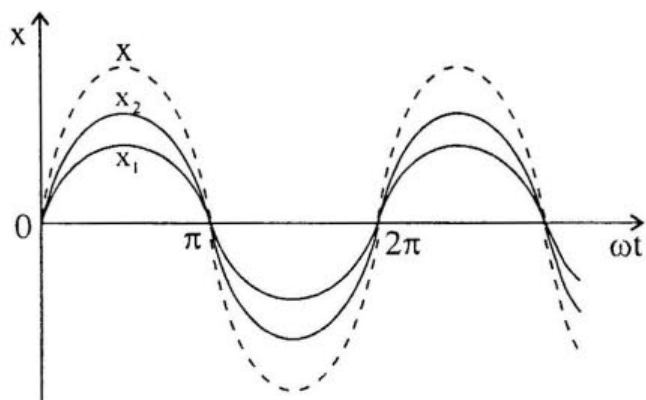
$$M_0P_0 = MH = a_2.\cos\alpha_2$$

$$OM_0 = a_1.\cos\alpha_1$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a_1.\sin\alpha_1 + a_2.\sin\alpha_2}{a_1.\cos\alpha_1 + a_2.\cos\alpha_2}$$

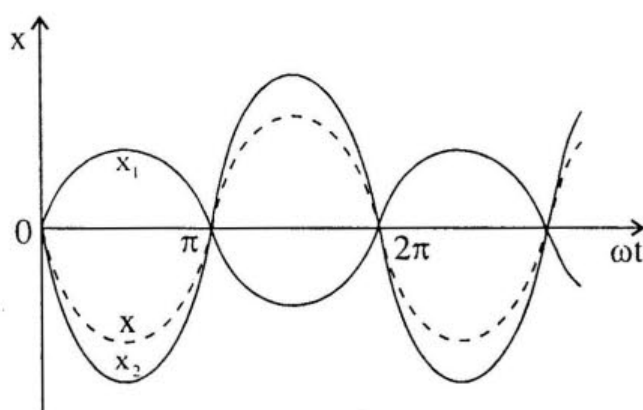
$$\alpha = \operatorname{artg}\left(\frac{a_1.\sin\alpha_1 + a_2.\sin\alpha_2}{a_1.\cos\alpha_1 + a_2.\cos\alpha_2}\right) \quad (5.11)$$

5.1.5. Tổng hợp hai dao động điều hoà bằng phương pháp đồ thị



$$x = x_1 + x_2 \text{ (2 dao động đồng pha)}$$

Hình 5.6



$$x = |x_1 - x_2| \text{ (2 dao động ngược pha)}$$

Hình 5.7

5.2. CHUYỂN ĐỘNG SÓNG

5.2.1. Định nghĩa

Chuyển động sóng là sự lan truyền dao động trong một môi trường đàn hồi. (Môi trường có liên kết giữa các phần tử).

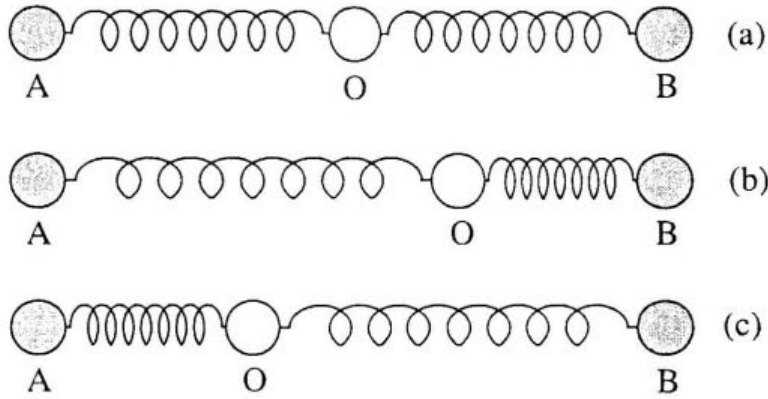
5.2.2. Sự truyền sóng

Giả sử có một môi trường đàn hồi, các phân tử liên kết với nhau bằng những lực đàn hồi (môi trường rắn, lỏng, khí).

Do ngoại lực tác dụng, các phân tử này rời khỏi vị trí cân bằng và bắt đầu dao động. Các dao động này do có liên kết phân tử, được lan truyền sang các phân tử xung quanh. Như vậy, khi có sóng truyền qua trong môi trường các vùng dãn, nén liên tiếp tuần hoàn trong không gian theo thời gian.

Giả sử vì một lý do nào đấy, một phân tử O của môi trường bị lệch khỏi vị trí cân bằng (hình 5.8). Phân tử A sẽ tác dụng lên O một lực kéo, phân tử B sẽ tác

dụng lên O một lực đẩy. O sẽ dịch chuyển sang trái. Lúc tới trạng thái (c) thì A lại đẩy O và B lại kéo. Kết quả phân tử O sẽ thực hiện được một dao động toàn phần. Do đặc điểm của môi trường đàn hồi, dao động này sẽ lan truyền trong môi trường tạo thành sóng cơ học. O gọi là nguồn phát sóng.



Hình 5.8

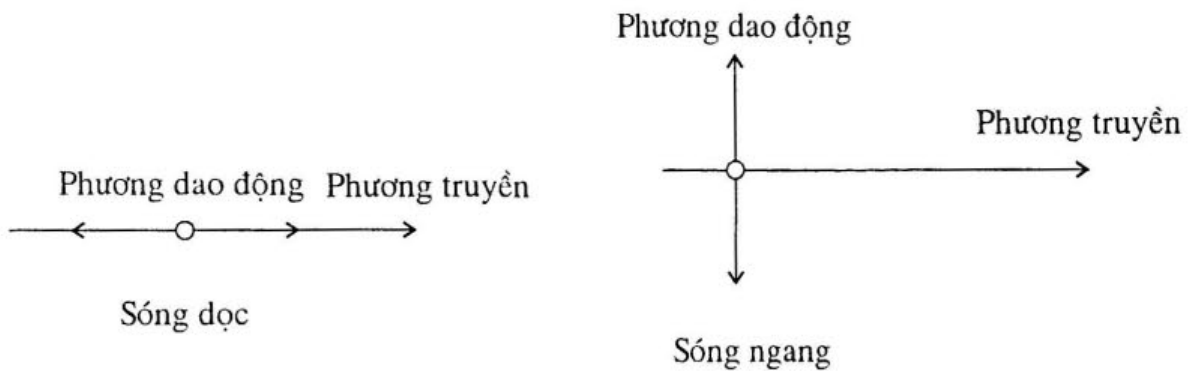
5.2.3. Các loại sóng

Khi truyền trong môi trường đồng nhất và đẳng hướng, dao động sẽ lan truyền về mọi phía với vận tốc như nhau. Ta chọn một phương nào đó, gọi là phương truyền sóng.

– Nếu có một sóng mà các tiểu phân của môi trường dao động vuông góc với phương truyền sóng, gọi là sóng ngang. Ví dụ: sóng ánh sáng.

– Nếu các tiểu phân của môi trường dao động song song với phương truyền sóng thì đó là sóng dọc (hình 5.9). Ví dụ: sóng di chuyển của lò xo khi co dãn, sóng âm.

Các môi trường chất rắn tồn tại đồng thời cả sóng dọc và sóng ngang. Môi trường lỏng và khí truyền được sóng dọc.



Hình 5.9

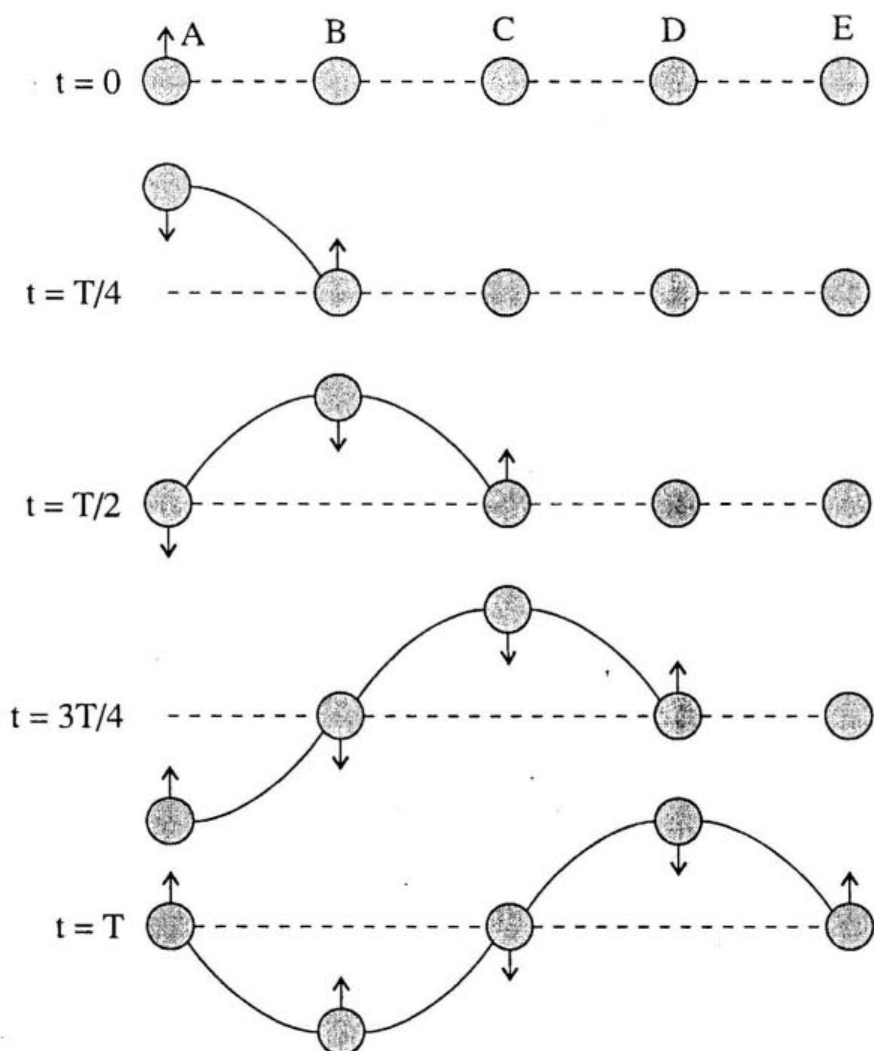
* Hình tượng sóng ngang: sự truyền sóng ngang trong môi trường đàn hồi được xét ở dạng mô hình 5 phân tử (hình 5.10).

- $t = 0$: A bắt đầu nhận kích thích từ môi trường ngoài, bắt đầu dao động.

- $t = T/4$ (1/4 chu kỳ): A sẽ ở vị trí cực đại trên, liên kết A bị kéo về và phân tử B bắt đầu nhận kích thích.

- $t = T/2$: A về vị trí cân bằng, B lên cực đại trên và C bắt đầu nhận kích thích.

- $t = 3T/4$: A ở cực đại dưới, B về vị trí cân bằng, C ở cực đại trên và D bắt đầu dao động.



Hình 5.10

- $t = T$: A thực hiện một dao động toàn phần, trở về vị trí cân bằng, B ở cực đại dưới, C về cân bằng, D ở vị trí cực đại trên và dao động lan sang E.

Rõ ràng ở đây do tồn tại lực đàn hồi mà dao động của phân tử A đã được lan truyền đi.

Dao động sóng truyền tới phân tử nào thì phân tử đó có trạng thái như nguồn ban đầu.

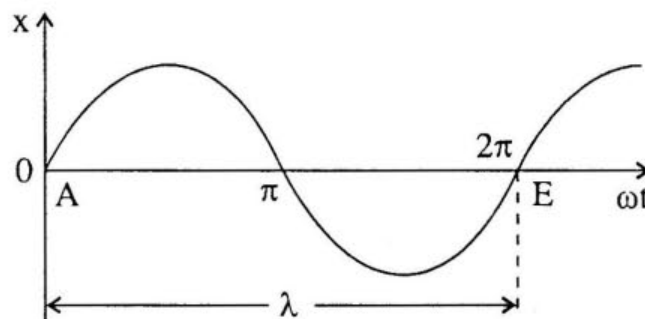
Ta cần chú ý: khi truyền dao động, tức là sóng truyền đi. Các phân tử của môi trường đàn hồi chỉ dao động quanh vị trí cân bằng mà không dịch chuyển theo sóng.

5.2.4. Các thông số cơ bản

5.2.4.1. Bước sóng (λ)

Là khoảng cách ngắn nhất giữa các phân tử của môi trường dao động đồng pha.

Ví dụ: khoảng cách từ A \rightarrow E (hình 5.11). Đơn vị đo bước sóng: m, cm, μm , nm.



Hình 5.11

5.2.4.2. Chu kỳ dao động (T)

Thời gian cần thiết để chất điểm thực hiện một dao động toàn phần.

5.2.4.3. Vận tốc truyền sóng (v)

Quãng đường sóng truyền được trong một đơn vị thời gian.

Đơn vị đo: m/s

5.2.4.4. Tần số (f)

Là số lần dao động trong 1 giây.

$$f = \frac{1}{T}$$

Đơn vị đo: Herzt (Hz): $1\text{Hz} = 1/\text{s}$

5.2.4.5. Tần số góc (ω)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

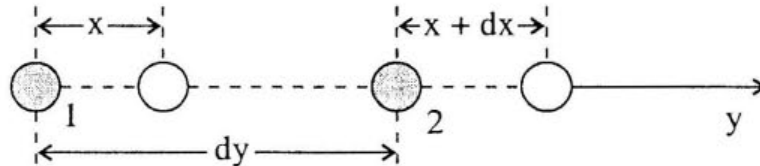
Tần số góc bằng tần số quay nhân với 2π .

Đơn vị đo: rad/s

Số sóng: $K = \frac{1}{\lambda}$. Đơn vị của số sóng K là $\frac{1}{\text{mét}}$ (m^{-1})

5.2.4.6. Phương trình sóng

Xét trường hợp sóng dọc. Giả sử 2 phân tử của môi trường 1 và 2 cách nhau một khoảng dy theo phương truyền sóng y (hình 5.12) khi chúng ở vị trí cân bằng.



Hình 5.12

Do bị kích động các phân tử 1 và 2 lệch khỏi vị trí cân bằng một khoảng x và $x + dx$. Khoảng cách giữa hai phân tử bây giờ là $(dx + dy)$.

- Độ biến dạng tương đối: $S = \frac{dx}{dy}$

Khi $S > 0$: khoảng cách giữa chúng tăng (vùng dãn).

Khi $S < 0$: khoảng cách giữa chúng giảm (vùng nén).

Khi các phân tử dao động quanh vị trí cân bằng ta có thể biểu diễn x là một hàm tuần hoàn thời gian.

$$x = A \cdot \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right) \quad (5.12)$$

A: biên độ của sóng.

ω : tần số góc.

v: vận tốc truyền sóng.

Khi đó vận tốc dao động của phân tử trong môi trường là:

$$u = \frac{dx}{dt} = A \cdot \omega \cdot \cos \omega \left(t - \frac{y}{v} \right)$$

Và độ biến dạng tương đối:

$$S = \frac{dx}{dy} = -A \cdot \frac{\omega}{v} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{y}{v} \right)$$

Lấy đạo hàm của u theo t và S theo y ta có:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = v^2 \cdot \frac{d^2x}{dy^2} \quad (5.13)$$

Phương trình này được gọi là phương trình truyền sóng. Trong đó vận tốc truyền sóng v tùy thuộc vào bản chất của môi trường và vào loại sóng.

Chú ý: vận tốc dao động của phân tử khác hẳn vận tốc lan truyền sóng. Phân tử 1 và 2 chỉ dao động quanh vị trí cân bằng.

5.3. SÓNG ÂM VÀ SIÊU ÂM

5.3.1. Định nghĩa

Sóng âm và siêu âm cũng là những sóng cơ học, có thể đi qua chất khí, chất lỏng và chất rắn.

Trong môi trường khí, lỏng chỉ truyền được sóng dọc, môi trường rắn truyền được cả sóng dọc và sóng ngang.

Sóng âm và siêu âm không truyền được trong chân không.

5.3.2. Sự khác nhau giữa sóng âm và siêu âm

Sự khác nhau giữa âm và siêu âm ở tần số của âm.

Với âm có tần số từ $0 \div 16\text{Hz}$ là vùng hạ âm, tương ứng với sự dao động của các tiểu phân chất lỏng.

Tần số âm từ $16\text{Hz} \div 16\text{kHz}$ là vùng sóng âm, tai chúng ta có thể cảm nhận được.

(Ngưỡng nghe 0dB , ngưỡng làm đau tai là 120dB).

Tần số âm từ $16\text{kHz} \div 10^9\text{Hz}$ là vùng siêu âm, tai chúng ta không cảm nhận được. Một số động vật như cá voi, cò nhái, cò chó... lại có khả năng cảm nhận được vùng sóng này.

Tần số âm từ $10^9\text{Hz} \div 10^{13}\text{Hz}$ là vùng siêu siêu âm, tương ứng với sự dao động của các tiểu phân chất rắn. Vùng này cho phép nghiên cứu cấu trúc vật rắn có kích thước micromét.

5.3.3. Vận tốc âm

Vận tốc của một sóng cơ nào đó, ngang hay dọc đều phụ thuộc vào quán tính của môi trường (để dự trữ động năng), phụ thuộc vào tính đàn hồi của môi trường (để dự trữ thế năng). Khi sóng âm đi qua không khí, thế năng liên quan đến sự nén, giãn khí một cách tuần hoàn. Độ biến dạng tương đối của một đơn vị thể tích môi trường là $\Delta V/V$, khi có sự thay đổi áp suất là Δp thì vận tốc truyền âm trong không khí sẽ là:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (5.14)$$

ρ : khối lượng riêng của môi trường truyền âm.

B: được định nghĩa “mô đun khối B”

$$B = -V \frac{\Delta p}{\Delta V} = -\frac{\Delta p}{\frac{\Delta V}{V}} \quad (5.15)$$

Dấu (-) vì khi tăng áp suất tác dụng lên thể tích V của môi trường (Δp dương), thể tích môi trường lại bị giảm đi một lượng ΔV (ΔV âm). Chúng ta đưa dấu (-) để B luôn là một đại lượng dương.

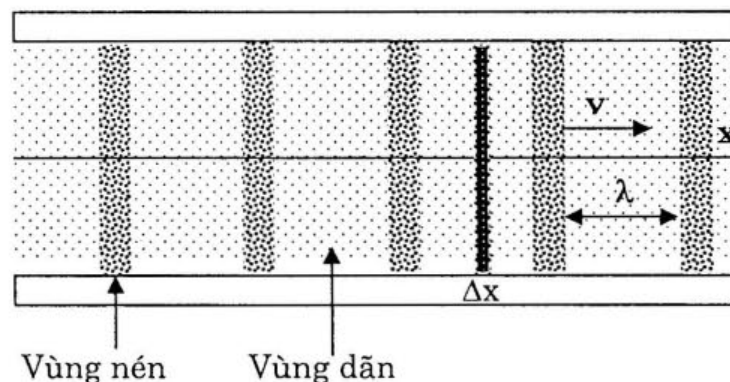
Vận tốc âm

Môi trường truyền âm	Vận tốc (m/s)
Chất khí: Không khí (0°C)	331
Không khí (20°C)	343
Heli	963
Hydro	1284
Chất lỏng: Nước (0°C)	1402
Nước (20°C)	1482
Nước biển (20°C, độ mặn 3,5%)	1522
Chất rắn: Nhôm	6420
Thép	5941

Dựa vào định luật II Newton chúng ta có thể suy ra được vận tốc truyền âm theo phương trình (5.14).

5.3.4. Sự truyền âm

Chúng ta tưởng tượng một cái ống chứa đầy không khí. Khi có sóng âm truyền qua theo phương x, với vận tốc v. Cột khí tạo nên những vùng nén, những vùng giãn ra.



Xét lớp môi trường vô cùng mỏng Δx , khi có sóng âm đi qua, lớp môi trường sẽ dao động điều hoà quanh vị trí cân bằng của nó với biên độ S_m . Các phân tử khí cũng dao động điều hoà. Sự truyền sóng âm qua cột khí mô tả bằng phương trình

$$s = S_m \cos(Kx - \omega t) \quad (5.16)$$

$K = \frac{\omega}{v}$ là số sóng, $\omega = 2\pi f$ là tần số góc, f là tần số âm.

Chú ý: λ là khoảng cách hai vùng nén gần nhau nhất dao động cùng pha nhau.

Áp suất không khí tại mọi vị trí x bất kỳ trên ống sẽ tăng hoặc giảm theo thời gian được biểu diễn bằng hàm số.

$$\Delta p = \Delta p_m \sin(Kx - \omega t) \quad (5.17)$$

Δp_m là độ biến thiên áp suất cực đại, phụ thuộc vận tốc truyền sóng v và độ dịch chuyển S_m .

$$\Delta p_m = (v \cdot \rho \cdot \omega) S_m \quad (5.18)$$

Ví dụ: Với tai chúng ta chịu đựng được thay đổi áp suất cỡ 28Pa, tần số âm 1000Hz, khối lượng không khí $\rho = 1,21\text{kg/m}^3$. Thay các giá trị trên vào phương trình (5.18), giá trị của $S_m = 1,1 \cdot 10^{-5}\text{m} = 11\mu\text{m}$. Ta thấy S_m nhỏ hơn bước sóng λ của âm rất nhiều.

Chú ý: S_m là biên độ theo phương x vì các phân tử khí dao động dọc, khác dao động của dây rung, các vi phân dl dao động theo phương ngang.

Dựa vào định nghĩa “môđun khối B” chúng ta chứng minh được các phương trình truyền sóng âm (5.16), (5.17) và (5.18).

5.3.5. Cường độ âm và mức cường độ âm

Cường độ âm I của một sóng âm được định nghĩa là tốc độ trung bình năng lượng của âm được chuyển qua một đơn vị diện tích môi trường.

Đơn vị đo của I trong hệ SI là Watts trên mét vuông (W/m^2).

Cường độ âm I liên hệ với biên độ sóng âm S_m là $I = \frac{1}{2} \rho \cdot v \cdot \omega^2 \cdot S_m^2$.

Để xác định cường độ âm đơn giản người ta đưa ra khái niệm mức cường độ âm β với định nghĩa:

$$\beta = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (5.19)$$

khi đó β được đo bằng Dexiben (dB).

I_0 là cường độ mốc tiêu chuẩn và bằng 10^{-12}W/m^2 .

Khi cường độ âm $I = I_0$ thì $\beta = 0$.

Một vài mức cường độ âm

	β (dB)	I/I_0
Ngưỡng nghe được	0	$10^0 = 1$
Tiếng xào xạc của lá cây	10	$10^1 = 10$
Tiếng nói thầm	20	$10^2 = 100$
Đường phố yên tĩnh	30	$10^3 = 1000$
Cơ quan, lớp học	50	$10^5 = 100000$
Nói chuyện bình thường	60	$10^6 = 1000000$
Búa máy	90	$10^9 = 1000000000$
Nhạc rock	110	$10^{11} = 100000000000$
Ngưỡng đau tai	120	$10^{12} = 1000000000000$

Tai của chúng ta có cảm giác âm khá nhạy, ngưỡng đau khá cao, tuy nhiên với nhạc rock cần chú ý ảnh hưởng đến tai.

Cường độ âm I bao gồm cả động năng và thế năng truyền qua một đơn vị diện tích môi trường.

Dựa vào định luật bảo toàn động năng, chúng ta hoàn toàn chứng minh được biểu thức cường độ âm I theo phương trình (5.19).

5.4. HIỆU ỨNG DOPPLER VÀ ỨNG DỤNG

Bạn đứng cạnh một ngã tư đường phố, một xe cảnh sát chạy lại phía bạn. Xe cảnh sát bóp còi, có tần số âm 1000Hz, tai của bạn cảm nhận được âm lớn hơn (1096Hz). Nếu xe cảnh sát chạy ra xa bạn, bạn cảm nhận âm dịu hơn (904Hz), sai khác tới 96Hz. Hiện tượng thay đổi tần số âm giữa máy phát âm và máy thu âm (tai chúng ta) gọi là hiệu ứng Doppler.

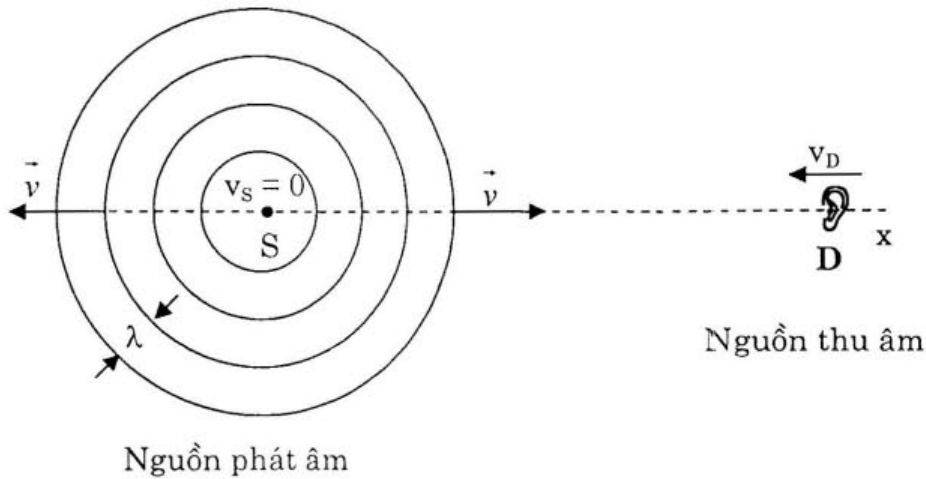
Hiệu ứng Doppler không những đúng cho sóng âm mà đúng cho cả sóng điện từ bao gồm sóng cực ngắn, sóng vô tuyến và cả ánh sáng khả kiến.

Để xét hiệu ứng Doppler, giả thiết không có gió, hệ quy chiếu đặt tại mặt đất. Nguồn phát âm S (còi ô tô, xe máy, máy phát âm chuẩn...). Nguồn phát S và nguồn thu D di chuyển dọc theo đường thẳng nối S và D . Tốc độ di chuyển của S là v_S và tốc độ di chuyển của D là v_D , v_S và v_D nhỏ hơn vận tốc truyền âm v .

5.4.1. Máy thu chuyển động, nguồn phát đứng yên

Giả thiết là máy thu không chuyển động. Nguồn phát âm đứng yên ($v_S = 0$). Sóng âm từ nguồn phát ra có các mặt sóng là các mặt cầu, chúng cách nhau bằng bước sóng âm λ , tần số f di chuyển với vận tốc v . Tần số âm mà máy thu D thu được (tai chúng ta) là “tốc độ” máy thu nhận được các mặt sóng âm.

Nếu nguồn thu đứng yên ($v_D = 0$) thì tần số máy thu thu nhận được có tần số âm cũng bằng f' : ($f' = f$).



Xét trong khoảng thời gian t , mặt sóng âm di chuyển sang phải được một khoảng là $v.t$. Máy thu D di chuyển sang trái với vận tốc v_D , trong khoảng thời gian t máy thu di chuyển một khoảng $v_D.t$. Khoảng cách tương đối giữa các mặt sóng âm đối với máy thu là $v.t + v_D.t$. Số mặt sóng máy thu tiếp nhận được trong thời gian t là: $(v.t + v_D.t)/\lambda$.

Tốc độ máy thu nhận được các mặt sóng chính là tần số âm f' mà máy thu thu được.

$$f' = \frac{(v.t + v_D.t)/\lambda}{t} = \frac{v + v_D}{\lambda} = f \cdot \frac{v + v_D}{v}$$

Máy thu di chuyển sang phải với vận tốc v_D , di chuyển cùng chiều với sóng âm, tần số máy thu ghi nhận được.

$$f' = \frac{(v.t - v_D.t)/\lambda}{t} = \frac{v - v_D}{\lambda} = f \cdot \frac{v - v_D}{v}$$

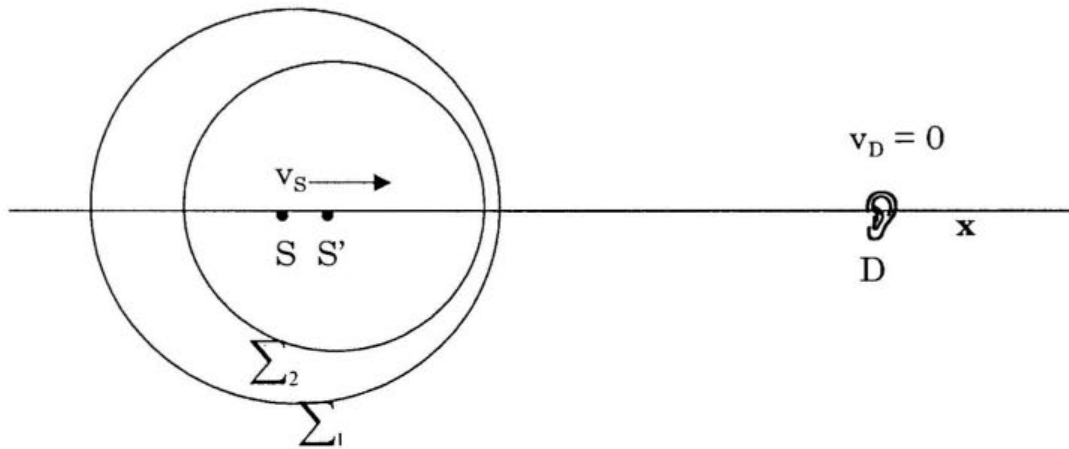
Vậy khi máy thu chuyển động, nguồn phát đứng yên thì tần số âm máy thu thu nhận được:

$$f' = f \cdot \frac{v \pm v_D}{v} \tag{5.20}$$

Dấu (+) nếu máy thu di chuyển lại gần máy phát âm, dấu (-) nếu máy thu di chuyển ra xa máy phát âm.

5.4.2. Máy phát chuyển động, nguồn thu đứng yên

Máy phát chuyển động với vận tốc v_s lại gần máy thu (sang phải)



Bước sóng âm máy phát phát tới nguồn thu nhận được sẽ thay đổi là λ' , tần số âm máy thu nhận được cũng thay đổi f' .

Xét trong khoảng thời gian T (một chu kỳ) mặt sóng đầu tiên Σ_1 đi được một khoảng $v.T$, mặt sóng thứ hai Σ_2 vừa mới phát ra. Khoảng cách tương đối giữa Σ_1 và Σ_2 chính là bước sóng λ' mà máy thu thu nhận được.

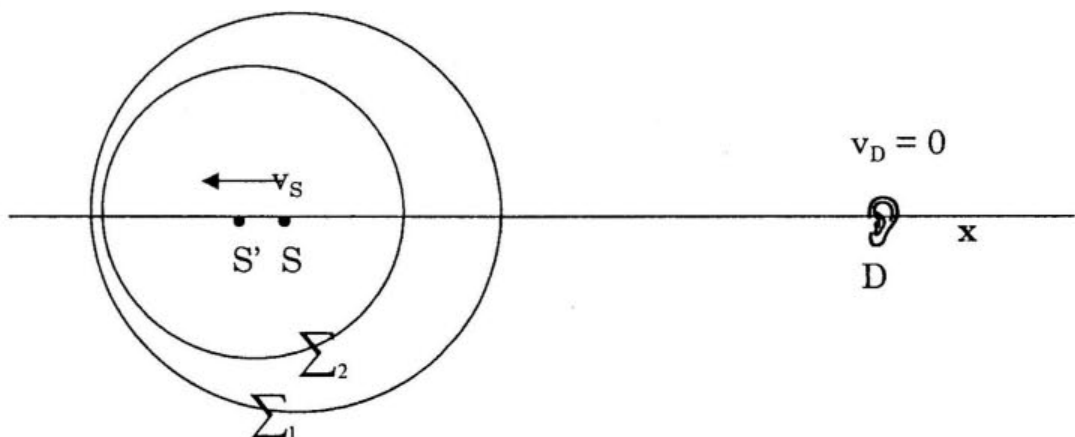
$$\lambda' = v.T - v_s.T$$

Tần số âm máy thu thu nhận được:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v.T - v_s.T} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}}$$

$$f' = f \frac{v}{v - v_s}$$

Máy thu chuyển động với vận tốc v_s ra xa nguồn thu (sang trái).



Bước sóng λ' máy thu thu nhận được:

$$\lambda' = v.T + v_s.T.$$

Tần số âm máy thu thu nhận được:

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v \cdot T + v_s \cdot T} = \frac{v}{\frac{v}{f} + \frac{v_s}{f}}$$

$$f' = f \frac{v}{v + v_s}$$

Vậy máy phát chuyển động, nguồn thu đứng yên, tần số âm máy thu thu nhận được:

$$f' = f \frac{v}{v \mp v_s} \quad (5.21)$$

Dấu (-) ứng với máy phát di chuyển lại gần máy thu, dấu (+) ứng với máy phát di chuyển ra xa nguồn thu.

5.4.3. Nguồn phát và nguồn thu đều chuyển động

Tổ hợp cả hai trường hợp trên chúng ta có cả trường hợp nguồn phát và nguồn thu cùng chuyển động.

Tần số âm f luôn gắn liền với nguồn phát âm, chúng ta coi không đổi. Tần số âm f' luôn gắn liền với máy thu âm. Khi máy thu chuyển động với vận tốc v_D , máy phát chuyển động với vận tốc v_s thì tần số âm máy thu thu nhận được:

$$f' = f \frac{v \pm v_D}{v \mp v_s} \quad (5.22)$$

Khi $v_s = 0$ phương trình trở về phương trình 5.20, khi $v_D = 0$ phương trình trở về phương trình 5.21.

Lấy dấu dương (+) hay dấu (-) sao cho máy phát và máy thu chuyển động gần lại nhau, tần số âm máy thu ghi nhận lớn hơn tần số âm máy phát. Khi máy thu và máy phát chuyển động xa dần nhau, tần số âm máy thu ghi nhận được nhỏ hơn tần số âm máy phát.

5.4.4. Ứng dụng

Thăm khám các bộ phận nội tạng của cơ thể bằng thiết bị siêu âm.

Thăm dò sự chuyển động của máy bay, tàu biển, sự dịch chuyển của các ngôi sao bằng rada dùng sóng điện từ sử dụng hiệu ứng Doppler.

Thăm dò chức năng hệ hô hấp, hệ tuần hoàn, siêu âm thai nhi...

Trong quân sự dùng để thăm dò hoạt động của các tàu ngầm, tàu lặn.

Trong địa chất dùng để thăm dò địa tầng, thăm dò đáy đại dương.

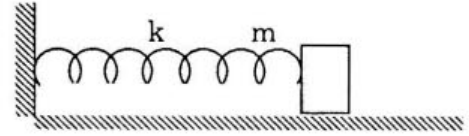
CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Cho 2 ví dụ về chuyển động dao động. Thiết lập phương trình dao động điều hoà, nêu các đại lượng đặc trưng.
2. Tổng hợp 2 dao động điều hoà cùng phương, cùng chu kỳ bằng phương pháp vectơ biên độ quay.
3. Định nghĩa chuyển động sóng, các loại sóng. Phân biệt sóng âm và siêu âm. Tính chất hấp thụ và phản xạ của siêu âm. Ứng dụng trong Y học.
4. Hiệu ứng Doppler là gì? Giải thích và ứng dụng.
5. Cường độ âm giảm theo khoảng cách như thế nào nếu nguồn phát âm có công suất phát $P(W)$ không đổi.
Gợi ý: Xét mặt cầu bán kính R bao kín nguồn phát.
6. Sóng siêu âm để soi nội tạng con người, phân biệt được nước và các mô mềm, có ưu điểm hơn cả chùm tia X. Tại sao?
7. Dụng cụ đàn dây, ngoài phụ thuộc sức căng T của dây, mặt đàn còn có tác dụng gì?
8. Sóng dừng: Khi dây ở thời điểm t nào đó dây được căng ngang, vậy năng lượng sóng dừng lúc đó ở đâu?
9. Vận tốc truyền sóng trên dây phụ thuộc độ căng T và khối lượng dây như thế nào?
10. Theo bạn tại sao cầu dây treo người ta phải làm nhiều dây, không chỉ cần một dây cho tiện.
11. Có thể dùng con lắc như thế nào để nó vạch một đường sin?
12. Lò xo có khối lượng, dây treo vật bị dãn. Vậy giải thích một cách định tính sẽ ảnh hưởng dao động của vật thế nào?
13. Trong quá trình dao động của vật thì động lượng của vật có được bảo toàn không?
14. Con lắc treo ở trần thang máy có chu kỳ T thay đổi thế nào trong các trường hợp sau: thang đi lên với vận tốc không đổi; đi lên có gia tốc a theo chiều dương; đi xuống với vận tốc không đổi; có gia tốc a theo chiều chuyển động.
15. Trong thực tế độ giảm năng lượng âm trong không khí không tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách, tại sao?
16. Tại sao bác sỹ khi gõ vào bụng bạn lại đoán được bụng bạn có nước hay có khí?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Vật nặng có khối lượng $m = 680\text{g}$, gắn với lò xo có độ cứng $k = 65\text{N/m}$. Vật được kéo một khoảng $a = 11\text{cm}$ khỏi vị trí cân bằng của nó ($x = 0$) trên mặt phẳng không ma sát, sau đó được thả tự do lúc $t = 0$. Hãy tính:

- a) Lực mà lò xo tác dụng vào vật trước lúc vật được thả.
 b) Tần số góc (vận tốc góc), tần số, chu kỳ dao động.
 c) Biên độ dao động của vật.
 d) Vận tốc cực đại v_{\max} , gia tốc cực đại a_{\max} của vật.



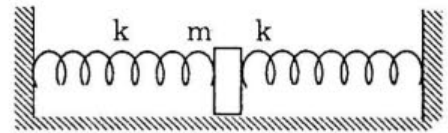
Đáp số: a) $F = 7,2\text{N}$.

b) $\omega = 9,78\text{rad/s}$; $f = 1,56\text{Hz}$; $T = 640\text{ms}$.

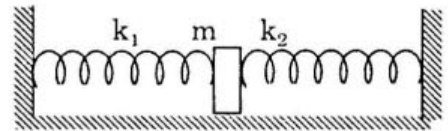
c) $A = 11\text{cm}$;

d) $v_{\max} = 1,1\text{m/s}$; $a_{\max} = 11\text{m/s}^2$.

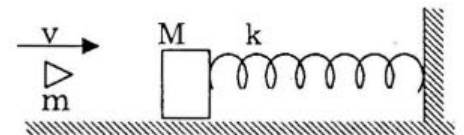
2. Hai lò xo giống nhau cùng gắn vào vật có khối lượng m và giá đỡ cố định. Chứng minh rằng tần số dao động của vật trên mặt phẳng nằm ngang không ma sát là $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2k}{m}}$.



3. Hai lò xo có độ cứng k_1 và k_2 khác nhau mắc với vật như hình vẽ và cho vật dao động. Chứng minh rằng tần số dao động của vật là $f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$. Trong đó f_1 và f_2 là tần số dao động riêng của vật, nếu nó chỉ gắn vào một lò xo k_1 và k_2 .



4. Vật có khối lượng M nằm trên mặt bàn nằm ngang không ma sát. Vật được buộc chặt vào giá nhờ một lò xo có độ cứng k . Một viên đạn có khối lượng m và vận tốc v chuyển động theo phương ngang va vào vật và cắm chặt vào vật.



- a) Xác định vận tốc của vật sau khi va chạm.
 b) Biên độ dao động của vật sau khi va chạm.

Đáp số: a) $mv/(M + m)$.

b) $mv/\sqrt{k(M + m)}$.

5. Tần số dao động của nguyên tử trong vật rắn ở nhiệt độ thường cỡ 10^{13}Hz . Tưởng tượng nguyên tử được gắn với nhau bằng các “lò xo”. Giả sử một nguyên tử bạc đơn độc gắn với các nguyên tử còn lại và dao động, các nguyên tử khác đứng yên. Tính “hệ số đàn hồi hiệu dụng” biết: Một mol bạc có khối lượng 108g và chứa $6,02 \cdot 10^{23}$ nguyên tử.

Đáp số: $k = 708\text{N/m}$.

6. Một người gõ vào đầu của một thanh nhôm, người một khác ở đầu kia áp tai vào thanh nghe được âm của tiếng gõ hai lần (một lần qua không khí, một lần qua thanh nhôm) với khoảng thời gian giữa hai lần là 0,120s. Hỏi độ dài của thanh. Biết vận tốc truyền âm trong không khí là 343m/s.

Đáp số: $l = 43,5\text{m}$.

7. Một viên đá rơi xuống giếng sâu. Tiếng của nước bắn lên được nghe thấy sau 3s. Hỏi độ sâu của giếng.

Đáp số: $h = 40,7\text{m}$.

8. Bước sóng ngắn nhất mà con dơi phát ra khoảng 3,3mm. Hãy tính tần số tương ứng và cho biết sóng đó thuộc loại sóng nào?

Đáp số: $f = 100\text{kHz}$, thuộc loại sóng siêu âm.

Chương 6

THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP CỦA EINSTEIN

MỤC TIÊU

1. *Nắm được đối tượng áp dụng của cơ học cổ điển và cơ học tương đối.*
2. *Phân biệt sự khác nhau về quan niệm thời gian, không gian, khối lượng trong cơ học cổ điển và thuyết tương đối hẹp của Einstein.*
3. *Trình bày được phương trình cơ bản chuyển động của chất điểm trong thuyết tương đối, hệ quả của phương trình và ý nghĩa của hệ thức: $E = m.c^2$*

6.1. KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU

Trong một thời gian dài, cơ học Newton hay còn gọi là cơ học cổ điển đã chiếm một địa vị thống trị trong sự phát triển của khoa học.

Trên cơ sở của cơ học Newton đã hình thành những quan niệm về không gian, thời gian và vật chất. Theo những quan niệm đó thì không gian, thời gian và vật chất không phụ thuộc vào chuyển động. Ví dụ: khoảng thời gian xảy ra của một hiện tượng, kích thước của một vật và khối lượng đều như nhau trong mọi hệ quy chiếu đứng yên hay chuyển động. Tóm lại theo Newton: thời gian, không gian là tuyệt đối. Khối lượng của vật là bất biến.

Nhưng đến cuối thế kỷ XIX đầu thế kỷ XX khoa học kỹ thuật phát triển. Người ta đã bắt đầu gặp những chuyển động nhanh với vận tốc $c = 3.10^8$ m/s. Khi đó xuất hiện sự mâu thuẫn với các quan niệm cơ học Newton.

Cụ thể là thời gian, không gian và khối lượng m đều phụ thuộc vào chuyển động.

Từ đó kết luận cơ học Newton chỉ áp dụng cho các chuyển động với vận tốc nhỏ so với vận tốc ánh sáng.

Môn học cơ học tương đối hay còn gọi thuyết tương đối hẹp của Einstein ra đời. Môn học này áp dụng cho cả các vật chuyển động với $v \approx c$ và $v \ll c$ ($v \ll c$ được coi là trường hợp giới hạn).

6.2. CÁC TIÊN ĐỀ CỦA EINSTEIN

Để xây dựng thuyết tương đối, năm 1905 Einstein đã đưa ra hai nguyên lý sau:

- Nguyên lý tương đối: mọi định luật vật lý đều như nhau trong các hệ quy chiếu quán tính.

- Nguyên lý về sự bất biến của vận tốc ánh sáng: vận tốc ánh sáng trong chân không đều bằng nhau trong mọi hệ quy chiếu quán tính. Nó có giá trị bằng $c = 3.10^8 \text{m/s}$ và là giá trị vận tốc cực đại trong tự nhiên.

Ở đây cần phân biệt nguyên lý tương đối Galilée trong cơ học cổ điển. Theo nguyên lý này chỉ các định luật cơ học là bất biến khi chuyển từ một hệ quán tính này sang một hệ quán tính khác. Điều đó có nghĩa là phương trình mô tả một định luật cơ học nào đó, biểu diễn qua tọa độ và thời gian sẽ giữ nguyên dạng trong tất cả các hệ quán tính.

Nguyên lý tương đối Einstein đã mở rộng nguyên lý tương đối của Galilée từ các hiện tượng cơ học sang các hiện tượng vật lý nói chung bao gồm các hiện tượng cơ, nhiệt, từ, quang...

6.3. CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI LAURENT

6.3.1. Sự bất lực của các phép biến đổi Galilée

Theo các phép biến đổi Galilée, thời gian trôi chảy trong các hệ quy chiếu quán tính đều như nhau ($t = t'$) khoảng cách giữa hai điểm trong các hệ đó đều bằng nhau.

$$x_2' - x_1' = x_2 - x_1$$

Vận tốc tuyệt đối của chất điểm bằng tổng vectơ các vận tốc tương đối \vec{v}' và vận tốc \vec{V} của hệ quy chiếu chuyển động tịnh tiến O' đối với O .

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$$

(\vec{v}' : vận tốc chất điểm trong hệ O').

Những điều này đều được thực nghiệm xác nhận và đúng đối với các chuyển động chậm ($v \ll c$). Nhưng lại mâu thuẫn với các tiên đề của Einstein.

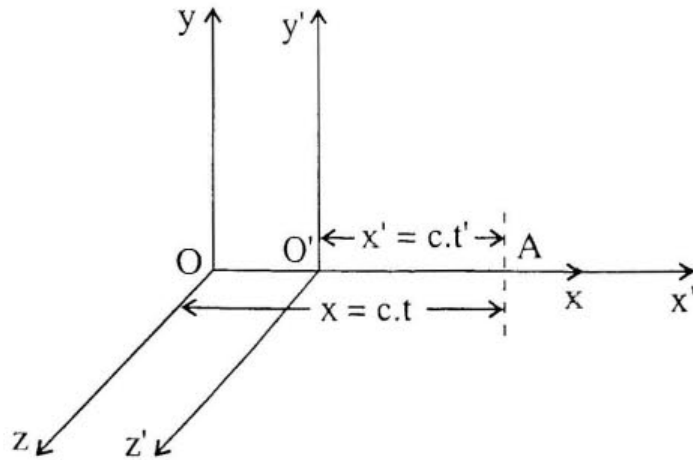
– Hãy xét 2 hệ quy chiếu O và O' lúc đầu ($t' = t = 0$) hoàn toàn trùng nhau. Nhưng sau đó hệ O' chuyển động thẳng đều theo chiều dương của trục OX với vận tốc $V = \text{const}$ (hình 6.1).

Giả sử lúc $t = 0$ tại gốc O của hệ đứng yên phát ra một tín hiệu sáng. Như vậy đến thời điểm t tín hiệu đó đạt đến điểm A , đoạn đường đi được trong hệ O là:

$$x = c.t$$

Nhưng theo tiên đề 2 của Einstein trong hệ O' ánh sáng cũng truyền đi với vận tốc c . Đoạn đường $O'A$ mà tín hiệu đi được là:

$$x' = c.t'$$



Hình 6.1

Từ hình vẽ ta nhận thấy $x \neq x'$, $t \neq t'$. Nghĩa là khoảng thời gian diễn biến của cùng một biến cố đo được trong 2 hệ là khác nhau. Điều này có nghĩa thời gian trôi trong 2 hệ nhanh chậm khác nhau.

- Quy tắc cộng vận tốc $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$ cũng mâu thuẫn với tiên đề thứ 2 của Einstein. Thực vậy, nếu c là vận tốc ánh sáng do nguồn sáng phát ra trong hệ O' thì theo quy luật cộng vận tốc trong cơ học cổ điển, vận tốc ánh sáng đo trong hệ O phải là: $c + V$. Nhưng theo tiên đề 2 của Einstein, vận tốc ánh sáng vẫn phải là c trong bất cứ hệ nào.

6.3.2. Các phép biến đổi Lorentz

Dựa vào 2 tiên đề của Einstein, người ta đã tìm ra được các công thức biến đổi các tọa độ không gian và thời gian trong các hệ quy chiếu quán tính.

Để cụ thể, ta xét 2 hệ tọa độ O và O' : giả sử lúc đầu 2 hệ hoàn toàn trùng nhau. Sau đó hệ O' chuyển động đối với hệ O theo chiều dương của trục OX với vận tốc $V = \text{const}$. Giả sử có một biến cố xảy ra tại một điểm nào đó trong không gian. Gọi x, y, z, t và x', y', z', t' là các tọa độ của điểm đó. Dễ dàng thấy rằng theo phương vuông góc với chuyển động, các tọa độ trong 2 hệ bao giờ cũng bằng nhau. Nghĩa là:

$$y = y' ; z = z'$$

vấn đề tìm sự liên hệ giữa x, x' và t, t' .

Laurent đã dựa vào 2 tiên đề của Einstein và phép biến đổi Galilée đưa ra các công thức sau (được gọi là công thức biến đổi Lorentz):

$$\begin{aligned}
 x' &= \frac{x - V.t}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\
 y' &= y \\
 z' &= z \\
 t' &= \frac{t - \frac{V}{c^2}.x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.1}$$

Cho phép biến đổi tọa độ và thời gian từ hệ O sang hệ O'.

Và công thức (6.2) dưới đây cho phép biến đổi tọa độ và thời gian từ hệ O' sang hệ O:

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{x' + V.t'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \\
 y &= y' \\
 z &= z' \\
 t &= \frac{t' + \frac{V}{c^2}.x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}
 \end{aligned}
 \tag{6.2}$$

6.4. ĐỘNG HỌC TƯƠNG ĐỐI

6.4.1. Quy tắc cộng vận tốc trong thuyết tương đối hẹp

Từ các biến đổi Lorentz, ta có thể tìm ra quy tắc cộng vận tốc sau đây gọi là quy tắc cộng vận tốc trong thuyết tương đối hẹp. Giả sử có một chất điểm trong không gian. Gọi v và v' là vận tốc của nó đo được trong 2 hệ O và O' với các thành phần trên 3 trục là: v_x, v_y, v_z và v'_x, v'_y, v'_z . Theo định nghĩa ta có:

$$v_x = \frac{dx}{dt}; \quad v'_x = \frac{dx'}{dt}$$

Thay các giá trị x, x' từ phép biến đổi Lorentz vào, ta có:

$$v'_x = \frac{v_x - V}{1 - \frac{V}{c^2}.v_x} \tag{6.3}$$

$$v'_y = \frac{v_y \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{V}{c^2} \cdot v_x}; \quad v'_z = \frac{v_z \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 - \frac{V}{c^2} \cdot v_x} \quad (6.4)$$

Từ các công thức trên, muốn biến đổi vận tốc từ hệ O' sang O thì trong các công thức trên thay các đại lượng có dấu phẩy bằng các đại lượng không dấu phẩy.

* Trường hợp $v \ll c$ lúc đó lại trở thành phép biến đổi Galilée:

$$\begin{aligned} v'_x &= v_x - V \\ v'_y &= v_y \\ v'_z &= v_z \end{aligned}$$

6.4.2. Tính tương đối của không gian

Trong cơ học cổ điển không gian được coi là tuyệt đối không phụ thuộc vào chuyển động. Kích thước của một vật khi đứng yên hay chuyển động đều như nhau. Nói cách khác, kích thước của một vật không thay đổi dù đo trong hệ quy chiếu đứng yên hay chuyển động.

Nếu ta xét theo quan điểm của thuyết tương đối sẽ khác đi.

Để cụ thể ta xét một thanh thẳng nằm yên trong hệ O' theo phương chuyển động của nó. Gọi x'_1 và x'_2 là tọa độ của các đầu mút của nó đo được trong hệ này. Độ dài của thanh đo trong hệ O' bằng:

$$l'_0 = x'_2 - x'_1$$

l'_0 : độ dài thanh đo được trong hệ O' , chỉ số 0 nói lên thanh đứng yên trong hệ đó.

Bây giờ ta xét độ dài thanh trong hệ O (đối với hệ O , thanh chuyển động với vận tốc V . (V cũng chính là vận tốc hệ O' đối với hệ O).

$$x_2 = x'_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} + V \cdot t$$

$$x_1 = x'_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} + V \cdot t$$

Suy ra:

$$x_2 - x_1 = (x'_2 - x'_1) \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Hay:

$$l = l'_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \quad (6.5)$$

Trong công thức này ta thấy l'_0 là độ dài thanh đo trong hệ mà thanh đứng yên (hệ O'), l là độ dài thanh đo trong hệ mà thanh chuyển động (hệ O).

Ta nhận thấy: $l < l'_0$

Có nghĩa là khi chuyển động kích thước vật co lại. Độ dài thanh đo trong hệ mà thanh chuyển động ngắn hơn độ dài thanh đo trong hệ mà thanh đứng yên.

Như vậy độ dài của một vật sẽ khác nhau tùy thuộc vào chỗ ta quan sát nó ở trong hệ đứng yên hay chuyển động.

Trường hợp vận tốc của chuyển động ($V \ll c$):

$$\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \approx 1 \Rightarrow l = l_0'$$

Trở lại cơ học cổ điển. Không gian được coi là tuyệt đối, không phụ thuộc vào chuyển động.

6.4.3. Tính tương đối của thời gian

Theo cơ học cổ điển, thời gian có tính tuyệt đối. Khoảng thời gian để cho một biến cố xảy ra là như nhau trong hệ đứng yên hay chuyển động.

Vấn đề sẽ khác đi nếu xét theo quan điểm của thuyết tương đối.

Thực vậy, ta hãy xét một biến cố nào đó xảy ra tại một điểm A xác định, đo được trong hệ quy chiếu O' (đối với hệ này A đứng yên) và gọi x' là tọa độ của A đo được trong hệ quy chiếu đó, t_1' là thời điểm biến cố bắt đầu xảy ra, t_2' là thời điểm biến cố chấm dứt. Như vậy trong hệ O' khoảng thời gian diễn biến của biến cố ấy là:

$$\Delta t' = t_2' - t_1'$$

$\Delta t'$ (khoảng thời gian đo được trong hệ đứng yên đối với biến cố đó – hệ O').

Gọi V là vận tốc của của điểm A, cũng là vận tốc của hệ O' đối với hệ O .

Thời gian diễn biến của biến cố đó trong hệ O . Theo công thức biến đổi Laurent (6.2) ta có:

$$t_1 = \frac{t_1' + \frac{V}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad t_2 = \frac{t_2' + \frac{V}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Vậy trong hệ O ta thấy biến cố xảy ra trong khoảng thời gian:

$$t_2 - t_1 = \Delta t$$

$$\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \tag{6.6}$$

Ta thấy: $\Delta t' < \Delta t$. Do đó ta phát biểu:

Khoảng thời gian xảy ra của một biến cố trong hệ quy chiếu O' chuyển động bao giờ cũng nhỏ hơn khoảng thời gian xảy ra của cùng biến cố đó trong hệ quy chiếu O đứng yên.

Nếu trên hệ O' chuyển động gắn một chiếc đồng hồ và trên hệ O cũng gắn một chiếc đồng hồ, thì khoảng thời gian xảy ra cũng một biến cố trên hệ O' chuyển động sẽ nhỏ hơn khoảng thời gian ghi trên đồng hồ đứng yên.

Ta nói: *đồng hồ chuyển động chạy chậm hơn đồng hồ đứng yên. Nói cách khác thời gian có tính chất tương đối.*

Khi $V \ll c$, lúc đó: $\Delta t' = \Delta t$. Trở lại cơ học cổ điển.

6.5. ĐỘNG LỰC HỌC TƯƠNG ĐỐI

6.4.1. Phương trình cơ bản của chuyển động chất điểm trong thuyết tương đối của Einstein

Lý thuyết của Einstein và thực nghiệm đã chứng tỏ. Khi một vật chuyển động thì khối lượng của nó tăng lên so với khối lượng của nó lúc đứng yên.

Gọi khối lượng của vật lúc đứng yên là m_0 (khối lượng nghỉ, khi $v = 0$), khối lượng của nó lúc chuyển động với vận tốc v là m (khối lượng tương đối).

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \quad (6.7)$$

Rõ ràng $m > m_0$, khối lượng của vật tăng khi nó chuyển động, giá trị nhỏ nhất khi nó đứng yên, khối lượng có tính tương đối. Định luật II Newton viết lại:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \Rightarrow \vec{F} = \frac{d\left(\frac{m_0\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}\right)}{dt} \quad (6.8)$$

Đây là phương trình cơ bản của chuyển động chất điểm trong thuyết tương đối.

Khi $V \ll c$ lúc đó lại trở lại như cơ học cổ điển: $\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$

6.5.2. Hệ thức giữa năng lượng và công

Hệ quả đặc biệt quan trọng của phương trình nói trên là cho ta mối liên hệ giữa khối lượng m và năng lượng toàn phần E của một vật.

Theo định luật bảo toàn năng lượng: độ tăng năng lượng của vật bằng công của ngoại lực tác dụng lên vật:

$$dE = dA$$

mà $dA = \vec{F} \cdot d\vec{S}$, để đơn giản ta coi \vec{F} và $d\vec{S}$ cùng phương chiều. Vậy $dA = F \cdot dS$.

$$dA = \frac{d\left(\frac{m_0 \cdot V}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}\right)}{dt} \cdot dS ; \left(\frac{dS}{dt} = V\right)$$

Giải ra ta được:

$$dA = \frac{m_0 \cdot V \cdot dV}{\left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (6.9)$$

Lấy vi phân 2 vế biểu thức: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$, ta có:

$$dm = \frac{m_0 \cdot V \cdot dV}{c^2 \cdot \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (6.10)$$

Từ 2 phương trình (6.9) và (6.10) ta suy ra:

$$dA = c^2 \cdot dm = dE$$

Lấy tích phân 2 vế:

$$E = m \cdot c^2 + C \quad (6.11)$$

C: hằng số xác định bởi tính chất của mối liên hệ giữa khối lượng và năng lượng. Khi $m = 0$ phải ứng với $E = 0$, suy ra $C = 0$. Ta có:

$$E = m \cdot c^2 \quad (6.12)$$

* Ý nghĩa của hệ thức:

- Hệ thức (6.12) có một ý nghĩa quan trọng trong vật lý hiện đại.
- Nó cho biết khi một vật có khối lượng bằng m thì vật đó có một năng lượng tương ứng là $E = m \cdot c^2$ và ngược lại.
- Khi năng lượng E của vật thay đổi một lượng ΔE thì khối lượng m cũng thay đổi một lượng Δm xác định.

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

Vì c rất lớn nên ứng với một độ biến thiên bình thường, Δm sẽ rất nhỏ, ta khó phát hiện được.

Phép tính chứng tỏ khi đun 1 tấn nước ở 0°C đến 100°C , khối lượng của nó sẽ tăng thêm $5 \cdot 10^{-9} \text{kg}$.

Hệ thức $E = m \cdot c^2$ đã nêu lên một sự khác biệt đối với cơ học Newton. Một vật chuyển động tự do với vận tốc v sẽ có năng lượng bằng: $\frac{1}{2} m \cdot v^2$. Khi nó đứng yên ($V = 0$) năng lượng của nó cũng bằng 0. Theo Einstein nếu vật đó có khối lượng m chuyển động với vận tốc v thì sẽ có năng lượng:

$$E = m \cdot c^2 = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

- Khi $V = 0$, vật vẫn có năng lượng gọi là năng lượng nghỉ. Biểu diễn bằng:

$$E_0 = m_0 \cdot c^2 \quad (6.13)$$

Năng lượng nghỉ ứng với hình thức vận động nội tại.

- Khi $V \ll c$, lúc đó:

$$E_0 = m_0 \cdot c^2 + \frac{m_0 \cdot V^2}{2}$$

$\frac{m_0 \cdot V^2}{2}$ chính là động năng trong cơ học Newton.

* **Chú ý quan trọng:** trong công thức:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Nếu $m_0 \neq 0$ thì V không thể lớn hơn c được, khi đó giá trị trong căn sẽ là số ảo và cũng không thể bằng c vì khi đó khối lượng m sẽ là vô cực.

Vậy một vật có khối lượng nghỉ m_0 không thể chuyển động với vận tốc bằng ánh sáng mà phải chuyển động với $V < c$. Chỉ riêng hạt photon là hạt chuyển động với vận tốc ánh sáng. Ta nói hạt photon không có khối lượng nghỉ.

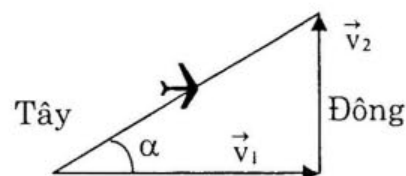
$$m_0 = m \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} = 0 \quad (V = c) \quad (6.14)$$

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Nêu các tiên đề của Einstein.
2. Điểm hạn chế của các phép biến đổi Galilée là gì.
3. Nêu các phép biến đổi Laurent.
4. Phép cộng vận tốc trong thuyết tương đối hẹp.
5. Thời gian, không gian trong thuyết tương đối có gì khác trong cơ học cổ điển.
6. Phương trình cơ bản của chuyển động chất điểm trong thuyết tương đối của Einstein. Nêu hệ thức giữa năng lượng và khối lượng, ý nghĩa.
7. Một người đứng ở hành lang của toa tàu đang chuyển động với vận tốc không đổi, đánh rơi đồng tiền xuống đường. Hãy mô tả quỹ đạo của đồng tiền (tiền kim loại) được nhìn thấy bởi:
 - a) Người đánh rơi tiền.
 - b) Người đứng ở mặt đất cạnh đường tàu.
 - c) Người đứng ở tàu khác đang chạy ngược lại trên một đường ray song song.
8. Thang máy đang đi xuống với vận tốc không đổi thì một người đứng trong thang máy đánh rơi đồng tiền. Hỏi gia tốc của đồng tiền rơi bằng bao nhiêu đối với:
 - a) Người đánh rơi đồng tiền.
 - b) Người đứng dưới mặt đất ở đường thông của cầu thang máy.
9. Một người ở tầng một của một ngôi nhà cao tầng, ném một quả bóng theo phương ngang. Hỏi quỹ đạo chuyển động của quả bóng quan sát được:
 - a) Đối với người ném bóng.
 - b) Ở một người đứng trên tầng cao (cỡ 20 tầng).
10. Ngôi trên ô tô chuyển động thẳng, bạn nhìn qua cửa sổ, bạn có cảm nhận các vật ở xa chuyển động quay quanh bạn, giải thích?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. La bàn trên máy bay đang bay cho biết máy bay đang hướng mũi về phía đông. Tốc độ máy bay đối với không khí là $v_1 = 215\text{km/h}$. Gió thổi đúng hướng bắc với vận tốc $v_2 = 65\text{km/h}$.
 - a) Vận tốc máy bay đối với mặt đất là bao nhiêu?
 - b) Số chỉ góc α của la bàn.
 - c) Để bay đúng hướng đông, la bàn phải chỉ góc β là bao nhiêu?



(Gợi ý của câu c: Tính vận tốc đối với mặt đất mới ứng với góc chỉ β).

Đáp số: a) 225km/h. b) $16,8^\circ$. c) $17,6^\circ$.

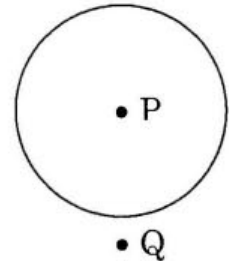
2. Trong 3,59 giờ một khí cầu trôi 21,5km theo hướng bắc, 9,70km theo hướng đông và 2,88km theo hướng thẳng đứng đi lên kể từ điểm thả tại mặt đất.

a) Tính vận tốc trung bình của khí cầu.

b) Tính góc tạo bởi vận tốc trung bình với phương ngang?

Đáp số: a) 6,79km/h. b) $6,96^\circ$.

3. Một mũi tên được phóng theo phương ngang vào tâm P của một bia tròn, với vận tốc ban đầu 10m/s. Sau 0,19s thì mũi tên cắm vào điểm Q dưới điểm P theo phương thẳng đứng.



a) Xác định PQ.

b) Mũi tên được bắn cách bia bao xa.

Đáp số: a) 18cm. b) 1,9m.

4. Một xe cảnh sát kiểm tra giao thông đang đỗ cạnh con đường theo hướng đông tây (Hà Nội – Hải Phòng) và quan sát chiếc xe A đang chuyển động về phía tây (Hà Nội). Xe B chuyển động về phía đông (Hải Phòng) với vận tốc là 52km/h và quan sát chiếc xe A. Lấy chiều dương là chiều về phía đông.

a) Nếu anh cảnh sát đo được tốc độ của xe A là 78km/h. Người trên xe B đo tốc độ xe A sẽ là bao nhiêu?

b) Nếu xe A hãm phanh và dừng lại sau 10s thì anh công an đo được gia tốc của xe A là bao nhiêu (coi A có gia tốc không đổi).

c) Người ngồi trên xe B đo được gia tốc của xe A là bao nhiêu?

Đáp số: a) -130km/h . b) $2,2\text{m/s}^2$. c) $2,2\text{m/s}^2$.

5. Những hạt mưa rơi theo phương thẳng đứng với tốc độ 8,0m/s. Người lái xe trên đường thẳng với tốc độ 50km/h. Người lái xe thấy những hạt mưa lệch khỏi phương thẳng đứng một góc bao nhiêu độ?

Đáp số: 60° .

6. Một tàu hoả chạy về hướng nam với tốc độ 30m/s (so với đất) dưới trời mưa. Gió thổi hướng nam. Một quan sát viên dưới mặt đất thấy giọt mưa rơi xiên góc 22° so với phương thẳng đứng. Một quan sát viên khác trên tàu thì lại thấy giọt mưa rơi thẳng đứng. Xác định tốc độ hạt mưa đối với đất.

Đáp số: 80m/s.

Chương 7

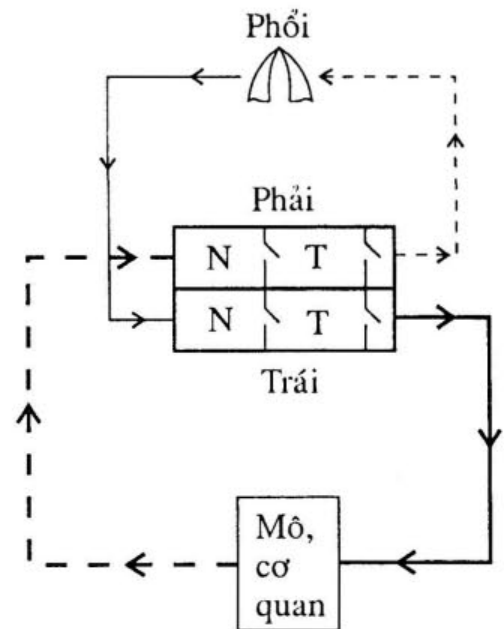
SỰ VẬN CHUYỂN MÁU

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 đây những vật chất cần thải ra khỏi cơ thể và những chất là kết quả hoạt động của chúng rất cần cho sự hoạt động bình thường của cơ thể. Trong các dịch này thì 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 trong một thời gian ngắn thôi: cái chết sẽ đến! Cho đến hiện nay, các bệnh về tim mạch vẫn là nguyên nhân chính của cái chết.

Trong hệ tuần hoàn máu thì tim mạch và mạch máu là những đối tượng quan trọng nhất, đóng vai trò động lực.

7.1. 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 7.1). 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 đây 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 từ tâm nhĩ đến tâm thất. Các dòng máu trong và ngoài tim chảy một chiều nhất định nhờ sự co bóp của tim, tính đàn hồi của thành mạch, các van trong buồng tim và trong lòng mạch.



Hình 7.1

7.1.1. Tim

Quả tim là một khối 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:

– Nút Ket – Flăc nằm ở nhĩ phải. Chính đây là nơi xuất phát các kích thích nhịp co đều đặn của tim. Nút Ket – Flăc còn được gọi là nút xoang nhĩ.

– Nút Taoara còn gọi là nút nhĩ thất. Xung động truyền từ nút Ket – Flăc dọc theo cơ nhĩ đến nút Taoara.

– Bó His 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 Puôckingiơ. Xung động theo nhánh Puôckingiơ 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...

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 tùy 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 kỳ 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 một 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 $120 \div 150\text{Tor}$ ($1\text{Tor} = 1\text{mmHg}$), khi tâm thất trái dãn áp suất trong đó chỉ còn $50 \div 80\text{Tor}$.

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 dãn dài thì khi co lại cho một giá trị lực càng lớn. Đó là quy luật Staclin. Nguyên nhân làm cho sợi cơ tim được kéo dài ra trước khi co là sự dãn 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 dãn 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:

$$F = p.S$$

p là áp suất trong buồng tim, S là diện tích mặt trong buồng tim.

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 dãn rộng nhất làm cho giá trị S tăng lên. Ở tim 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 tùy giá trị S . Người ta đã đo được là lúc đầu tâm thu, giá trị lực toàn phần của cơ tim là 89N , ở cuối tâm thu giá trị đó là 67N .

Do vậy mỗi lần tim co bóp, một lượng máu được đẩy ra với một áp suất gần bằng áp suất trong buồng thất trái ($120 \div 150\text{Tor}$). 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 lượng máu được đẩy ra mỗi lần tim co bóp khoảng $40 \div 70\text{ml}$ tức là khoảng $4 \div 6$ lít/phút.

7.1.2. Mạch máu

7.1.2.1. Cấu tạo thành mạch

Hệ thống mạch máu trong cơ thể dày 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 thể cơ trơn. Trong thành động mạch lớn rất ít thể 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 thể tích 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 dãn 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 axetylcolin, 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.

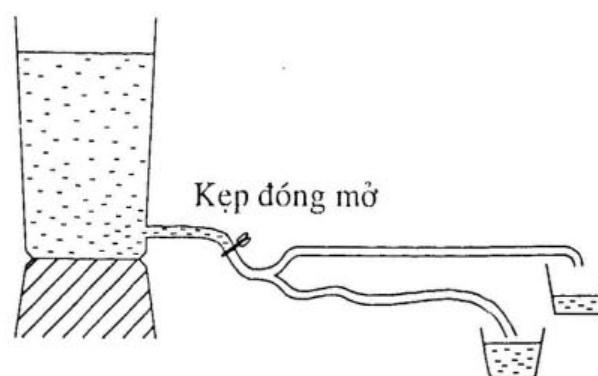
Ngoài ra trong lòng mạch còn có một hệ thống van. Hệ thống van của động mạch làm cho máu chỉ chảy theo hướng từ tim đi các nơi, nghĩa là từ mạch máu lớn về mạch máu nhỏ mà không chảy ngược lại được. Ở các tĩnh mạch lớn cũng có một hệ thống van. Các van tĩnh mạch làm cho dòng máu chỉ chảy được từ các 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.

7.1.2.2. 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 nghiệm sau đây (hình 7.2) cho ta rõ tác dụng đàn hồi của thành ống. Người ta nối một cái bình đựng nước với hai ống có kích thước giống nhau, một ống có thành cứng (thủy 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 chuyển sóng khá chậm ($10 \div 18\text{m/s}$).



Hình 7.2

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. Nghĩa là, khi ngắt lực tác dụng thì vật trở về dạng cũ. Mạch dẫn càng rộng thì thế năng dự trữ càng lớn. Thế năng này có giá trị biến thiên tuần hoàn theo thời gian. Ở thời kỳ tim không co bóp, áp suất dòng chảy giảm xuống nhưng mạch co lại, tạo áp suất thêm cho dòng chảy làm dòng chảy liên tục và điều hoà trong suốt cả thời kỳ tâm trương. Khi ấy thế năng thành mạch lại biến thành động năng dòng chảy.

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 $4 \div 5\text{m/s}$ tức là sau một co bóp của tim (âm thu) kéo dài 0,3s sóng mạch đã lan truyền được $1,2 \div 1,5\text{m}$. 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 và cấu tạo của thành mạch, tính đàn hồi bị giảm đi và do vậy tốc độ lan truyền của sóng mạch sẽ tăng lên.

7.1.2.3. 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 động ngược lại thì thành mạch dẫn nở tối đa có thể vỡ mạch. Có lực chống đối 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 hai giá trị đó để cho máu lưu thông:

$$p = p_i - p_e$$

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 áp suất đó. Giá trị này 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:

$$2.\pi.r.p = 2.\pi.r.(p_i - p_e)$$

Lực đó do các sợi đàn hồi và các 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 $2.\pi.r.p.dr$, 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:

$$T = \frac{F}{L} = \frac{E}{S} \Rightarrow E = T.S$$

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:

$$T = \frac{dE}{2.\pi.dr} = \frac{2.\pi.r.p.dr}{2.\pi.dr}$$

Hay: $T = p.r$ (7.1)

T biểu thị huyết áp động mạch và hoàn toàn không phải là áp suất dòng chảy trong lòng mạch. Theo công thức (7.1) 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 bị thay đổi thì huyết áp cũng bị thay đổi mặc dầu áp suất dòng chảy trong lòng mạch không thay đổi. Tất nhiên tất cả những 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.

7.2. 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 $10 \div 20\text{m/s}$, động mạch cổ là $5,2\text{m/s}$. Lúc xuống mao mạch tốc độ chỉ còn 5mm/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 thủy 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 $4,5\text{cm/s}$, tĩnh mạch cổ là $14,7\text{cm/s}$. 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 lưu lượng máu

chảy qua các đoạn mạch đều giống nhau, nghĩa là ở các đoạn đó vẫn đảm bảo quy luật tích số giữa tốc độ máu chảy và tiết diện lòng mạch là không đổi. Do đó tốc độ chảy máu của 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 động mạch lớn hơn của động mạch chủ và ngược lại tổng tiết diện của tiểu động 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 diện tích của mao mạch lớn gấp $400 \div 800$ lần tiết diện của một động mạch chủ và bằng $200 \div 400$ lần tổng tiết diện của các tĩnh mạch nhỏ. Do đó tốc độ chảy máu không giống nhau ở các đoạn mạch.

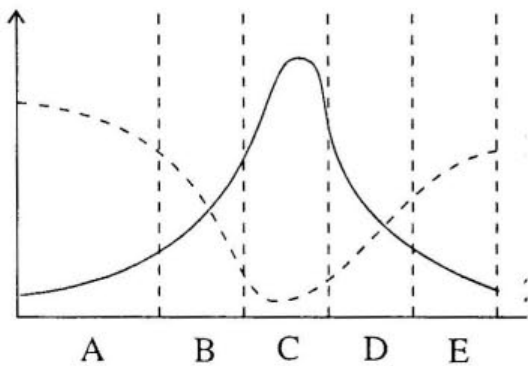
Người ta cũng đã chứng minh được rằng thể tích chất lỏng hay tốc độ dòng chảy, áp suất chảy phụ thuộc vào chiều dài ống mà dịch chảy qua. Khối lượng máu chảy qua đoạn mạch trong một đơn vị thời gian sẽ lớn khi đường kính lớn, chiều dài ngắn và ngược lại. Cũng có thể biểu diễn độ chênh lệch áp suất Δp ở hai đầu một đoạn mạch để hiểu rõ những yếu tố ảnh hưởng đến áp suất đó theo công thức:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot l \cdot Q}{\pi \cdot R^4} \quad (7.2)$$

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 một đoạn mạch rộng và ngắn. Cần phải hiểu Δp là sự chênh lệch áp suất chảy giữa hai đầu đoạn mạch. Độ chênh lệch này càng lớn sẽ làm cho áp suất ở đầu cuối đoạn mạch càng xuống thấp.

Trong hệ tuần hoàn, độ chênh lệch áp suất giữa hai đầu đoạn mạch đó sẽ khác nhau tùy 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 của các mạch lên tới trên 100.000km.

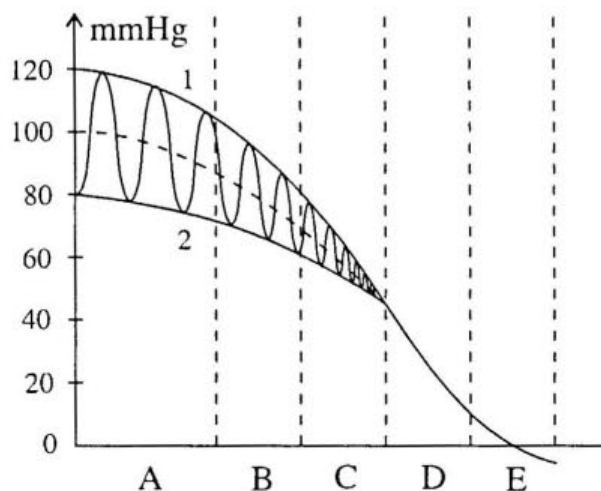
Hình 7.3 và 7.4 cho thấy sự thay đổi của áp suất và tốc độ chảy của máu trong các đoạn mạch. Một trong các nguyên nhân chủ yếu của sự thay đổi đó là sự phân nhánh của các mạch máu.



Hình 7.3

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



Hình 7.4

Sự thay đổi áp suất máu trong các đoạn mạch A, B, C, D, E: như ở hình 7.1

- 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.

Áp suất máu ở động mạch chủ khoảng $130 \div 150$ Tor rồi giảm dần theo chiều dài của hệ mạch. Ở các động mạch nhỏ áp suất máu là $70 \div 80$ Tor, khi đến mao mạch chỉ còn $20 \div 30$ Tor. Áp suất ở tĩnh mạch khoảng $8 \div 15$ 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 với tỷ lệ như sau: Từ động mạch chủ đến động mạch nhỏ là 20% ($15 \div 25\%$), hệ tĩnh mạch là 10% ($5 \div 15\%$), hệ động mạch nhỏ và mao mạch chiếm nhiều nhất và là 70% ($60 \div 80\%$). Trong đó mao mạch chiếm 20%.

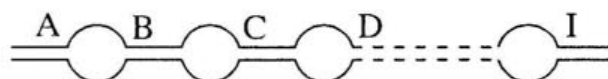
Sức cản ngoại vi của mạch máu: Vừa rồi ta đã thấy rõ sự thay đổi của áp suất dòng chảy và vận tốc của mạch ở các đoạn mạch. Nhìn chung áp suất dòng chảy bị giảm dần. Nguyên nhân của sự hao hụt áp suất đó là lực ma sát xuất hiện giữa thành mạch và máu chảy trong lòng mạch. Nếu gọi Δp là độ giảm áp suất giữa hai đầu một đoạn mạch và R^* là sức cản của đoạn mạch. Người ta đã chứng minh được rằng:

$$\Delta p = R^* \cdot V$$

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 sử ta xét độ giảm áp suất Δp trên các đoạn liên tục đó (hình 7.5):



Hình 7.5

$$P_{AB} = P_A - P_B = V \cdot R_{AB}$$

$$P_{BC} = P_B - P_C = V \cdot R_{BC}$$

...

$$P_{HI} = P_H - P_I = V \cdot R_{HI}$$

$$P_{AI} = P_A - P_I = V \cdot (R_{AB} + R_{BC} + \dots + R_{HI})$$

Và:
$$P_{AI} = V \cdot R_{AI}$$

Có thể áp dụng công thức Poiseuille để ước tính R^* .

Công thức Poiseuille:

$$V = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot \Delta p$$

$$R^* = \frac{\Delta p}{V} \text{ tức là } R^* = \frac{8 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot R^4}$$

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 máu ở đầu hệ tuần hoàn tức là trong tâm thất trái khoảng 130 Tor, áp suất máu ở cuối hệ tuần hoàn tức là trong tâm nhĩ phải khoảng 5 Tor. Thể tích máu lưu thông khắp hệ mạch trong vòng 1 phút là 5 lít (tức 83ml/s). 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: $R^* = \frac{150 - 5}{83 \cdot 3} \approx 0,5 \text{ đơn vị}$.

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 200Tor nhưng lưu lượng máu lại không tăng lên được làm cho giá trị của sức cản ngoại vi tăng lên:

$$R^* = \frac{200 - 5}{83} \approx 2,3 \text{ đơn vị}$$

Sức cản tăng lên hơn gấp đôi đó làm cho hoạt động của tim càng khó khăn thêm. Ta cũng cần lưu ý rằng độ nhớt η của máu quyết định bởi thể tích các tế bào máu (nhất là hồng cầu) và thành phần các chất trong huyết tương. 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 Poiseuille. 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 thủy 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 Acsimet P' và lực cản nội ma sát F do độ nhớt. Chiều của lực Acsimet 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 $F + P'$ cân bằng với trọng lực P . Nói cách khác, tổng đại số các lực tác dụng lên hồng cầu bằng không.

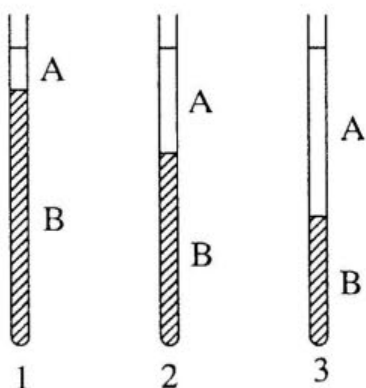
$$P = P' + F \text{ hoặc } P - P' - F = 0$$

Thay giá trị của các lực đó ta có:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho \cdot g - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho' \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot v \cdot r = 0$$

Trong các ống thủy tinh chiều dài không lớn lắm (10 ÷ 20cm) 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 7.6). 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 ρ của nó, mật độ ρ' 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 lên đến 100mm/giờ. Người ta đã áp dụng việc xác định tốc độ lắng của hồng cầu để đánh giá những thay đổi về cấu tạo và số lượng của tế bào máu cũng như của huyết tương...



Hình 7.6

A: Cột huyết tương; B: Cột hồng cầu lắng xuống

1: Sau 1h; 2: Sau 2h; 3: Sau 3h

NHIỆT HỌC

Chương 8

NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

MỤC TIÊU

- *Nắm được các điều kiện và quan hệ định lượng của sự biến đổi năng lượng từ dạng này qua dạng khác.*
- *Trình bày được các khái niệm công và nhiệt.*
- *Trình bày được nội dung của nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học.*

8.1. BÀI MỞ ĐẦU

8.1.1. Đối tượng

Trong phần cơ học ta đã nghiên cứu dạng chuyển động cơ, đó là sự thay đổi vị trí của các vật vĩ mô trong không gian. Khi nghiên cứu chuyển động đó ta chưa chú ý đến quá trình xảy ra bên trong vật, chưa xét đến những quá trình liên quan đến cấu tạo của vật.

Thực tế có nhiều hiện tượng liên quan đến các quá trình xảy ra bên trong vật. Ví dụ: vật có thể nóng chảy hoặc bốc hơi khi bị nung nóng, vật nóng lên khi ma sát... Những hiện tượng này liên quan đến một dạng chuyển động mới của vật chất đó là chuyển động nhiệt. Chuyển động nhiệt chính là đối tượng nghiên cứu của nhiệt học.

Để nghiên cứu chuyển động nhiệt người ta dùng hai phương pháp:

– *Phương pháp thống kê:* Phương pháp này ứng dụng trong phần vật lý phân tử.

Ta biết rằng các chất cấu tạo bởi nguyên tử, phân tử. Phương pháp thống kê phân tích các quá trình xảy ra đối với từng phân tử, nguyên tử riêng biệt rồi dựa vào các quy luật thống kê để xác định tính chất của vật. Phương pháp thống kê dựa trên cấu tạo phân tử của các chất, nó cho biết sâu sắc bản chất của hiện tượng. Tuy nhiên, trong một số trường hợp việc ứng dụng phương pháp này tương đối phức tạp.

– *Phương pháp nhiệt động học*: Phương pháp này được ứng dụng trong phần nhiệt động học.

Nhiệt động học là ngành vật lý nghiên cứu điều kiện biến hoá năng lượng từ dạng này sang dạng khác và nghiên cứu những biến đổi đó về mặt định lượng.

Phương pháp nhiệt động học dựa trên hai nguyên lý cơ bản rút ra từ thực nghiệm là nguyên lý thứ nhất và nguyên lý thứ hai của nhiệt động học. Nhờ các nguyên lý này không cần chú ý đến cấu tạo phân tử của các vật ta cũng có thể rút ra nhiều kết luận về tính chất của các vật trong những điều kiện khác nhau.

Mặc dù có những hạn chế ở chỗ không giải thích sâu sắc bản chất của hiện tượng, nhưng trong nhiều vấn đề thực tế, nhiệt động học cho ta cách giải quyết rất đơn giản.

8.1.2. Một số khái niệm

8.1.2.1. Thông số trạng thái và phương trình trạng thái

Khi nghiên cứu một vật nếu thấy tính chất của nó thay đổi ta nói trạng thái của vật đã thay đổi. Như vậy các tính chất của một vật biểu hiện trạng thái của vật đó và ta có thể dùng một tập hợp các tính chất để xác định trạng thái của một vật. Mỗi tính chất thường được biểu hiện bằng một đại lượng vật lý và như vậy trạng thái của một vật được xác định bằng một tập hợp xác định các đại lượng vật lý. Các đại lượng vật lý này được gọi là thông số trạng thái.

Trạng thái của một vật được xác định bởi nhiều thông số trạng thái. Tuy nhiên trong đó chỉ có một số thông số độc lập, còn lại là những thông số phụ thuộc. Những hệ thức giữa các thông số trạng thái của một vật gọi là những phương trình trạng thái của vật đó.

Để biểu diễn trạng thái của một khối khí nhất định, người ta thường dùng ba thông số trạng thái: thể tích V , áp suất p và nhiệt độ T của khối khí. Thực nghiệm chứng tỏ rằng trong ba thông số đó chỉ có hai thông số độc lập, nghĩa là giữa ba thông số đó có một liên hệ được biểu diễn bởi một phương trình trạng thái với dạng tổng quát như sau:

$$f(p, V, T) = 0$$

Việc khảo sát dạng cụ thể của phương trình trạng thái là một trong những vấn đề cơ bản của nhiệt động. Sau đây ta hãy xét hai thông số cơ bản áp suất và nhiệt độ.

8.1.2.2. Khái niệm áp suất và nhiệt độ

a) Áp suất

Áp suất là một đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích. Nếu ký hiệu F là lực nén vuông góc lên một diện tích ΔS thì áp suất p cho bởi:

$$p = \frac{F}{\Delta S}$$

Trong hệ SI đơn vị áp suất là Newton trên mét vuông (N/m^2) hay Pascal (Pa).

Ngoài đơn vị Pa, người ta còn dùng một số đơn vị dẫn suất ngoài hệ SI như:

Milimét thủy ngân (mmHg) hay Tor, tương ứng áp suất của cột thủy ngân cao 1mm gây ra. Với con người áp suất tâm thu cỡ 120Tor và áp suất tâm trương cỡ 70Tor (hay $120 \div 70$ mmHg) mà bác sỹ hay dùng.

Atmôphe kỹ thuật (at) hay dùng cho các ngành cơ khí – kỹ thuật.

$$1at = 736mmHg = 9,81 \cdot 10^4 N/m^2.$$

“Một Tor có giá trị chuẩn là nơi có gia tốc trọng trường $9,80665m/s^2$, nhiệt độ nơi đó $0^\circ C$, thủy ngân có khối lượng riêng $1,35955 \cdot 10^4 kg/m^3$

$$1Tor = (1,35955 \cdot 10^4 kg/m^3) (9,80665m/s^2) (1 \cdot 10^{-3} m) = 133,326Pa”.$$

b) Nhiệt độ

Mỗi vật đều có một tính chất gọi là nhiệt độ, khi hai vật cân bằng nhiệt thì nhiệt độ của chúng bằng nhau. Nhiệt độ đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn của phân tử.

Để xác định nhiệt độ người ta dùng nhiệt kế. Nguyên tắc của nhiệt kế là dựa vào sự biến thiên của một đại lượng nào đấy (chiều dài, thể tích, độ dẫn điện...) khi đốt nóng hoặc làm lạnh rồi suy ra nhiệt độ tương ứng.

Nhiệt kế thường dùng là nhiệt kế thủy ngân. Trong nhiệt kế này nhiệt độ được xác định bởi thể tích một khối thủy ngân nhất định.

Để chia độ một nhiệt kế thủy ngân người ta nhúng nó vào hơi nước đang sôi ở áp suất 1,033 at (bằng áp suất khí quyển ở điều kiện bình thường) và ghi mức thủy ngân là 100. Sau đó nhúng vào nước đá đang tan (cũng ở áp suất 1,033 at) và ghi mức thủy ngân là 0. Đem chia đoạn trên thành 100 phần đều nhau, mỗi độ chia tương ứng với một độ. Như vậy ta có thang nhiệt độ gọi là thang nhiệt độ bách phân (hay thang Cenciut, trong thang này nhiệt độ ký hiệu là $^\circ C$).

Ngoài thang bách phân, còn dùng thang nhiệt độ tuyệt đối (còn gọi là thang nhiệt độ Kelvin) mỗi độ chia của thang tuyệt đối bằng một độ chia của thang bách phân, nhưng độ không của thang tuyệt đối ứng với $-273,16^{\circ}\text{C}$ của thang bách phân. Trong thang này nhiệt độ đo là Kelvin, ký hiệu là K.

Gọi: T là nhiệt độ trong thang tuyệt đối.

t là nhiệt độ trong thang bách phân.

Ta có công thức:

$$T = t + 273,16$$

Trong các tính toán đơn giản ta thường lấy:

$$T = t + 273$$

8.2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

8.2.1. Nội năng của một hệ nhiệt động công và nhiệt

8.2.1.1. Hệ nhiệt động

Mọi tập hợp các vật được xác định hoàn toàn bởi một số các thông số vĩ mô, độc lập với nhau được gọi là hệ số vĩ mô hay hệ nhiệt động. Vấn đề hơn gọi là hệ.

Tất cả các vật còn lại, ngoài hệ là ngoại vật đối với hệ hay môi trường xung quanh của hệ.

Hệ gồm hệ cô lập và không cô lập. Hệ không cô lập là hệ có tương tác với môi trường bên ngoài. Trong những sự tương tác này sẽ có sự trao đổi công và nhiệt. Nếu hệ và môi trường không trao đổi nhiệt thì hệ cô lập đối với ngoại vật về phương diện nhiệt. Trong trường hợp đó ta nói rằng giữa hệ và ngoại vật có một vỏ cách nhiệt. Nếu hệ và ngoại vật trao đổi nhiệt nhưng không sinh công thì hệ là cô lập về phương diện cơ học.

Hệ gọi là cô lập nếu nó hoàn toàn không tương tác và trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài.

8.2.1.2. Nội năng

Ta đã biết vật chất luôn luôn vận động và năng lượng của một hệ là một đại lượng xác định mức độ vận động của vật chất ở trạng thái đó. Ở mỗi trạng thái, hệ có các dạng vận động xác định và do đó có một năng lượng xác định. Khi trạng thái của hệ thay đổi thì năng lượng của hệ thay đổi. Năng lượng là một hàm trạng thái.

Năng lượng của hệ gồm động năng ứng với chuyển động có hướng (chuyển động cơ) của cả hệ, thế năng của hệ trong trường lực và phần năng lượng ứng với vận động bên trong hệ tức là nội năng của hệ:

$$W = W_d + W_t + U \quad (8.1)$$

Tuỳ theo tính chất của chuyển động và tương tác các phân tử cấu tạo nên vật, ta có thể chia nội năng thành các phần sau đây:

- Động năng chuyển động hỗn loạn của các phân tử (tịnh tiến và quay).
- Thế năng gây bởi các lực tương tác phân tử.
- Động năng và thế năng chuyển động dao động của các nguyên tử trong phân tử...

Trong nhiệt động học, ta giả thiết rằng chuyển động có hướng của hệ không đáng kể và hệ không đặt trong trường nào, do đó năng lượng của hệ đúng bằng nội năng của hệ. Nội năng U của hệ là một hàm của trạng thái. Trong nhiệt động học điều quan trọng không phải tính nội năng U , mà là độ biến thiên ΔU của nó khi biến đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác. Do đó, việc chọn gốc tính nội năng không quan trọng. Thông thường, người ta giả thiết rằng nội năng của hệ bằng không ở nhiệt độ không tuyệt đối ($T = 0K$).

8.2.1.3. Công và nhiệt – sự phụ thuộc của công và nhiệt vào quá trình biến đổi trạng thái

a) Công và nhiệt

Công và nhiệt là hai khái niệm quan trọng trong nhiệt động học.

Thực nghiệm chứng tỏ rằng khi các hệ khác nhau tương tác với nhau thì chúng trao đổi với nhau một năng lượng nào đó. Có hai dạng truyền năng lượng:

- Một là dạng truyền năng lượng làm tăng mức độ chuyển động có trật tự của vật. Trong nhiệt động học cũng như trong cơ học người ta gọi dạng truyền năng lượng này là công.

Ví dụ: Khí dẫn nở trong xylanh làm pittông chuyển động. Như vậy khí đã truyền năng lượng cho pittông dưới dạng công.

- Hai là năng lượng được trao đổi trực tiếp giữa các phân tử chuyển động hỗn loạn của những vật tương tác với nhau. Khi hệ được trao đổi năng lượng, do mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ làm nội năng của hệ tăng lên hay giảm đi. Trong nhiệt động học người ta gọi dạng truyền năng lượng đó là nhiệt.

Ví dụ: Cho vật lạnh tiếp xúc vật nóng, các phân tử chuyển động nhanh của vật nóng va chạm với các phân tử của vật lạnh chuyển động chậm hơn và truyền cho chúng một phần động năng của mình. Do đó nội năng của vật lạnh tăng lên, nội năng của vật nóng giảm đi. Quá trình tăng và giảm này sẽ dừng lại khi nào nhiệt độ của hai vật bằng nhau.

Tóm lại: Công và nhiệt đều là những đại lượng đo mức độ trao đổi năng lượng giữa các hệ. Sự khác nhau sâu sắc giữa công và nhiệt ở chỗ công liên quan đến chuyển động có trật tự, còn nhiệt liên quan tới chuyển động hỗn loạn của các

phân tử của hệ. Nhưng chúng có một mối liên hệ chặt chẽ với nhau và có thể chuyển hoá lẫn nhau: Công có thể biến thành nhiệt, nhiệt có thể biến thành công. Ví dụ truyền nhiệt cho vật, vật nóng lên, nội năng của vật tăng lên, đồng thời vật dãn nở, nghĩa là một phần nhiệt đã biến thành công.

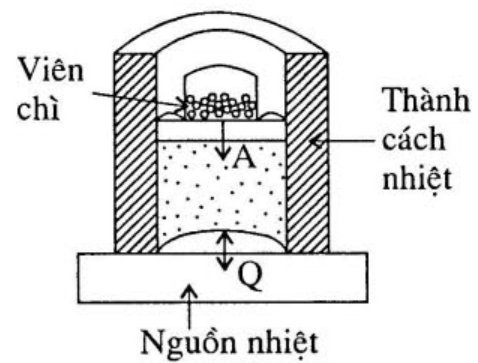
Cần chú ý rằng công và nhiệt không phải là một dạng năng lượng, chúng chỉ xuất hiện trong quá trình biến đổi trạng thái của hệ. Công và nhiệt không phải là những hàm trạng thái mà là hàm của quá trình.

b) Sự phụ thuộc của công và nhiệt vào quá trình biến đổi trạng thái

Phần này sẽ xem xét sự trao đổi công và nhiệt giữa hệ và môi trường, xét xem công và nhiệt phụ thuộc vào quá trình biến đổi trạng thái như thế nào.

Xét hệ là một khối khí chứa trong xylanh được ngăn bởi một pittông di chuyển được. Áp suất của khí trong xylanh được giữ ở một giá trị nào đó nhờ các viên chì đặt trên pittông:

Thành của xylanh được làm bằng chất cách nhiệt. Đáy của xylanh hở và được tiếp xúc với nguồn nhiệt có nhiệt độ T điều chỉnh được. Ở đây, nguồn nhiệt ta hiểu là một hệ nào đó rất lớn để nó luôn luôn giữ ở một nhiệt độ không đổi khi tiếp xúc với các vật khác.



Hình 8.1. Xylanh chứa khí với pittông dịch chuyển được

Giả thiết ở trạng thái 1 ban đầu, khí có áp suất p_1 , thể tích V_1 , nhiệt độ T_1 . Ở trạng thái cuối 2 khí có áp suất p_2 , thể tích V_2 , nhiệt độ T_2 . Quá trình hệ thay đổi từ trạng thái đầu 1 sang trạng thái cuối 2 được gọi là quá trình nhiệt động.

Trong quá trình này nhiệt có thể truyền từ nguồn nhiệt vào hệ hoặc ngược lại từ hệ ra nguồn nhiệt và công của hệ (khí) có thể tác dụng làm cho pittông dịch chuyển lên hay xuống. Ta quy ước: Nếu pittông đi lên (khí sinh công) thì công của hệ có giá trị dương. Nếu pittông đi xuống (khí nhận công) thì công của hệ có giá trị âm. Ngoài ra, giả thiết rằng, quá trình dịch chuyển pittông trong xylanh xảy ra vô cùng chậm sao cho tại mỗi thời điểm có thể coi áp suất của khí có một giá trị xác định, hay có thể nói, tại mỗi thời điểm hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt động. Vì vậy ta có thể biểu diễn quá trình này trên giản đồ (p, V) . Đó là đồ thị áp suất P phụ thuộc vào thể tích V .

Giả thiết rằng có một số viên chì được lấy bớt khỏi pittông. Lúc này khí sẽ đẩy pittông dịch chuyển lên phía trên một đoạn ds , lực \vec{F} sẽ có hướng lên trên. Vì ds là nhỏ do đó có thể giả thiết lực F là hằng số trong quá trình dịch chuyển.

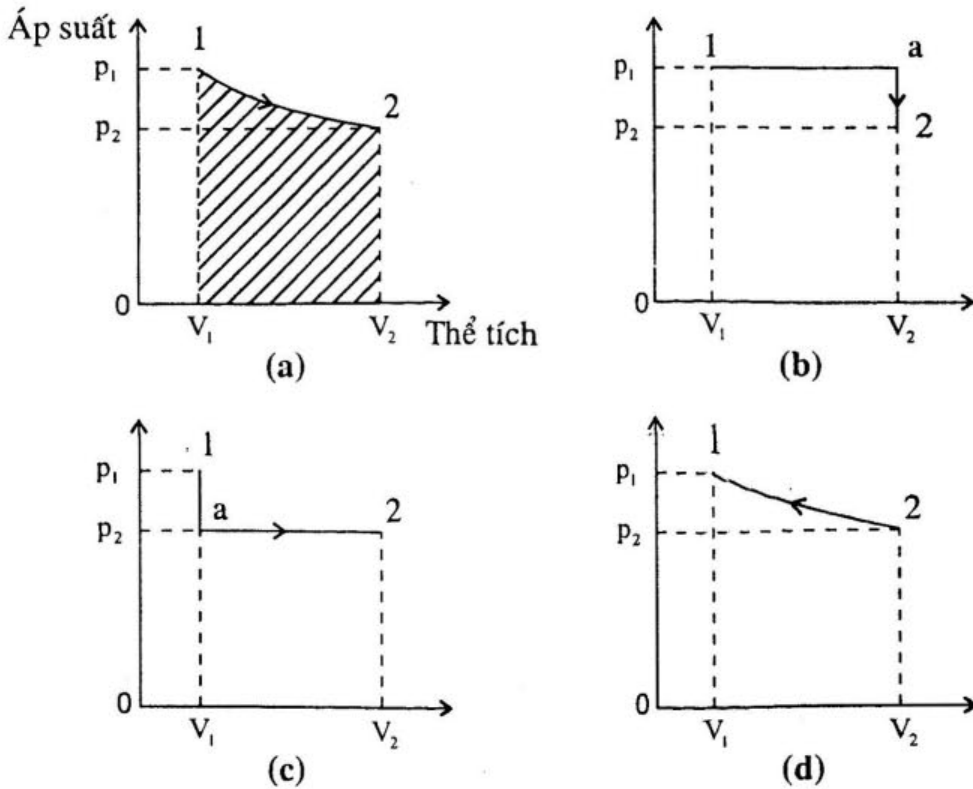
Nếu thiết diện của pittông là S thì lực F sẽ bằng $p.S$, trong đó p là áp suất của khí tác dụng lên pittông. Công nguyên tố dA do khí sinh ra trong quá trình pittông dịch chuyển là:

$$dA = F.ds = (p.S).ds = p.(S.ds) = p.dV$$

Trong đó dV là biến thiên thể tích của khí do pittông dịch chuyển. Nếu giả thiết số viên chì được bỏ ra khá đủ sao cho thể tích của khí thay đổi V_1 đến V_2 thì công toàn bộ do khối khí sinh ra là:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} dA = \int_{V_1}^{V_2} p.dV \tag{8.2}$$

Để tính được tích phân (8.2) ta phải biết sự thay đổi của áp suất, khi thể tích thay đổi trong một quá trình cụ thể nào đó từ trạng thái đầu 1 đến trạng thái 2. Có nhiều cách thay đổi áp suất p để đưa hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2. Trên hình (8.2) biểu diễn một số cách khác nhau để đưa hệ từ trạng thái 1 đến trạng thái 2.



Hình 8.2. Giản đồ (p, V) biểu diễn các cách khác nhau để đưa hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2

Tích phân (8.2) (công do khí thực hiện) chính là diện tích bao bởi đường cong trên giản đồ $(p - V)$. Ví dụ hình (8.2a) là diện tích bao bởi $12V_2V_1$. Công này có giá trị dương vì thể tích khí tăng ($dV > 0$). Ngược lại, công thực hiện ở quá trình trên đồ thị (d) có giá trị âm ($dV < 0$): quá trình nén khí.

Ta hãy xét sự phụ thuộc của công và nhiệt vào quá trình trên đồ thị (8.2b) và (8.2c).

– Đồ thị (8.2b) biểu diễn quá trình 1a2 gồm hai quá trình: đẳng áp 1a và đẳng tích a2. Quá trình đẳng áp 1a có thể thực hiện bằng cách giữ nguyên trọng lượng pittông và cho xylanh nhận được nhiệt từ nguồn nhiệt, nhiệt độ khí tăng từ T_1 đến T_a và pittông dịch chuyển lên trên làm tăng thể tích từ V_1 đến V_2 . Kết quả là trong quá trình này khí nhận nhiệt lượng Q_1 từ nguồn nhiệt ($Q_1 > 0$) và sinh công A ($A > 0$) có diện tích bằng $1a2V_2V_1$. Quá trình đẳng tích a2 được thực hiện bằng cách cho xylanh tiếp xúc với nguồn nhiệt có nhiệt độ T_2 thấp hơn T_1 . Vị trí pittông giữ nguyên. Trong quá trình này hệ truyền nhiệt Q_2 cho nguồn nhiệt ($Q_2 < 0$), kết quả là quá trình 1a2 hệ sinh công và nhận nhiệt.

$$Q = Q_1 - Q_2$$

– Quá trình 1a2 trên đồ thị (7.2c) cũng được tạo nên từ hai quá trình đẳng tích và đẳng áp nhưng bằng con đường khác hẳn. Rõ ràng công mà hệ sinh ra trong quá trình này cũng như nhiệt lượng hệ nhận đều nhỏ hơn quá trình trên.

Tóm lại: có nhiều cách khác nhau để đưa hệ từ trạng thái này sang trạng thái khác. Công và nhiệt hệ trao đổi trong quá trình sẽ phụ thuộc vào cách đưa hệ từ trạng thái đầu đến trạng thái cuối. Hay có thể nói công và nhiệt là hàm của quá trình.

8.2.2. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học

8.2.2.1. Phát biểu

Nguyên lý thứ nhất là một trường hợp riêng của định luật bảo toàn và biến đổi năng lượng vận dụng vào các quá trình vĩ mô (quá trình nhiệt động học).

Độ biến thiên năng lượng toàn phần ΔW của hệ trong một quá trình biến đổi vĩ mô có giá trị bằng tổng công A và nhiệt Q mà hệ nhận được trong quá trình đó.

$$\Delta W = Q - A \quad (8.3)$$

$$\Delta U = Q - A \quad (8.4)$$

Nghĩa là: Trong một quá trình biến đổi, độ biến thiên nội năng của hệ có giá trị bằng tổng công và nhiệt mà hệ trao đổi trong quá trình đó.

Các đại lượng ΔU , A , Q có thể dương hay âm.

Nếu $A < 0$, $Q > 0$ thì $\Delta U > 0$ có nghĩa là hệ nhận công và nhận nhiệt, nội năng của hệ tăng.

Nếu $A > 0$, $Q < 0$ thì $\Delta U < 0$ có nghĩa hệ sinh công và toả nhiệt, nội năng của hệ giảm.

Nguyên lý I cũng chính là định luật bảo toàn năng lượng.

8.2.2.2. Hệ quả

Một vài trường hợp riêng của nguyên lý thứ nhất

a) Quá trình đoạn nhiệt

Quá trình đoạn nhiệt là quá trình không có sự trao đổi nhiệt giữa hệ và môi trường. Ta nói hệ có vỏ cách nhiệt. Trong quá trình này $Q = 0$ theo biểu thức (8.4) của nguyên lý I:

$$\Delta U = -A \quad (8.5)$$

Công thức (8.5) cho ta thấy nếu hệ sinh công ($A > 0$) thì nội năng của hệ giảm và ngược lại.

Trong thực tế, quá trình đoạn nhiệt có thể được thực hiện nếu ta cho quá trình xảy ra rất nhanh sao cho trong thời gian đó nhiệt chưa kịp truyền ra bên ngoài. Quá trình nén khí trong bơm xe đạp chính là quá trình nén đoạn nhiệt. Khí nhận công từ bên ngoài làm tăng nội năng do đó nóng lên (ma sát trong bơm không đáng kể). Quá trình nén và giãn khí do sóng âm truyền qua cũng chính là quá trình nén, giãn đoạn nhiệt.

b) Quá trình đẳng tích

Nếu thể tích của hệ (ví dụ khí) được giữ không đổi thì nó không sinh công. Đặt $A = 0$ vào biểu thức (8.4) của nguyên lý I ta có:

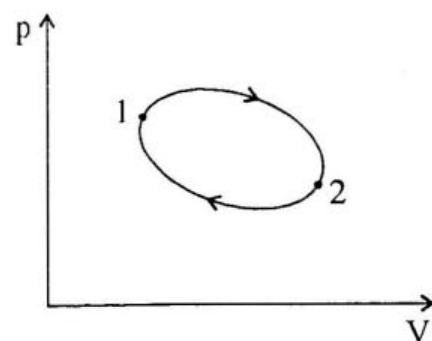
$$\Delta U = Q \quad (8.6)$$

Do đó trong quá trình hệ nhận nhiệt ($Q > 0$) thì nội năng tăng ($\Delta U > 0$) và ngược lại nếu hệ tỏa nhiệt ($Q < 0$) thì nội năng giảm ($\Delta U < 0$).

c) Chu trình

Là quá trình sau khi hệ trao đổi công và nhiệt hệ lại quay trở về trạng thái ban đầu.

Chu trình được biểu diễn trên giản đồ ($p - V$) bằng một đường cong khép kín (hình 8.3). Nếu chu trình được biểu diễn theo chiều kim đồng hồ như hình (8.3) ta gọi là chu trình thuận. Ngược lại, nếu chu trình được thực hiện ngược chiều kim đồng hồ thì đó là chu trình nghịch, chu trình diễn biến theo cả theo hai chiều được gọi là chu trình thuận nghịch.



Hình 8.3. Chu trình

Khi thực hiện chu trình, nội năng của hệ không đổi $\Delta U = 0$. Theo nguyên lý I:

$$Q = A \quad (8.7)$$

Biểu thức (8.7) có nghĩa là:

- Nếu hệ sinh công ($A > 0$) thì phải nhận nhiệt ($Q > 0$).
- Nếu hệ nhận công ($A < 0$) thì hệ toả nhiệt ($Q < 0$). Về giá trị: $|A| = |Q|$.

Như vậy theo nguyên lý I, động cơ (hoạt động theo chu trình) muốn sinh công thì phải nhận nhiệt từ bên ngoài. Không thể có động cơ không nhận nhiệt mà vẫn sinh công hoặc sinh công lớn hơn nhiệt nhận được. Những động cơ có tính chất trên được gọi là động cơ vĩnh cửu loại I.

Nguyên lý I khẳng định không thể chế tạo động cơ vĩnh cửu loại I. Đó chính là ý nghĩa của nguyên lý I nhiệt động học.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Nêu được khái niệm công và nhiệt. Nêu sự phụ thuộc công và nhiệt vào quá trình biến đổi trạng thái.
2. Phân biệt nhiệt độ và nhiệt lượng.
3. Phát biểu nguyên lý thứ nhất nhiệt động học và nêu ý nghĩa của nguyên lý này.
4. Hãy lấy ví dụ trường hợp không có sự trao đổi nhiệt với bên ngoài mà nhiệt độ của vật lại thay đổi.
5. Tại sao tay bạn bị dính vào khay đá khi lấy từ tủ lạnh ra?
6. Bạn có thể tăng nhiệt độ sôi của nước lên trên 100°C hay không (không phải trường hợp tăng áp suất trên mặt thoáng)?
7. Bạn thử lấy vài ví dụ tăng nhiệt độ của hệ mà không cần cấp nhiệt từ bên ngoài.
8. Bạn thử lấy vài ví dụ giảm nhiệt độ hệ mà không lấy nhiệt của hệ đi.
9. Phải chăng nhiệt lượng cũng giống nội năng? Hãy cho một ví dụ trong đó nội năng của hệ thay đổi mà không có nhiệt lượng truyền qua biên giới hệ.
10. Bạn thử nghĩ vài cách đo nhiệt độ. Chú ý sự khác nhau giữa nhiệt độ và nhiệt lượng.
11. Tại sao một chiếc lò vi sóng (viba) lại không có nhiệt kế đo nhiệt độ của lò. Bạn chú ý đừng để công suất quá cao kéo cháy bánh mì.
12. Để giảm cân, người ta khuyên bạn cứ dùng nước đá hàng ngày để lấy bớt cal (năng lượng) của bạn, có được không?
13. Tại sao khói thuốc từ điều thuốc bay lên (hay ống khói) lúc đầu bay thẳng được một khoảng sau đó chuyển động cuộn xoáy?
14. Chỗ dòng sông rộng nước chảy thành đường đến chỗ hẹp (cống, cầu) lại cuộn xoáy?
15. Tại sao bão hay làm tốc mái nhà lên cao mà không rơi thẳng xuống đất?

BÀI TẬP MẪU VÀ BÀI TẬP TỰ GIẢI

I. Bài tập mẫu

- 1 kg nước ở 100°C chuyển thành hơi ở 100°C dưới áp suất chuẩn 1atm. Thể tích thay đổi từ 10^{-3}m^3 chất lỏng thành $1,67\text{m}^3$ hơi nước. Biết nhiệt hoá hơi của nước là $L = 2256\text{kJ/kg}$.
 - a) Tính công hệ (hơi – nước) thực hiện trong quá trình đó.
 - b) Tính lượng nhiệt hệ nhận trong quá trình đó.
 - c) Nội năng của hệ thay đổi như thế nào trong quá trình hoá hơi.

Giải:

- a) Vì áp suất được giữ không đổi 1atm trong suốt quá trình sôi. Dùng công thức tính công:

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

Ta đưa p ra ngoài dấu tích phân:

$$A = p \cdot \int_{V_1}^{V_2} dV = p \cdot (V_2 - V_1)$$

Thay số: $A = 1,01 \cdot 10^5 (1,67 - 1 \cdot 10^{-3})$
 $A = 1,69 \cdot 10^5 \text{ J} = 169 \text{ kJ}$.

Nhận xét: Công A có giá trị dương. Điều đó chứng tỏ hệ sinh công ra môi trường.

- b) Nhiệt chuyển pha: $Q = L \cdot m$
 $L = 2256\text{kJ/kg}$

Do đó: $Q = 2256 \cdot 1 = 2256\text{kJ}$

Nhận xét: Q có giá trị dương. Điều đó chứng tỏ hệ nhận nhiệt.

- c) Theo biểu thức nguyên lý I.

$$\Delta U = Q - A = 2256 - 169 = 2087\text{kJ}$$

2. Hệ nhận công 200 J và toả ra nhiệt lượng 70,0 cal. Từ biểu thức và nguyên lý I, hãy tính các giá trị (kể cả dấu đại số) của công A, nhiệt lượng Q và nội năng ΔU .

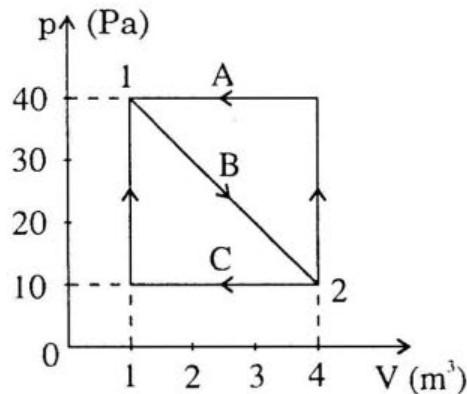
Hệ nhận công $200 \text{ J} \rightarrow A = -200\text{J}$

Hệ toả nhiệt lượng: $Q = -293\text{J}$

Độ biến thiên nội năng: $\Delta U = Q - A = -93\text{J}$

II. Bài tập tự giải

1. Giả thiết khối khí giãn nở từ thể tích $1,0\text{m}^3$ đến thể tích $4,0\text{m}^3$ và áp suất 40Pa đến 10Pa theo quá trình B như hình vẽ.



Sau đó khối khí bị nén đến thể tích ban đầu theo các quá trình A và C. Hãy tính:

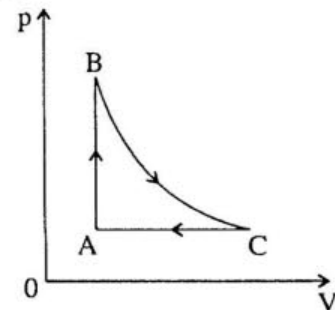
- Công trong mỗi quá trình A, B, C.
- Biến thiên nhiệt, công trong mỗi chu trình (1B2C1) và (1B2A1)

Đáp số: a) -120J ; 75J ; -30J .

b) $+45\text{J}$; -45J .

2. Khi thực hiện chu trình như hình vẽ.

Tính nhiệt lượng khí trao đổi trong quá trình CA, biết rằng trong quá trình AB hệ nhận nhiệt lượng $Q_{AB} = 20\text{J}$, trong quá trình BC hệ không trao đổi nhiệt và công hệ thực hiện toàn bộ chu trình là $15,0\text{J}$.



Đáp số: $Q = -5\text{J}$.

3. Cho rằng cứ 200J công thực hiện trên một hệ và 70cal nhiệt lượng thoát ra khỏi hệ. Theo nguyên lý I của nhiệt động học, những giá trị sau đây là bao nhiêu (tính cả dấu đại số).

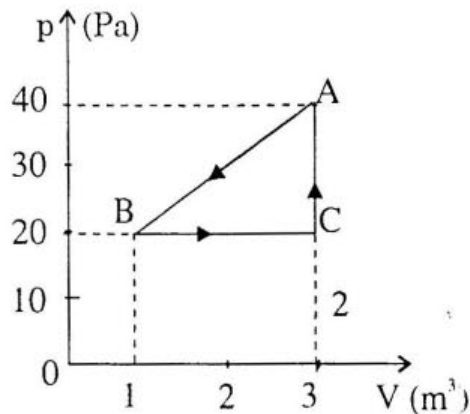
- Công A.
- Nhiệt lượng Q.
- Biến thiên nội năng ΔU .

Đáp số: a) -200J b) -293J c) -93J .

(Chú ý: + Xem quy đổi cal và Jun phụ lục 8)

+ Công thực hiện trên hệ hay hệ thực hiện công?)

4. Hệ nhiệt động từ trạng thái đầu A sang trạng thái B rồi trở lại A biểu diễn bằng giản đồ $p - V$.



- a) Xét dấu của Q , A , ΔU trong các quá trình: A đến B, B đến C, C đến A.
b) Công mà hệ thực hiện theo chu trình ABCA.

Đáp số: b) 20J.

5. Một phích cách nhiệt chứa 139cm^3 cà phê ở 80°C . Bạn bỏ vào trong đó 12g nước đá ở nhiệt độ tan để làm lạnh cà phê. Cà phê sẽ lạnh đi bao nhiêu độ khi nước đá tan hết (coi tỷ nhiệt cà phê như nước nguyên chất).

Đáp số: $13,5^\circ\text{C}$.

6. Một người pha một lượng trà đá bằng cách trộn lẫn 500g trà nóng (chủ yếu là nước) với một khối lượng bằng nó nước đá đang tan. Hỏi nhiệt độ và khối lượng của đá còn lại là bao nhiêu khi trà và nước đá đạt tới cùng một nhiệt độ. Nếu nhiệt độ ban đầu của trà là: 90°C và 70°C .

Đáp số: $5,3^\circ\text{C}$ không dư nước đá; 0°C còn 60g nước đá.

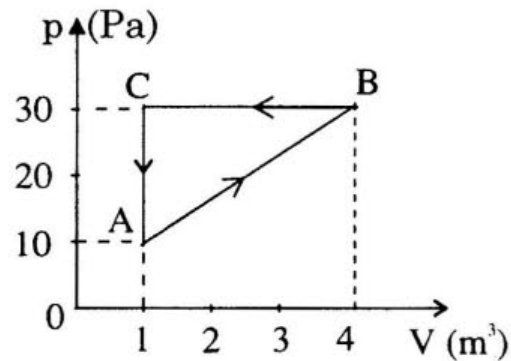
7. Một que đun điện dùng đun sôi 100g nước cho một tách cà phê tan. Que điện ghi 200W có nghĩa nó biến năng lượng điện thành nhiệt ở tốc độ này. Tính thời gian cần thiết đun lượng nước trên từ 23°C tới điểm sôi, bỏ qua sự mất mát nhiệt.

Đáp số: 160s.

8. Một lực sỹ cần giảm trọng lượng và quyết định làm điều đó bằng cách “nâng sắt”.
a) Hỏi cần bao nhiêu lần nâng một vật nặng 80,0kg lên độ cao 1,00m để đốt cháy một pound mỡ (453,6g), giả thiết khi đốt lượng mỡ đó thì được 3500cal.
b) Nếu 2,00 giây vật nặng được nâng một lần, muốn làm điều đó thì cần bao nhiêu thời gian.

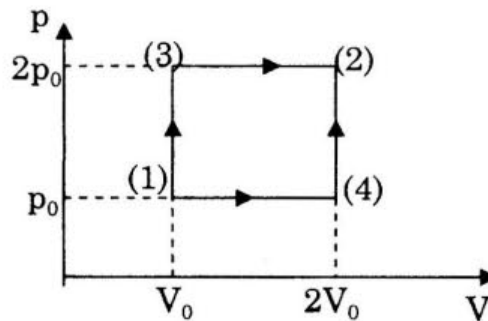
Đáp số: a) 18700 lần; b) 10,4 giờ.

9. Chất khí trong buồng chứa chịu một chu trình được trình bày trên giản đồ $p - V$. Tính nhiệt lượng toàn phần cần cung cấp cho hệ.



Đáp số: 60J.

10. Chất khí lý tưởng đơn nguyên tử chuyển từ trạng thái 1 sang 2 bằng hai quá trình (1) \rightarrow (3) \rightarrow (2) và (1) \rightarrow (4) \rightarrow (2).



Hãy tìm tỷ số nhiệt lượng cần truyền cho khí trong hai quá trình trên.

Đáp số: 13/11.

Chương 9

THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ

MỤC TIÊU

- Thiết lập được phương trình cơ bản về động lực của chất khí.
- Áp dụng được nguyên lý I nhiệt động lực học cho chất khí lý tưởng.
- Nắm được nội dung các định luật phân bố của chất khí.

9.1. THUYẾT ĐỘNG HỌC CHẤT KHÍ VÀ KHÍ LÝ TƯỞNG

Hiện tượng nhiệt là hiện tượng liên quan chặt chẽ đến chuyển động hỗn loạn của các phân tử tạo nên vật chất. Khi nghiên cứu vật chất được cấu tạo từ một số rất lớn các phân tử ta không thể áp dụng phương pháp động lực học như trong phần cơ học được. Vì vậy để nghiên cứu các hiện tượng nhiệt người ta phải dùng một phương pháp khác. Đó là phương pháp vật lý thống kê. Phương pháp này không xét chuyển động của từng phân tử riêng rẽ mà xét chuyển động chung của cả tập hợp phân tử và do đó các đại lượng vật lý phải lấy giá trị trung bình đối với tất cả các phân tử.

Trước tiên, ta xét cấu tạo vật chất từ các phân tử, đó là thuyết động học phân tử.

9.1.1. Nội dung thuyết động học phân tử

- Các chất có cấu tạo gián đoạn và gồm một số rất lớn các phân tử.
- Các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng. Khi chuyển động chúng va chạm vào nhau và truyền năng lượng cho nhau.
- Cường độ chuyển động của các phân tử liên quan chặt chẽ đến nhiệt độ. Chuyển động phân tử càng mạnh thì nhiệt độ càng cao. Nhiệt độ tuyệt đối tỷ lệ với động năng trung bình của phân tử.

9.1.2. Lượng chất và mol

Mol là lượng chất của $6,023 \cdot 10^{23}$ phân tử, số $6,023 \cdot 10^{23}$ phân tử /mol được gọi là số Avogadro. Ký hiệu là N_A .

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Chú ý rằng mọi chất khí ở cùng nhiệt độ, áp suất và thể tích đều chứa cùng một số phân tử.

Nếu ký hiệu N là số phân tử chứa trong một vật thì số mol n sẽ là:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

Nếu ký hiệu $m(g)$, số mol chất khí đó là n và số phân tử $\frac{m}{\mu} N_A$.

$$n = \frac{m}{\mu}$$

với μ là phân tử gam, N_A là số Avogadro.

9.1.3. Khí lý tưởng – Các định luật thực nghiệm

Để biểu diễn trạng thái vật chất như ta đã biết cần ba thông số chính đó là áp suất, thể tích và nhiệt độ. Các định luật thực nghiệm về chất khí nêu lên mối liên hệ giữa hai thông số trong ba thông số trên. Cụ thể, người ta xét các quá trình biến đổi trạng thái của một khối lượng khí trong đó một thông số được giữ không đổi, đó là các quá trình:

- Đẳng nhiệt: nhiệt độ không đổi.
- Đẳng áp: áp suất không đổi.
- Đẳng tích: thể tích không đổi.

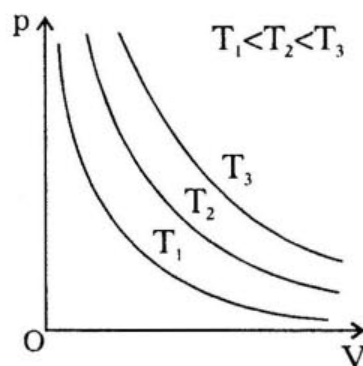
a) Định luật Boyle – Mariotte

Boyle (1669) và Mariotte (1676) nghiên cứu quá trình đẳng nhiệt của chất khí, đã tìm ra định luật sau đây:

Trong quá trình đẳng nhiệt của một khối khí, thể tích tỷ lệ nghịch với áp suất, hay nói cách khác: tích số của thể tích và áp suất của khối khí là một hằng số:

$$p.V = \text{hằng số} \quad (9.1)$$

Nếu dùng hệ trục tọa độ OpV thì với một nhiệt độ không đổi, liên hệ giữa áp suất và thể tích của một khối lượng khí nhất định được biểu diễn bằng một hypecbol vuông. Đường hypecbol đó gọi là đường đẳng nhiệt. Ứng với các nhiệt độ khác nhau ta được các đường khác nhau. Nhiệt độ càng cao các đường đẳng nhiệt càng xa gốc (hình 9.1)



Hình 9.1. Họ đường đẳng nhiệt

b) Định luật Gay – Lussac

Năm 1800, nghiên cứu các quá trình đẳng tích, đẳng áp của các chất khí Gay – Lussac đã tìm ra những định luật sau đây:

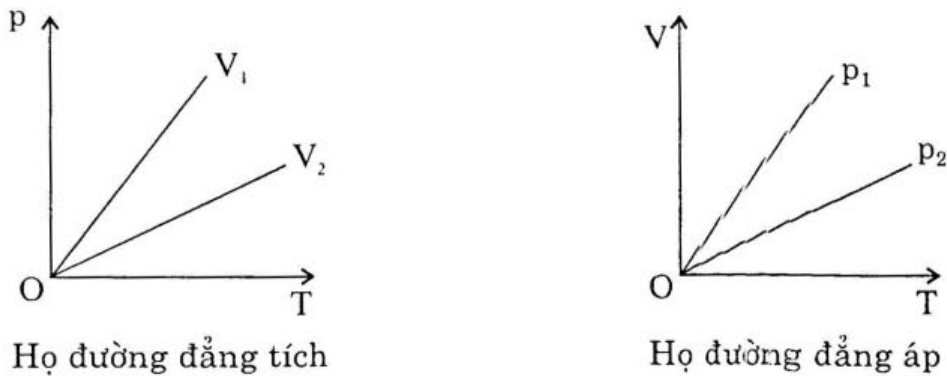
– Trong quá trình đẳng tích của một khối khí, áp suất tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (9.2)$$

– Trong quá trình đẳng áp của một khối khí, thể tích tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad (9.3)$$

Trên đồ thị dùng tọa độ OpT và OVT , đường biểu diễn là những đường thẳng qua gốc O .



Hình 9.2

Các phương trình (9.2) và (9.3) có thể viết dưới dạng:

$$\frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \quad (V = \text{const})$$

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \quad (p = \text{const})$$

Trong đó T_0 là một nhiệt độ xác định, còn p_0 và V_0 là áp suất và thể tích khối khí ở nhiệt độ T_0 .

Thông thường ta chọn: $T_0 = 273\text{K} = \frac{1}{\alpha}$. Khi đó:

$$p = p_0 \cdot \alpha \cdot T \quad (V = \text{const}) \quad (9.4)$$

$$V = V_0 \cdot \alpha \cdot T \quad (p = \text{const}) \quad (9.5)$$

Trong đó: α gọi là hệ số dẫn nở nhiệt của chất khí:

$$\alpha = \frac{1}{273} \quad 1/\text{K}$$

c) Giới hạn ứng dụng của các định luật thực nghiệm

Các định luật Boyle – Mariotte, Gay – Lussac chỉ là các định luật gần đúng.

Nếu áp suất chất khí quá lớn và nhiệt độ quá thấp, tích số $p \cdot V$ và các hệ số α hơi khác nhau chút ít, chúng thay đổi chút ít tùy theo chất khí và tùy theo nhiệt độ.

Chúng ta gọi khí lý tưởng là chất khí hoàn toàn tuân theo ba định luật nói trên.

Nhiều chất khí ở áp suất và nhiệt độ trong phòng có thể coi là khí lý tưởng.

9.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

9.2.1. Thành lập phương trình trạng thái

Xét một khối lượng khí $m(g)$ chuyển từ trạng thái I mà các thông số là p_1, V_1, T_1 sang trạng thái II có thông số là p_2, V_2, T_2 qua trạng thái trung gian có các thông số p_2, V_1', T_1 (hình 9.3).

Theo (9.1) trong quá trình đẳng nhiệt I sang I'. Ta có:

$$p_2 \cdot V_1' = p_1 \cdot V_1$$

$$\text{Do đó: } V_1' = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_2}$$

Theo (9.2) trong quá trình đẳng áp từ I' sang II. Ta có:

$$\frac{V_1'}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\text{Do đó: } V_1' = \frac{V_2 \cdot T_1}{T_2}$$

Thay V_1' vào ta có:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{p_2} = \frac{T_1 \cdot V_2}{T_2}$$

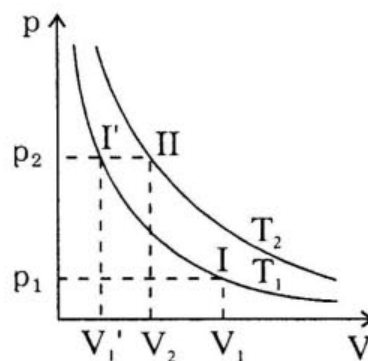
$$\text{Do đó: } \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Vậy tỷ số: $\frac{p \cdot V}{T}$ ở mọi trạng thái đều bằng nhau và ta viết:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const} = B \quad (9.5)$$

Ta thấy trị số B phụ thuộc đơn vị đo của p, V, T ; phụ thuộc khối lượng khí m và bản chất chất khí ta xét.

Theo định luật Avogadro ở áp suất $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$ nhiệt độ $T_0 = 273,16 \text{K}$ thể tích của kilomol của mọi chất khí đều bằng $V_{0\mu} = 22,410 \text{m}^3$. Vậy công thức (9.5) viết cho 1 kilomol thể tích V_0 , ta có:



Hình 9.3. Thành lập phương trình trạng thái của khí lý tưởng

$$p \cdot V_0 = R \cdot T \quad (9.6)$$

Trong đó R là hằng số khí đúng với mọi chất khí.

Trong điều kiện cùng áp suất và nhiệt độ, thể tích chất khí tỷ lệ với khối lượng khí. Do đó, nếu gọi V là thể tích ứng với khối lượng m (kg), V_0 là thể tích ứng với khối lượng $\mu \text{kg} = 1 \text{kmol}$ thì ta có:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{m}{\mu} \Rightarrow V_0 = \frac{V\mu}{m}$$

Thay vào phương trình (9.6) ta được phương trình trạng thái của khí lý tưởng:

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T = n \cdot R \cdot T \quad (9.7)$$

9.2.2. Giá trị của hằng số khí R

Khi nhiệt độ và áp suất khí ở điều kiện $T_0 = 273,16\text{K}$; $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$. Vậy ở trạng thái tiêu chuẩn này ta có:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = R = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3}}{273,16} = 8,31 \text{J/mol.K}$$

9.2.3. Khối lượng riêng của khí lý tưởng

Khối lượng riêng được định nghĩa:

$$\rho = \frac{m}{V} : \text{tức là khối lượng của một đơn vị thể tích}$$

Thay vào phương trình trạng thái ta có:

$$\rho = \frac{\mu \cdot P}{R \cdot T} \quad (9.8)$$

9.3. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ KHÍ

9.3.1. Thiết lập phương trình

Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử khí là hệ thức giữa áp suất khí và động năng trung bình của các phân tử.

Xét một bình chứa khí lý tưởng mật độ n_0 . Trên thành bình một diện tích ΔS đủ nhỏ để có thể coi nó là phẳng.

Gọi $n_{01}, n_{02} \dots$ là mật độ phân tử khí có các vận tốc khác nhau là $\vec{v}_1, \vec{v}_2 \dots$

Như vậy:

$$n_0 = n_{01} + n_{02} + \dots = \sum_{i=1}^n n_{0i}$$

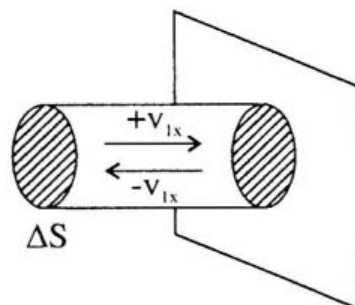
Tính áp suất của khối khí, áp suất này là do lực tác dụng của các phân tử tác dụng lên thành bình khi chúng chuyển động đến va chạm vào thành bình.

Trước hết, tính động lượng mà các phân tử truyền cho diện tích ΔS trong một đơn vị thời gian.

Trong một đơn vị thời gian các phân tử khí có vận tốc \vec{v} nằm trong hình trụ có đáy là ΔS , chiều cao là v_{1x} , đều có khả năng đập vào diện tích ΔS , số phân tử đó bằng:

$$n = n_{01} \cdot \Delta S \cdot v_{1x}$$

Do chuyển động hỗn loạn không ưu tiên phương nào nên chỉ có 1/2 số phân tử đó va chạm lên ΔS , còn 1/2 phân tử chuyển động theo chiều ngược lại.



Hình 9.4. Tính số phân tử khí đập lên diện tích ΔS

Độ biến thiên động lượng của một phân tử khí lên thành bình:

$$-m \cdot v_{1x} - m \cdot v_{1x} = -2m \cdot v_{1x}$$

Đây là động lượng của thành bình tác dụng lên phân tử khí, theo định luật III Newton, độ biến thiên động lượng của phân tử khí lên ΔS : $+2m \cdot v_{1x}$.

Độ biến thiên động lượng do n phân tử khí có vận tốc v_1 tác dụng lên diện tích ΔS :

$$\Delta K_1 = \frac{1}{2} \cdot n_{01} \cdot \Delta S \cdot v_{1x} \cdot 2m \cdot v_{1x}$$

$$\Delta K_1 = n_{01} \cdot m \cdot v_{1x}^2 \cdot \Delta S$$

Do đó, động lượng tổng cộng của n phân tử khí tác dụng lên ΔS theo phương Ox:

$$\Delta K = \Delta K_1 + \Delta K_2 + \dots$$

$$\Delta K = n_{01} \cdot m \cdot v_{1x}^2 \cdot \Delta S + n_{02} \cdot m \cdot v_{2x}^2 \cdot \Delta S + \dots$$

Gọi $\overline{v_x^2}$ là trung bình của bình phương các vận tốc theo phương Ox. Ta có:

$$\overline{v_x^2} = \frac{n_{01} \cdot v_{1x}^2 + n_{02} \cdot v_{2x}^2 + \dots}{n_0}$$

Theo định lý về động lượng:

$$F \cdot \Delta t = \Delta(m \cdot v)$$

Khi $\Delta t = 1s$, suy ra $F = \Delta(m \cdot v)$.

Theo định nghĩa về áp suất:

$$p = \frac{F}{\Delta S} = n_0 \cdot m \cdot \overline{v_x^2}$$

Do tính chuyển động hỗn loạn của các phân tử, không có phương nào ưu tiên, do đó:

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}) = \frac{1}{3} \cdot \overline{v^2}$$

Trong đó:

$$\overline{v^2} = \frac{n_{01} \cdot v_1^2 + n_{02} \cdot v_2^2 + \dots}{n_0}$$

Thay giá trị $\overline{v^2}$ vào công thức tính p ta có:

$$p = \frac{1}{3} n_0 \cdot m \cdot \overline{v^2} = \frac{2}{3} n_0 \cdot \overline{W_d} \quad (9.9)$$

Trong đó: $\overline{W_d}$ là động năng tịnh tiến trung bình của phân tử:

$$\overline{W_d} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \overline{v^2}$$

Ta phát biểu phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử như sau: *Áp suất chất khí tỷ lệ với mật độ phân tử và tỷ lệ với động năng tịnh tiến trung bình của các phân tử.*

9.3.2. Hệ quả

9.3.2.1. Tính động năng tịnh tiến trung bình

$$p = \frac{2}{3} \cdot n_0 \cdot \overline{W_d} = \frac{RT}{V_0}$$

$$\overline{W_d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{n_0 \cdot V_0} \cdot T = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{N_A} \cdot T$$

Đặt:

$$k = \frac{R}{N_A} : \text{hằng số Boltzman; } k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K.}$$

Ta có:

$$\overline{W_d} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \quad (9.10)$$

9.3.2.2. Vận tốc toàn phương trung bình

$$v_{\text{tp}} = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (9.11)$$

9.3.2.3. Mật độ phân tử

$$n_0 = \frac{P}{kT} \quad (9.12)$$

9.3.2.4. Định luật Dalton

Giả sử trong bình chứa một hỗn hợp khí với mật độ phân tử của từng chất là:

$$n_{01}, n_{02}, \dots, n_{0n}$$

Nhiệt độ khối khí là T, khi đó động năng tịnh tiến trung bình là bằng nhau:

$$W_d = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

Gọi n_0 là mật độ phân tử khí của hỗn hợp. Ta có:

$$n_0 = n_{01} + n_{02} + \dots$$

$$\frac{2}{3} \cdot n_0 \overline{W_d} = \frac{2}{3} \cdot n_{01} W_{d_1} + \frac{2}{3} \cdot n_{02} W_{d_2} = \dots$$

$$p = p_1 + p_2 + \dots \quad (9.13)$$

p: áp suất của hỗn hợp khí.

p_1 : áp suất của chất khí thứ nhất.

p_2 : áp suất của chất khí thứ hai.

Phát biểu định luật: *Áp suất của một hỗn hợp khí bằng tổng các áp suất riêng phần của các chất khí thành phần.*

9.4. ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ THEO VẬN TỐC

Các phân tử chuyển động hỗn loạn với các vận tốc khác nhau, song sự phân bố vận tốc của các phân tử vẫn tuân theo một quy luật nhất định.

Năm 1852 nhà vật lý học người Ecốt tên là Maxwell lần đầu tiên tìm ra sự phân bố theo vận tốc của các phân tử khí. Dạng của hàm phân bố $f(v)$ là:

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{\mu}{2\pi \cdot R \cdot T} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{\mu \cdot v^2}{2RT}} \quad (9.14)$$

Trong đó: v là vận tốc của phân tử.

T là nhiệt độ tuyệt đối của khối khí.

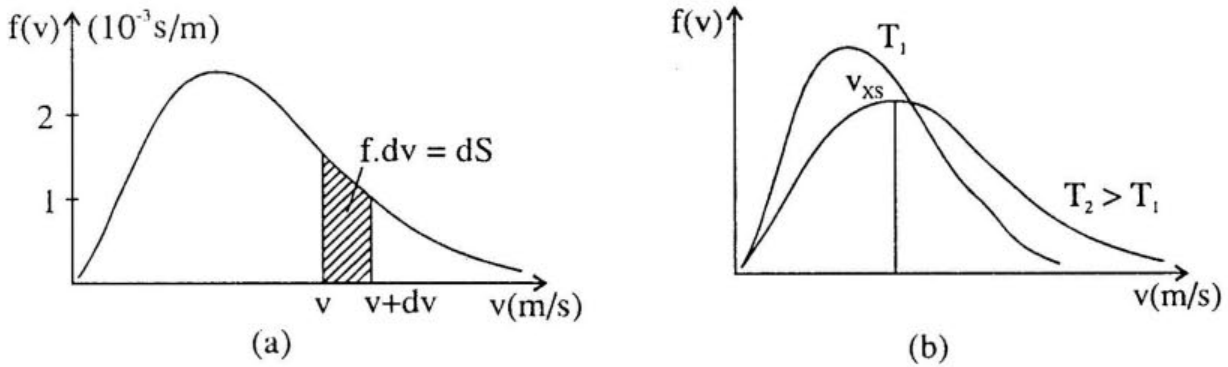
μ là khối lượng 1 mol khí.

R là hằng số khí.

Ý nghĩa của hàm phân bố khí Maxwell $f(v)$ là tích phân $f(v) \cdot dv$ bằng số phân

tử có vận tốc nằm trong khoảng v và $v + dv$ chia cho toàn bộ số phân tử. Hình 9.5 biểu thị dạng của hàm $f(v)$. Ta thấy dạng của hàm $f(v)$ không cân đối có một cực đại lệch về bên trái. Khi $v = 0$ hoặc $v \rightarrow \infty$ thì hàm $f(v)$ tiến tới 0. Điều đó có nghĩa là không có phân tử có vận tốc bằng không hoặc lớn vô cùng.

Ta cũng có thể dựa vào đồ thị để xác định số phân tử có vận tốc trong khoảng dv trên toàn bộ số phân tử. Giá trị đó đúng bằng diện tích gạch sọc trên hình vẽ.



Phân bố ở một nhiệt độ

Phân bố ở hai nhiệt độ

Hình 9.5. Phân bố Maxwell

Nếu gọi số phân tử có vận tốc nằm trong khoảng v và $v + dv$ là dn , tổng số phân tử là n thì:

$$\frac{dn}{n} = f(v).dv = dS$$

Từ đó ta có thể tính diện tích hình bao bởi đường cong $f(v)$. Diện tích bao bởi đường cong luôn bằng 1. Điều này hiển nhiên vì $\int f(v).dv$ có nghĩa là số phân tử có vận tốc từ $0 \rightarrow \infty$ (chính là toàn bộ số phân tử) chia cho toàn bộ số phân tử. Tỷ số này phải bằng 1. Ta có:

$$S = \int_0^{\infty} dS = \frac{\int_0^n dn}{n} = \frac{n}{n} = 1$$

Theo công thức (9.14) ta thấy sự phân bố phân tử theo vận tốc phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi nhiệt độ tăng lên (hình 9.5b) đỉnh đường cong dịch về bên phải. Điều đó chứng tỏ số phân tử có vận tốc lớn tăng lên.

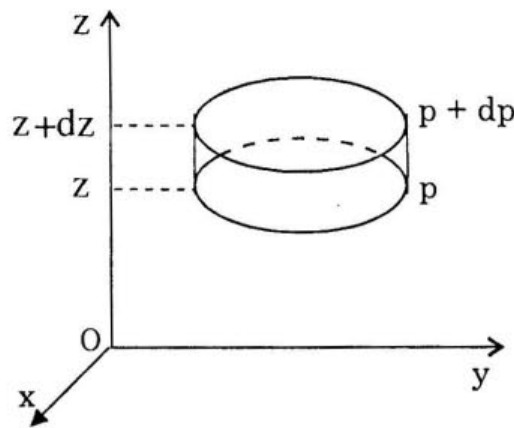
Trên hình 9.5b có đỉnh ứng với vận tốc v_{XS} là vận tốc ứng với điểm cực đại của đường cong tức là có nhiều phân tử có vận tốc này. Do đó v_{XS} được gọi là vận tốc có xác suất cực đại.

9.5. ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ BOLTZMAN

Ta xét khí lý tưởng đặt trong trường lực ví dụ trong trọng trường. Vì trường hợp này có ngoại lực tác dụng lên phân tử khí, nên áp suất sẽ không đồng đều mà thay đổi từ điểm này đến điểm khác.

Nếu đặt chất khí trong một trường lực thì ở trạng thái cân bằng, mật độ phân tử sẽ thay đổi theo vị trí. Định luật phân bố Boltzman cho phép tính sự thay đổi mật độ phân tử n theo thế năng W_t khi đặt chất khí lý tưởng trong một trường lực thế.

Để đơn giản ta xét trường hợp lực trường có phương chiều không đổi là trục Oz (hình 9.6) có phương chiều trùng phương chiều của lực trường.



Hình 9.6. Chứng minh định luật phân bố Boltzman

Xét hình trụ có diện tích S_1 và S_2 có trị số bằng một đơn vị diện tích đặt vuông góc với trục Oz và cách nhau dz . Áp suất ở đáy dưới (có độ cao z) là p , áp suất ở đáy trên (có độ cao $z + dz$) là $p + dp$. Để hình trụ đó cân bằng thì hiệu số áp lực giữa hai đáy phải bằng tổng hợp lực tác dụng lên các phân tử.

Hiệu áp lực tác dụng vào khối khí hình trụ là

$(p + dp).S - p.S = dp.S$. Khi S bằng một đơn vị diện tích thì hiệu áp lực là dp .

Tổng hợp lực tác dụng lên các phân tử khí trong khối khí: $F_0.n.dz.S$

F_0 là lực tác dụng lên một phân tử khí, n là mật độ phân tử khí.

Công đưa một phân tử khí từ độ cao z đến độ cao $z + dz$, làm cho thế năng của khí thay đổi, vậy ta có.

$$F_0 = -\frac{dW_t}{dz}$$

Ở trạng thái cân bằng ta có $dp.S = -F_0.n.dz.S$. Từ phương trình 9.12 và ở điều kiện nhiệt độ không đổi:

$p = n.k.T$. Lấy vi phân hai vế: $dp = k.T.dn$

$$k.T.dn = -n.dW_t$$

$$\frac{dn}{n} = -\frac{dW_t}{k.T}$$

Lấy tích phân hai vế với cận lấy tích phân:

Khi $z = 0$ mật độ khí n_0 , thế năng W_t bằng không.

Khi ở độ cao $z = z$ mật độ khí n , thế năng W_t .

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = -\frac{1}{k.T} \int_0^{W_t} dW_t$$

$$n = n_0(0).e^{-\frac{W_t}{k.T}} \quad (9.15)$$

Vì áp suất khí tỷ lệ với mật độ các phân tử khí, nên ta suy ra công thức áp suất:

$$p = p_0.e^{-\frac{W_t}{k.T}} \quad (9.16)$$

Biểu thức trên cũng là công thức khí áp:

$$p = p_0.e^{-\frac{m.g.z}{k.T}} \quad (9.17)$$

Như vậy khi lên cao (z tăng) thì áp suất khí giảm, đồng thời khi lên cao nhiệt độ giảm (T giảm) cho nên áp suất khí giảm mạnh hơn.

9.6. DÙNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT ĐỂ KHẢO SÁT CÁC QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

9.6.1. Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

9.6.1.1. Định nghĩa

Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái không biến đổi theo thời gian và tính bất biến đó không phụ thuộc vào các quá trình của ngoại vật.

Quá trình cân bằng là một quá trình biến đổi gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng.

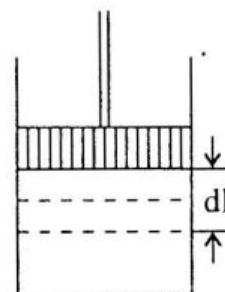
9.6.1.2. Ví dụ

Trạng thái và quá trình cân bằng theo định nghĩa trên chỉ là lý tưởng, không có trong thực tế. Tuy nhiên nếu quá trình thực hiện chậm, để có đủ thời gian thiết lập lại sự cân bằng mới thì quá trình đó được coi là quá trình cân bằng.

Ví dụ khảo sát quá trình nén khí trong xylanh. Khi pittông đứng yên, khí ở trạng thái cân bằng với môi trường xung quanh. Áp suất, nhiệt độ và mật độ khí ở mọi nơi trong khối khí là như nhau. Khi pittông chuyển động xuống dưới do

tác dụng của ngoại lực, áp suất của khối khí ở những điểm khác nhau sẽ khác nhau, trạng thái đó sẽ là trạng thái không cân bằng, các thông số luôn biến đổi, do đó không thể biểu diễn các trạng thái, các quá trình không cân bằng trên đồ thị được.

Tuy nhiên nếu nén khí rất chậm thì sự chênh lệch giữa các áp suất, nhiệt độ và mật độ ở các phần khác nhau của khối khí có thể bỏ qua. Khi đó, mỗi trạng thái của hệ và quá trình biến đổi của hệ có thể coi là cân bằng.



Hình 9.7. Khí nén trong xylanh chịu nén

9.6.2. Nhiệt lượng

Nếu để một cốc nước nóng ở trong phòng, ta thấy cốc nước sẽ nguội dần cho đến nhiệt độ phòng và ngược lại.

Trong ngôn ngữ vật lý, người ta thường gọi cốc nước là hệ (có nhiệt độ T_h) và gian phòng là môi trường của hệ (có nhiệt độ T_m).

Trong thực tế nếu T_h khác T_m thì T_h sẽ thay đổi cho đến khi bằng T_m .

Sự thay đổi nhiệt độ đó là do sự truyền một dạng năng lượng giữa hệ và môi trường. Năng lượng này chính là nội năng của hệ.

Vậy nhiệt lượng là năng lượng được truyền giữa hệ và môi trường khi nhiệt độ của chúng khác nhau.

9.6.3. Nhiệt lượng khi chuyển trạng thái

9.6.3.1. Nhiệt dung

Nhiệt dung C_1 của một vật, ví dụ cốc thuỷ tinh... là hệ số tỷ lệ giữa nhiệt lượng và sự thay đổi nhiệt độ của vật do lượng nhiệt đó gây ra.

$$Q = C_1 \cdot (T_2 - T_1) \quad (9.18)$$

Trong đó T_1 và T_2 là nhiệt độ đầu và cuối của vật.

9.6.3.2. Nhiệt dung riêng

Từ (9.18) ta có thể định nghĩa nhiệt dung riêng:

Nhiệt dung riêng C_r của một chất là một đại lượng vật lý về trị số bằng nhiệt lượng cần thiết truyền cho một đơn vị khối lượng để nhiệt độ của nó tăng thêm 1° .

$$Q = m \cdot C_r \cdot (T_2 - T_1) \quad (9.19)$$

Trong đó: m là khối lượng của vật.

Đơn vị: cal/g. $^\circ$ C hay J/kg.K.

9.6.3.3. Nhiệt dung phân tử (nhiệt dung mol)

Nhiệt dung mol là nhiệt lượng cần truyền cho 1mol chất ấy để nó tăng thêm 1° .

$$Q = C_{\mu} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot (T_2 - T_1) \quad (9.20)$$

Trong đó: C_{μ} : nhiệt dung phân tử gam.

m : khối lượng của vật.

μ : khối lượng mol.

Từ các công thức (9.19) và (9.20) suy ra:

$$C_{\mu} = \mu \cdot C_r \quad (9.21)$$

9.6.3.4. Nhiệt dung mol đẳng áp và nhiệt dung mol đẳng tích

Nhiệt dung mol đẳng áp: Giữ áp suất không đổi trong quá trình gia nhiệt. Ký hiệu C_p .

Nhiệt dung mol đẳng tích: Giữ thể tích không đổi trong quá trình gia nhiệt. Ký hiệu C_v .

Nhiệt dung riêng mol đẳng áp và nhiệt dung mol đẳng tích có sự liên hệ với nhau.

9.6.3.5. Nhiệt chuyển trạng thái

Khi hấp thụ nhiệt, không phải lúc nào nhiệt độ của chất lỏng và chất rắn cũng tăng. Ví dụ nước đã sôi thì đun bao nhiêu đi nữa nhiệt độ sôi của nước không tăng được. Đó là trường hợp khi vật chuyển từ trạng thái (hay pha) này sang trạng thái (hay pha) khác.

Nhiệt lượng cần cung cấp cho một đơn vị khối lượng của một chất ở nhiệt độ chuyển pha để nó chuyển pha hoàn toàn được gọi là nhiệt chuyển pha L :

$$Q = L \cdot m$$

Đối với quá trình chuyển pha từ pha lỏng sang khí hoặc từ khí sang lỏng nhiệt chuyển pha L được gọi là nhiệt hoá hơi và ký hiệu là r .

Đối với quá trình chuyển pha từ pha rắn sang lỏng hoặc từ lỏng sang rắn, nhiệt chuyển pha L được gọi là nhiệt nóng chảy và ký hiệu là λ .

Trên bảng (9.1) là nhiệt chuyển pha của một số chất:

Bảng 9.1. Nhiệt chuyển pha của một số chất

Tên chất	Sự nóng chảy		Sự sôi	
	Điểm nóng chảy (K)	Nhiệt nóng chảy (kJ/kg)	Điểm sôi (K)	Nhiệt hoá hơi (kJ/kg)
Hydro	14,0	38,0	20,3	455
Oxy	54,8	13,9	90,2	213
Thuỷ ngân	234	11,4	630	296
Nước	273	333	373	2256
Chì	601	23,2	2017	858
Bạc	1235	105	2323	2336

Bảng 9.2. Nhiệt dung riêng của một số chất ở nhiệt độ phòng

Tên chất	Nhiệt dung riêng		Nhiệt dung mol
	cal/g.K	J/kg.K	
Chì (nguyên chất)	0,0305	128	26,5
Bạc (nguyên chất)	0,0564	236	25,5
Đồng thau	0,092	380	
Thuỷ tinh	0,2	840	
Thuỷ ngân	0,033	140	
Rượu Etylic	0,58	2430	
Nước	1,00	4190	

9.6.4. Nhiệt dung của khí lý tưởng

9.6.4.1. Nội năng của khí lý tưởng

Nội năng của khí lý tưởng chỉ bao gồm tổng động năng của chuyển động tịnh tiến của các phân tử. Động năng tịnh tiến của một phân tử bằng:

$$\overline{W_d} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

Giả sử khối khí chứa n mol. Số phân tử có trong khối khí là $n \cdot N_A$. Nội năng của cả khối khí:

$$U = n \cdot N_A \cdot \overline{W_d} = n \cdot N_A \cdot \frac{3}{2} \cdot k \cdot T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T \quad (9.22)$$

Như vậy với một lượng khí cho trước nội năng chỉ phụ thuộc nhiệt độ. Biết U ta có thể tìm được nhiệt dung phân tử.

9.6.4.2. Nhiệt dung mol đẳng tích

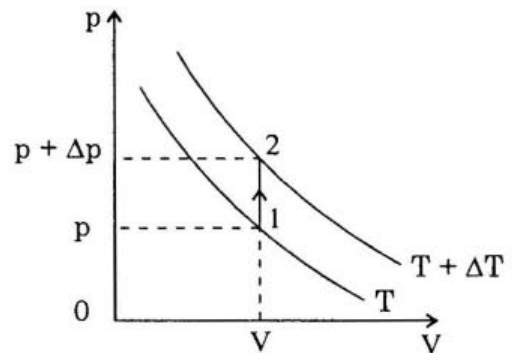
Ta xét n mol khí lý tưởng đơn nguyên tử áp suất p , nhiệt độ T chứa trong xylanh có thể tích cố định V . Trạng thái ban đầu 1 và trạng thái cuối 2 được biểu thị trên hình 9.8.

Giả thiết cho rằng một lượng nhiệt nhỏ Q được truyền từ nguồn nhiệt cho khí bằng quá trình truyền nhiệt chậm. Nhiệt độ khí tăng lên $T + \Delta T$ và áp suất cũng tăng lên $p + \Delta p$.

Theo định nghĩa của nhiệt dung mol đẳng tích C_V ta có:

$$Q = n \cdot C_V \cdot \Delta T$$

Thay Q từ biểu thức nguyên lý I, ta có:



Hình 9.8

$$\Delta U + A = n.C_v.\Delta T$$

Giữ cho thể tích V không đổi nên $A = 0$. Do đó, ta có:

$$C_v = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta U}{\Delta T}$$

Từ phương trình (8.22), ta lấy số gia hai vế:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n.R.\Delta T = n.C_v.\Delta T$$

Với $C_v = \frac{3}{2} \cdot R = 12,465 \text{ J/mol.K} \approx 12,5 \text{ J/mol.K}$ (9.23)

* Chú ý: Công thức (9.23) chỉ đúng cho khí đơn nguyên tử và những khí đa nguyên tử ở nhiệt độ thấp.

Công thức tổng quát của nội năng khí lý tưởng:

$$U = n.C_v.T$$
 (9.24)

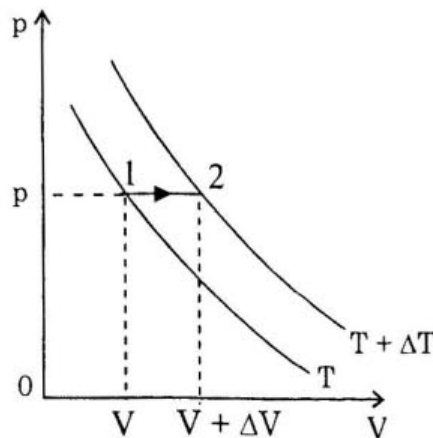
Khi nhiệt độ thay đổi một lượng ΔT thì biến thiên nội năng sẽ là:

$$\Delta U = n.C_v.\Delta T$$
 (9.25)

9.6.4.3. Nhiệt dung mol đẳng áp

Giả sử hệ nhận nhiệt dưới áp suất không đổi và nhiệt độ tăng từ T lên $T + \Delta T$ theo hình 9.9. Theo định nghĩa của nhiệt dung mol đẳng áp thì:

$$Q = n.C_p.\Delta T$$
 (9.26)



Hình 9.9

Đối với quá trình đẳng áp thì chất khí bị giãn nở thực hiện công lên các vật bên ngoài. Do đó, để nâng nhiệt độ của chất khí lên 1 độ thì trong trường hợp này cần đến nhiệt lớn hơn khi đốt nóng ở thể tích không đổi. Do đó nhiệt dung ở áp suất không đổi phải lớn hơn nhiệt dung ở thể tích không đổi.

Theo nguyên lý I: $Q = A + \Delta U$. Ta có $U = n.C_v.T \Rightarrow \Delta U = n.C_v.\Delta T$

Mà $A = p.\Delta V$. Từ phương trình trạng thái:

$$\begin{aligned} p.V &= n.R.T \Rightarrow p.dV = n.R.dT \Rightarrow p.\Delta V = n.R.\Delta T \\ &\Rightarrow n.C_p.\Delta T = n.R.\Delta T + n.C_v.\Delta T \\ &\Rightarrow C_p - C_v = R \end{aligned} \quad (9.27)$$

Biểu thức trên trùng với thực nghiệm không chỉ đúng với khí lý tưởng đơn nguyên tử mà tổng quát cho bất kỳ loại khí lý tưởng nào.

Từ công thức (9.27) ta thấy: $C_p > C_v$. Điều này có nghĩa: đối với quá trình đẳng tích nội năng chỉ dùng làm tăng nhiệt độ, còn đối với quá trình đẳng áp, nội năng còn dùng để thực hiện công ra ngoài sao cho áp suất khí không đổi.

9.6.5. Công của khí lý tưởng trong quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt

9.6.5.1. Công của quá trình đẳng nhiệt

Giả thiết n mol khí lý tưởng giãn nở từ thể tích V_1 đến thể tích V_2 , nhiệt độ không đổi. Tính công của khối khí thực hiện trong quá trình đẳng nhiệt này.

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

Mà $p.V = n.R.T$, do đó:

$$\begin{aligned} A &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{n.R.T}{V}.dV = n.R.T. \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} \\ A &= n.R.T. \ln \frac{V_2}{V_1} \end{aligned} \quad (9.28)$$

Đối với quá trình giãn khí $V_2 > V_1$ do đó: $\ln \frac{V_2}{V_1} > 0$ và công $A > 0$.

Vậy khí sinh công trong quá trình giãn đẳng nhiệt. Ngược lại đối với quá trình nén đẳng nhiệt, khí nhận công.

9.6.5.2. Công sinh ra trong quá trình đoạn nhiệt ($Q = 0$)

Ta đã biết âm thanh truyền trong không khí là một dãy liên tiếp sự nén, giãn khí xảy ra rất nhanh, tới mức không đủ thời gian để nhiệt truyền từ vùng này sang vùng khác.

Bạn mở một chai vang (sâm banh), đó là quá trình đoạn nhiệt. Bạn chớ có lắc mạnh, hơ nóng trước khi mở kẻo hỏng việc. Thuyết động học sẽ nói về những quá trình này như sau:

Theo biểu thức của nguyên lý I:

$$dU = dQ - dA$$

Vì quá trình đoạn nhiệt $dQ = 0$ do đó:

$$dU = -dA$$

Mặt khác ta có: $dU = n.C_v.dT$, nên :

$$dA = -n.C_v.dT$$

Công A sinh ra trên hệ:

$$A = - \int_{T_1}^{T_2} n.C_v.dT = n.C_v.(T_1 - T_2) \quad (9.29)$$

Trong quá trình đoạn nhiệt, ta còn tìm được mối liên hệ giữa các thông số trạng thái như áp suất (p), thể tích (V), nhiệt độ (T). Khi thể tích tăng lên, cả áp suất và nhiệt độ đều giảm.

- Xét sự phụ thuộc giữa thể tích và áp suất:

Với quá trình đoạn nhiệt $dQ = 0$, từ nguyên lý I:

$$dU = -dA = -p.dV.$$

Đối với khí lý tưởng, coi thế năng tương tác bằng không, chỉ còn động năng, vậy biến thiên nội năng $dU = n C_v.dT$

Từ phương trình trạng thái của khí lý tưởng:

$$pV = n.R.T$$

Đạo hàm hai vế:

$$p.dV + V.dp = n.R.dT$$

Thay hằng số khí $R = C_p - C_v$ và cân bằng các phương trình ta có:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{C_p}{C_v} \cdot \frac{dV}{V}. \text{ Tích phân hai vế:}$$

$$\ln p + \frac{C_p}{C_v} \cdot \ln V = \text{const.}$$

$$\text{hay} \quad pV^\gamma = \text{const} \quad (9.30)$$

với $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ là tỷ số giữa nhiệt dung mol đẳng áp và đẳng tích, gọi là hệ số

Poisson.

- Xét sự phụ thuộc giữa thể tích và nhiệt độ:

Ta có phương trình: $p.dV = -n.C_v.dT$

Từ phương trình trạng thái $p.V = n.R.T$

Chia hai vế của phương trình trên, cho ta

$$\frac{dV}{V} = -\frac{C_v}{R} \cdot \frac{dT}{T}$$

Thay hệ số $\frac{C_v}{R} = \frac{1}{\gamma - 1}$, ta được $(\gamma - 1) \frac{dV}{V} = -\frac{dT}{T}$.

Lấy tích phân hai vế:

$$\int (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = - \int \frac{dT}{T} \Rightarrow \ln V^{\gamma - 1} = - \ln T + \text{const} \Rightarrow \ln V^{\gamma - 1} + \ln T = \text{const}$$

$$\Rightarrow TV^{\gamma - 1} = \text{const} \quad (9.31)$$

Với $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$, thì biểu thức (9.29) có thể viết dưới dạng khác:

$$A = \frac{n.R}{\gamma - 1} \cdot (T_1 - T_2) \quad (9.32)$$

9.7. SỰ PHÂN BỐ ĐỀU NĂNG LƯỢNG

9.7.1. Số bậc tự do

Số bậc tự do là số tọa độ cần thiết để xác định vị trí của hệ.

Ta xét số bậc tự do của một phân tử.

9.7.1.1. Phân tử đơn nguyên (ví dụ khí trơ Heli)

Được coi như một chất điểm, lúc đó phân tử chỉ chuyển động tịnh tiến. Muốn xác định vị trí của phân tử đơn nguyên tử ta chỉ cần xác định 3 tọa độ. Vậy phân tử đơn nguyên tử có 3 bậc tự do.

9.7.1.2. Phân tử hai nguyên tử (như N_2 , O_2 ...)

Được coi như một hệ gồm hai chất điểm cách nhau một đoạn cố định. Lúc đó ngoài chuyển động tịnh tiến phân tử còn chuyển động quay quanh các trục ab và ef, chuyển động quay quanh trục cd trùng trục của phân tử không cần xét đến. Như vậy phân tử gồm hai nguyên tử cần có 5 bậc tự do: 3 bậc xác định chuyển động tịnh tiến, 2 bậc xác định chuyển động quay.

9.7.1.3. Một phân tử đa nguyên tử: có từ ba nguyên tử trở lên có 6 bậc tự do.

9.7.2. Định luật phân bố đều năng lượng theo số bậc tự do

Động năng tịnh tiến trung bình:

$$\overline{W_d} = \frac{3}{2} k.T = \frac{1}{2} . m . \overline{V^2}$$

Động năng có thể phân tích thành ba thành phần theo ba trục tương ứng với ba bậc tự do:

$$\overline{W_d} = \frac{3}{2}.k.T = \frac{1}{2}.m.\overline{V^2} = \frac{1}{2}.m.\overline{V_x^2} + \frac{1}{2}.m.\overline{V_y^2} + \frac{1}{2}.m.\overline{V_z^2}$$

Các phân tử chuyển động nhiệt hỗn loạn:

$$\overline{V_x^2} = \overline{V_y^2} = \overline{V_z^2} = \frac{1}{3}.\overline{V^2}$$

Vậy:

$$\overline{W_d} = \frac{1}{2}.k.T \text{ sẽ ứng với một bậc tự do.}$$

Do đó:

$$\overline{W_d} = \frac{i}{2}.k.T \text{ sẽ ứng với } i \text{ bậc tự do.}$$

Định luật của Maxwell: Động năng trung bình của phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do và năng lượng ứng với một bậc tự do bằng $\frac{1}{2}.k.T$.

9.7.3. Biểu thức nội năng

Nội năng của một phân tử khí là:

$$\overline{W_d} = \frac{i}{2}.k.T$$

Do đó nội năng của một mol khí lý tưởng:

$$U = N_A.\overline{W_d} = N_A.\frac{i}{2}.k.T$$

Nhưng:

$$N_A.k = R \text{ nên:}$$

$$U = \frac{i}{2}.R.T$$

Số mol khí là n thì biểu thức nội năng của khối khí (n mol) là:

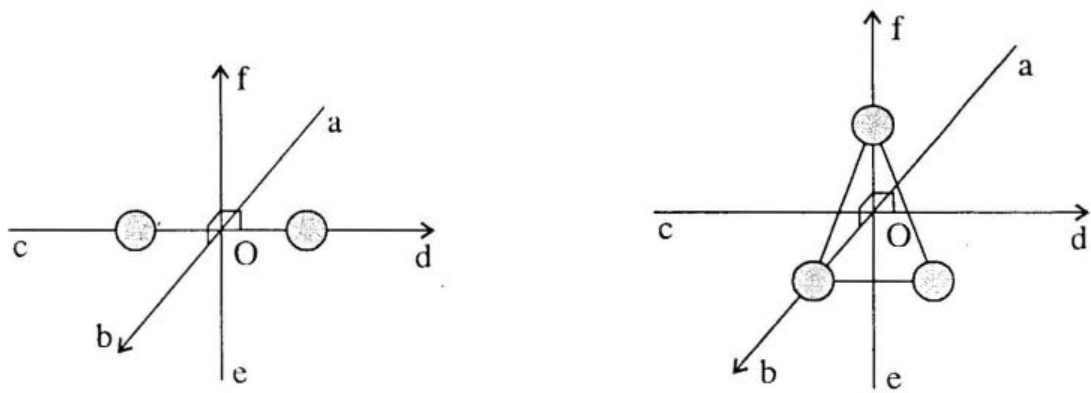
$$U = \frac{i}{2}.n.R.T \quad (9.31)$$

Như vậy, nội năng phụ thuộc vào nhiệt độ. Nếu nhiệt độ biến thiên một lượng ΔT , thì nội năng cũng biến thiên một lượng ΔU :

$$\Delta U = \frac{i}{2}.n.R.\Delta T \quad (9.32)$$

Từ công thức (9.25) và (9.31), suy ra nhiệt dung mol đẳng tích:

$$C_v = \frac{i}{2}.R = 4,16.i \text{ (J/mol.K)}$$



Hình 9.9. Về số bậc tự do

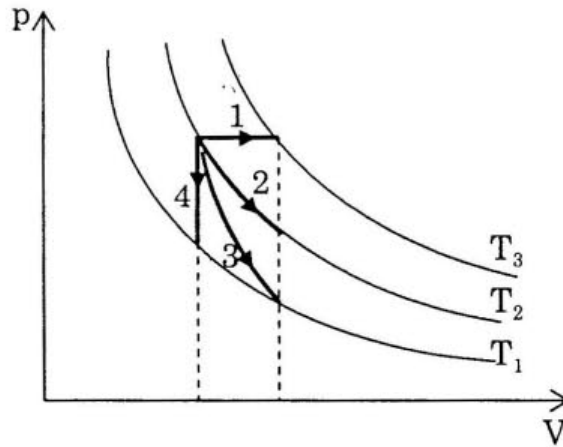
CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Thành lập phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử khí.
2. Nắm được các khái niệm về nhiệt dung.
3. Áp dụng nguyên lý I nhiệt động học vào các quá trình đẳng tích, đẳng áp, đẳng nhiệt, đoạn nhiệt.
4. Các định luật phân bố Maxwell, Boltzman.
5. Vận tốc trung bình của các phân tử khí một cách tổng thể phải bằng 0, vì nếu khác không thì các bình chứa khí có thể tự động dịch chuyển theo hướng vectơ tổng cộng đó. Nhưng vận tốc trung bình của các phân tử khí lại khác không. Giải thích?
6. Nội năng của một vật gồm tổng động năng và thế năng tương tác của các phân tử tạo lên vật. Ta có thể phân biệt như thế nào giữa nội năng của vật và nhiệt độ của nó.
7. Làm cách nào để giữ nhiệt độ của khí không đổi trong một quá trình nhiệt động.
8. Khái niệm về nhiệt độ có thể áp dụng cho môi trường chân không hay không?
9. Một lượng khí xác định của một chất khí lý tưởng bị nén để thể tích còn một nửa so với ban đầu theo các quá trình: đoạn nhiệt, đẳng nhiệt, đẳng áp. Quá trình nào cần công cơ học nhiều nhất?
10. Khí nóng bay lên cao, tại sao ở đỉnh núi thì lại lạnh hơn ở gần mặt biển?
11. Hơi nước không màu, vậy khi nhìn thấy hơi nước ở ấm đun nước lúc sôi, thực sự ta nhìn thấy gì?
12. Theo bạn liệu có một khí nào mà tất cả các phân tử có cùng tốc độ?

Nguyên lý I áp dụng cho khí lý tưởng

Xét các quá trình:

1. Đẳng áp
2. Đẳng nhiệt
3. Đoạn nhiệt
4. Đẳng tích



Bảng 9.3

Đường đi	Loại quá trình	Đại lượng là hằng số	Kết quả đặc biệt $\Delta U = Q - A, \Delta U = n.C_v.\Delta T.$
1	Đẳng áp	$p = \text{const}$	$Q = n.C_p. \Delta T$ $A = p. \Delta V$
2	Đẳng nhiệt	$T = \text{const}$	$Q = A = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$ $\Delta U = 0$
3	Đoạn nhiệt	$pV^\gamma = \text{const}$ $TV^{\gamma-1} = \text{const}$	$Q = 0$ $A = -\Delta U$
4	Đẳng tích	$V = \text{const}$	$Q = \Delta U = n. C_v. \Delta T$ $A = 0$

BÀI TẬP MẪU VÀ BÀI TẬP TỰ GIẢI

I. Bài tập mẫu

1. Một bình kín chứa 14 gam khí nitơ ở áp suất 1 at và nhiệt độ 27°C. Sau khi hơi nóng, áp suất khí trong bình lên tới 5 at. Hỏi:
 - a) Nhiệt độ của khí trong bình lên tới bao nhiêu?
 - b) Thể tích khí trong bình?
 - c) Độ tăng nội năng của khí trong bình? (tính ra cal).

Giải:

$$\text{Cho: } \begin{cases} V = \text{const.} \\ m = 14\text{g} = 14 \cdot 10^{-3}\text{kg.} \\ t_1 = 27^\circ\text{C} \rightarrow T_1 = 300\text{K.} \\ p_1 = 1\text{at} = 9,81 \cdot 10^4\text{N/m}^2. \\ p_2 = 5\text{at} = 5 \cdot 9,81 \cdot 10^4\text{N/m}^2. \end{cases} \quad \text{Tìm: } \begin{cases} T_2 = ? \\ V = ? \\ \Delta U = ? \end{cases}$$

a) Khi đựng trong bình kín nén, quá trình xảy ra là quá trình đẳng tích. Ta có:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = T_1 \cdot \frac{p_2}{p_1}$$

Thay số:

$$T_2 = 300 \cdot \frac{5}{1} = 1500^\circ\text{K} \\ \Rightarrow T_2 = 1500\text{K.}$$

b) Ta có:

$$p_1 \cdot V_1 = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T_1 \\ V = V_1 = \frac{m \cdot R \cdot T_1}{\mu \cdot p_1}$$

Trong đó:

$$R = 8,31 \cdot 10^3\text{J/kmol.K.} \\ \mu = 28\text{kg/kmol.}$$

Thay vào:

$$V = \frac{14 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 300}{28 \cdot 9,81 \cdot 10^4} = 12,72 \cdot 10^{-3}\text{m}^3$$

Hay:

$$V = 12,72\text{ lít}$$

c) Độ tăng nội năng của khí trong bình:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot C_v \cdot \Delta T = \frac{m}{\mu} \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) \\ \Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

Với nitơ

$$(\text{N}_2): i = 5 \\ R = 2 \cdot 10^3\text{cal/kmol.K.}$$

Vậy:

$$\Delta U = \frac{14 \cdot 10^{-3}}{28} \cdot \frac{5}{2} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot (1500 - 300) \\ \Delta U = 3000\text{cal.}$$

2. Có 10 gam oxy ở áp suất 3at và nhiệt độ 10°C. Người ta đốt nóng đẳng áp và cho dẫn nở đến thể tích 10 lít. $R = 2.10^3 \text{cal/kmol.K}$. Hỏi:
- Nhiệt lượng cung cấp cho khí?
 - Độ biến thiên nội năng của khí? (tính ra cal và J).
 - Công khí sinh ra khi dẫn nở? (tính ra J).

Giải:

$$\text{Cho: } \begin{cases} m = 10 \text{ g} = 10^{-2} \text{ kg.} \\ p = 3 \text{ at} = 3.9,81.10^4 \text{ N/m}^2 \\ t_1 = 10^\circ \text{C} \Rightarrow T_1 = 283 \text{ K} \\ V_2 = 10 \text{ lít} = 10^{-2} \text{ m}^3 \\ \mu = 32 \text{ kg/kmol} \end{cases} \quad \text{Tìm: } \begin{cases} Q = ? \\ \Delta U = ? \\ A = ? \end{cases}$$

a) Áp dụng công thức:

$$p.V_2 = \frac{m}{\mu}.R.T_2. \text{ Ta có:}$$

$$T_2 = \frac{p.V_2.\mu}{m.R} = \frac{3.9,81.10^4.32}{10^{-2}.8,31.10^3}$$

$$T_2 = 1133 \text{ K}$$

Nhiệt lượng cung cấp cho khí:

$$Q = \frac{m}{\mu}.C_p.(T_2 - T_1)$$

Trong đó: $R = 2.10^3 \text{cal/kmol.K}$

$$Q = \frac{10^{-2}}{32} \cdot \frac{7}{2} \cdot 8,31.10^3 \cdot (1133 - 283)$$

$$Q = 7725,7 \text{ J} \approx 1845 \text{ cal.}$$

b) Biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot \Delta T = \frac{10^{-2}}{32} \cdot \frac{5}{2} \cdot 2.10^3 \cdot (1130 - 283)$$

$$\Delta U = 1330 \text{ cal} = 5560 \text{ J.}$$

c) Theo nguyên lý thứ nhất:

$$\Delta U = Q - A$$

$$A = Q - \Delta U$$

Công khối khí sinh ra bằng:

$$A = Q - \Delta U$$

$$= 1845 - 1330 = 530 \text{ cal.}$$

3. Người ta dãn đoạn nhiệt một khối khí hai nguyên tử sao cho thể tích khối khí tăng gấp đôi. Tính nhiệt độ cuối cùng của quá trình dãn. Biết rằng nhiệt độ ban đầu là 0°C .

Giải:

Cho: quá trình đoạn nhiệt

$$V_2 = 2V_1$$

$$T_1 = 273\text{K}$$

$$\text{Tìm: } T_2 = ?$$

Theo phương trình đoạn nhiệt:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$\text{Hay } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

Do đó:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$

$$\text{Vì: } V_2 = 2 \cdot V_1 \text{ và } \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = \frac{5+2}{5} = 1,4$$

$$\text{Do đó: } T_2 = 273 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{0,4} = 207\text{K}$$

$$t_2 = -66^{\circ}\text{C}$$

II. Bài tập tự giải

1. Có 2m^3 khí dãn nở đẳng nhiệt từ áp suất 5at tới áp suất 4at . Tính công của khí sinh ra (tính ra Jun).

$$\text{Đáp số: } 2,19 \cdot 10^5\text{J}$$

2. Hỏi nhiệt lượng toả ra khi nén đẳng nhiệt 3 lít không khí (coi như khí lý tưởng) ở áp suất 1at đến thể tích $0,3$ lít.

$$\text{Đáp số: } -677\text{J}$$

3. Cho $7,5$ lít oxy nén đoạn nhiệt tới thể tích 1 lít. Lúc đó áp suất của khí nén là 16at . Hỏi áp suất ban đầu?

$$\text{Đáp số: } 9,35 \cdot 10^4\text{N/m}^2$$

4. Một khối khí hai nguyên tử trong xylanh của một động cơ đốt trong được nén đoạn nhiệt từ áp suất 1at đến áp suất 35at . Nhiệt độ ban đầu của khí là 40°C . Tính nhiệt độ của khối khí vào lúc cuối.

$$\text{Đáp số: } T_2 = 865\text{K}$$

5. Một kmol khí nitơ ở 0°C và áp suất 1at giãn đoạn nhiệt từ thể tích V_1 đến $V_2 = 5V_1$. Tính:

a) Công sinh ra khi khối khí giãn nở?

b) Biến thiên nội năng của khối khí?

Đáp số: a) $A = 2700\text{J}$

b) $\Delta U = -2700\text{J}$

6. Nén 10g oxy ở 0°C và áp suất 1,033at đến thể tích 1,4 lít. Hỏi áp suất và nhiệt độ của khối khí sau mỗi quá trình nén: đẳng nhiệt, đoạn nhiệt.

Đáp số: Đẳng nhiệt: $T_1 = T_2 = 273\text{K}$

$p_2 = 5 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$

Đoạn nhiệt: $T_2 = 520\text{K}$

$p_2 = 9,65 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$

7. Một khối khí có thể tích 20 lít ở áp suất 10at được nung nóng đẳng áp từ 50°C đến 200°C . Tính công giãn khí ra J_{un} .

Đáp số: $A = 9113\text{J}$

8. Một khối khí hydro có thể tích 5 lít ở áp suất $p_1 = 1\text{at}$ được nén đoạn nhiệt đến thể tích 1 lít. Tính công nén khí.

Đáp số: $A = 1104\text{J}$

9. Một lượng khí lý tưởng ở 10°C và áp suất 100kPa chiếm thể tích $2,50\text{m}^3$.

a) Có bao nhiêu mol chất khí này?

b) Nếu áp suất tăng lên đến 300kPa, nhiệt độ tăng lên 30°C thì thể tích khí là bao nhiêu? (Giả thiết không bị mất khí)

Đáp số: 106mol ; $0,892\text{m}^3$.

10. Trong 1m^3 không khí ở 20°C và áp suất 1,0atm ($= 1,01 \cdot 10^5 \text{Pa}$) coi không khí đạt chuẩn.

a) Có bao nhiêu phân tử.

b) Giả thiết trong không khí nitơ chiếm 75% và ôxy chiếm 25%, tính khối lượng của 1m^3 không khí.

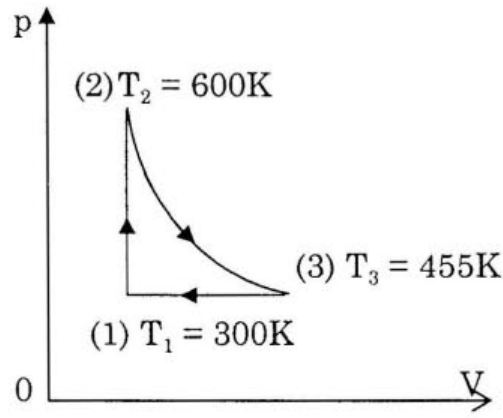
Đáp số: $2,5 \cdot 10^{25}$ phân tử.

1,2kg.

11. Khối khí đơn nguyên tử 1,00mol thực hiện theo chu trình sau.

Quá trình $1 \rightarrow 2$ là đẳng tích, quá trình $2 \rightarrow 3$ là đoạn nhiệt, quá trình $3 \rightarrow 1$ là đẳng áp.

a) Tính nhiệt lượng Q , biến thiên nội năng ΔU và công thực hiện A với mỗi quá trình và toàn chu trình.



b) Nếu áp suất điểm (1) là 1,00atm, tìm áp suất, thể tích điểm (2) và (3).
Cho $1\text{atm} = 1,013 \cdot 10^5\text{Pa}$ và $R = 8,314\text{J/mol.K}$

Đáp số: Tính theo Jun, thứ tự Q, ΔU và A

a) $1 \rightarrow 2$: 3741,3 ; 3741,3 ; 0.

$2 \rightarrow 3$: 0 ; - 1808,3 ; 1808,3.

$3 \rightarrow 1$: - 3221,7 ; - 1933 ; - 1288,7.

Chu trình: 519,6 ; 0; 519,6.

b) $V_2 = 0,0246\text{m}^3$; $p_2 = 2,00\text{atm}$.

$V_3 = 0,373\text{m}^3$; $p_3 = 1,00\text{atm}$.

12. Một khối khí He chứa trong bình có thể tích 5 lít, áp suất $1,5 \cdot 10^5\text{N/m}^2$, nhiệt độ 27°C .

a) Tính động năng trung bình của phân tử và mật độ phân tử.

b) Nén đẳng áp khối khí để mật độ phân tử tăng gấp hai lần. Tính nhiệt độ và thể tích khí sau khi nén.

c) Tính nhiệt lượng khí truyền ra môi trường.

Đáp số: a) $6,21 \cdot 10^{-21}\text{J}$; $3,6 \cdot 10^{25}$ phân tử/ m^3 .

b) -123°C ; 2,5 lít

c) $-937,5\text{J}$.

13. Khối khí Neon ($\mu = 20$) khối lượng $m = 40\text{g}$, nhiệt độ 27°C , thể tích ban đầu 6 lít.

a) Nén đẳng nhiệt nhờ công ngoại lực 6750J, thể tích giảm 4 lần. Tính nhiệt lượng khí toả ra.

b) Lấy nhiệt môi trường thể tích khí lại tăng như cũ. Tính nhiệt lượng khí hấp thụ.

Đáp số: a) $- 6750\text{J}$.

b) 37395J.

14. Một xylanh cách nhiệt hoàn toàn, chia hai phần thể tích V_1 và V_2 bằng một vách cách nhiệt. Phần I thể tích V_1 , có nhiệt độ T_1 , áp suất p_1 . Phần II cùng loại khí, có nhiệt độ T_2 , áp suất p_2 . Bỏ vách cách nhiệt, coi hệ hoàn toàn kín, nội năng được bảo toàn. Tìm nhiệt độ cân bằng.

$$\text{Đáp số: } T = \frac{T_1 \cdot T_2 (p_1 V_1 + p_2 V_2)}{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2 + p_2 \cdot V_2 \cdot T_1}.$$

15. Một lượng khí ôxy khối lượng 10g ở 15°C và áp suất $2,77 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$ giãn nở đẳng áp đến thể tích 6 lít ($C_p = 29 \text{J/mol.K} = 0,9 \text{J/g.K}$). Tính:
- Công khí thực hiện và nhiệt truyền cho khí.
 - Độ biến thiên nội năng.

$$\text{Đáp số: a) } 914,1\text{J} ; 3168\text{J}.$$
$$\text{b) } 2253,9\text{J}.$$

Chương 10

ENTROPY VÀ NGUYÊN LÝ THỨ HAI CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

MỤC TIÊU

- Trình bày được nguyên lý II nhiệt động học.
- Trình bày được khái niệm về entropy và ý nghĩa.
- Ứng dụng được nguyên lý II trong cơ thể sống và chế tạo động cơ nhiệt.

10.1. MÁY NHIỆT

Máy nhiệt là một hệ thống biến nhiệt thành công hoặc biến công thành nhiệt.

Các chất vận chuyển có tác dụng biến nhiệt thành công hoặc biến công thành nhiệt trong các máy nhiệt được gọi là tác nhân. Khi máy nhiệt hoạt động, tác nhân trao đổi nhiệt với hai nguồn nhiệt có nhiệt độ khác nhau: nguồn nóng và nguồn lạnh. Các máy nhiệt hoạt động một cách tuần hoàn do đó tác nhân trong máy biến đổi theo chu trình.

Trong các động cơ đốt trong, tác nhân có thể là xăng hoặc dầu madút. Trong các động cơ hơi nước, tác nhân là hơi nước.

10.1.1. Động cơ nhiệt

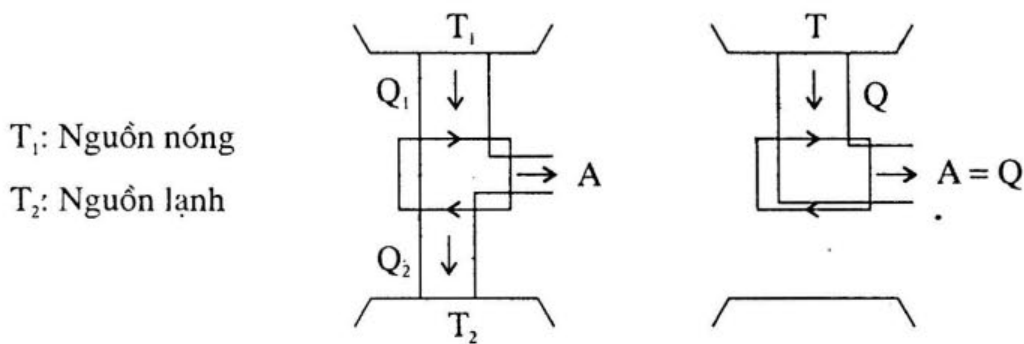
Động cơ nhiệt là loại máy biến nhiệt thành công.

Ví dụ: máy hơi nước, các động cơ đốt trong,...

Trong động cơ nhiệt tác nhân biến đổi theo chu trình thuận.

Ví dụ trên hình 10.1a vẽ sơ đồ của một động cơ nhiệt. Tác nhân biến đổi theo chu trình thuận, nghĩa là đường cong biểu diễn chu trình có chiều kim đồng hồ vì động cơ sinh công.

Nếu trong một chu trình tác nhân nhận của nguồn nóng một nhiệt lượng Q_1 và nhả cho nguồn lạnh một nhiệt lượng Q_2 và sinh công A thì công $|A|$ bằng $|Q_1| - |Q_2|$ và bằng $|Q|$.



Hình 10.1. Sơ đồ động cơ nhiệt.

a) Động cơ thực; b) Động cơ vĩnh cửu.

Người ta định nghĩa hiệu suất của động cơ nhiệt (ký hiệu η) là tỷ số giữa công thực hiện được trong chu trình (cái ta thu được) và nhiệt lượng hấp thụ trong chu trình ấy (cái ta phải mất tiền để có).

$$\eta = \frac{|A|}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \quad (10.1)$$

Theo công thức (10.1), η chỉ bằng 1 hay (100%) khi $|Q_2| = 0$. Tức là không có nhiệt lượng thừa truyền cho nguồn lạnh. Động cơ như vậy được gọi là động cơ vĩnh cửu loại 2. Động cơ này chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn nhiệt và sinh công. Trong thực tế không thể chế tạo được động cơ như vậy.

10.1.2. Máy làm lạnh

Nhiệt được truyền một cách tự phát từ nơi nóng sang nơi lạnh. Không có quá trình truyền nhiệt tự nhiên theo hướng ngược lại.

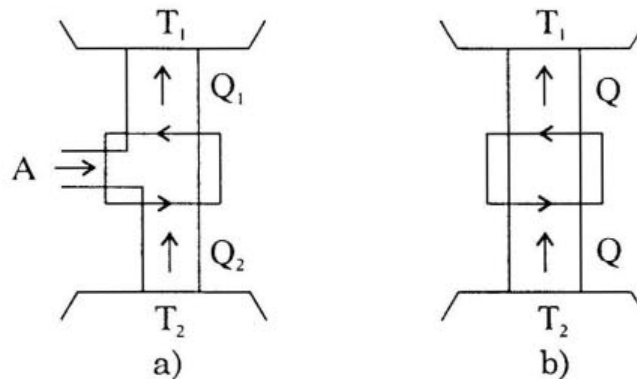
Máy làm lạnh là máy làm nhiệm vụ chuyển nhiệt lượng từ nơi có nhiệt độ thấp đến nơi có nhiệt độ cao.

Trên hình 10.2a vẽ sơ đồ máy làm lạnh. Khi thực hiện chu trình (ngược) tác nhân nhận nhiệt lượng Q_2 từ nguồn lạnh T_2 và nhận một công A từ ngoài. Công A và nhiệt lượng Q_2 được tổng hợp thành dạng năng lượng nhiệt Q_1 truyền cho nguồn nóng T_1 . Một ví dụ của máy làm lạnh là tủ lạnh dùng trong gia đình. Nguồn lạnh T_2 là buồng lạnh dùng để đựng thức ăn. Công mà tủ lạnh nhận được là công do motor nén khí. Ngoài ra các máy điều hoà nhiệt độ cũng thuộc loại các máy làm lạnh.

Mục đích của các máy làm lạnh là chuyển năng lượng dưới dạng nhiệt từ nguồn lạnh đến nguồn nóng dưới tác dụng của công ngoại lực lên tác nhân. Để đánh giá hiệu suất của máy, người ta đưa ra đại lượng gọi là hệ số làm lạnh K :

$$K = \frac{|Q_2|}{|A|} = \frac{|Q_2|}{|Q_1| - |Q_2|} \quad (10.2)$$

Hệ số làm lạnh càng cao máy làm lạnh càng tốt. Đối với tủ lạnh gia đình, K có giá trị cỡ 5.



Hình 10.2. Sơ đồ máy làm lạnh
a) Máy làm lạnh thực; b) Máy làm lạnh vĩnh cửu

Trên hình 10.2b, vẽ sơ đồ một máy làm lạnh vĩnh cửu. Nó làm lạnh mà không cần nhận công từ bên ngoài. Vì $|A| = 0$, do đó K có giá trị lớn vô cùng. Trong thực tế không thể chế tạo được máy làm lạnh vĩnh cửu.

10.1.3. Phát biểu của nguyên lý hai

Nguyên lý thứ hai rút ra từ thực nghiệm nghiên cứu các quá trình xảy ra trong tự nhiên. Có nhiều cách phát biểu nguyên lý hai.

10.1.3.1. Phát biểu của Clausius

Nhiệt không thể tự truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn mà không kèm theo sự biến đổi nào cả.

10.1.3.2. Phát biểu của Thomson

Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại hai.

* Chú ý: Hai cách phát biểu trên là hoàn toàn tương đương nhau. Ta có thể dễ dàng chứng minh điều này.

Giả sử có một vật sinh công A bằng cách lấy nhiệt từ một nguồn có nhiệt độ T_2 nào đó (vi phạm nguyên lý hai trong cách phát biểu của Thomson) có thể đem công A cung cấp cho một vật có nhiệt độ $T_1 > T_2$ bằng một quá trình ma sát, công A được biến hoàn toàn thành nhiệt, nghĩa là vật có nhiệt độ T_1 nhận được nhiệt lượng đúng bằng Q. Cuối cùng, kết quả duy nhất của dãy quá trình trên là đã truyền được năng lượng dưới dạng nhiệt từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn. Điều này vi phạm nguyên lý hai trong cách phát biểu Clausius.

Như vậy, chứng minh trên chứng tỏ hai cách phát biểu tương đương nhau.

10.2. QUÁ TRÌNH THUẬN NGHỊCH

10.2.1. Máy nhiệt lý tưởng

Trong phần trên ta đã thấy rằng không thể tồn tại một động cơ vĩnh cửu, nghĩa là không thể tồn tại động cơ thực với hiệu suất 100%. Vậy hiệu suất tối đa mà một động cơ thực đạt được là bao nhiêu?

Để nghiên cứu đỡ phức tạp ta đưa ra mô hình máy nhiệt lý tưởng: Nó chính là trường hợp giới hạn của máy nhiệt thực tế.

Máy nhiệt lý tưởng gồm một xylanh có pittông chứa khí lý tưởng, các nguồn nhiệt T_1 và T_2 . Thành xylanh được cách nhiệt. Ở đây tác nhân (hay là hệ) là khí lý tưởng. Xylanh, pittông, thành cách nhiệt và hai nguồn nhiệt là môi trường của hệ.

Ta giả thiết rằng máy nhiệt lý tưởng không có ma sát, dòng xoáy và sự mất nhiệt. Đó là những điều mà trong thực tế ta mong muốn hạn chế đến mức tối đa. Ngoài ra giả thiết rằng mọi quá trình như dẫn khí, nén khí, thay đổi nhiệt độ, áp suất của khí đều xảy ra rất chậm. Do vậy các quá trình này có thể coi như những quá trình chuẩn cân bằng.

10.2.2. Quá trình thuận nghịch

Quá trình diễn biến theo chiều từ trạng thái A đến B theo các trạng thái trung gian 1, 2, 3... được gọi là quá trình thuận nghịch, nếu ta thay đổi điều kiện môi trường dù rất ít thì hệ có thể thay đổi chiều diễn biến từ B sang A qua lần lượt đầy đủ các quá trình trung gian... 3, 2, 1.

Quá trình diễn biến từ A \rightarrow B không thuận nghịch nếu như diễn biến theo chiều nghịch hệ không qua lại mọi trạng thái như đã qua trong chiều thuận. Quá trình không thuận nghịch không phải là một quá trình cân bằng, do đó không biểu diễn trên giản đồ trạng thái, ví dụ giản đồ (p, V).

Các quá trình xảy ra trong tự nhiên đều là các quá trình không thuận nghịch. Ví dụ, quá trình dao động của con lắc, do có ma sát nên biên độ của nó giảm dần và con lắc không trở về đúng các trạng thái trước của nó.

Các quá trình cơ học có ma sát đều là quá trình không thuận nghịch.

Quá trình dẫn nở khí vào trong chân không hoặc từ nơi có áp suất cao đến nơi có áp suất thấp cũng là quá trình không thuận nghịch.

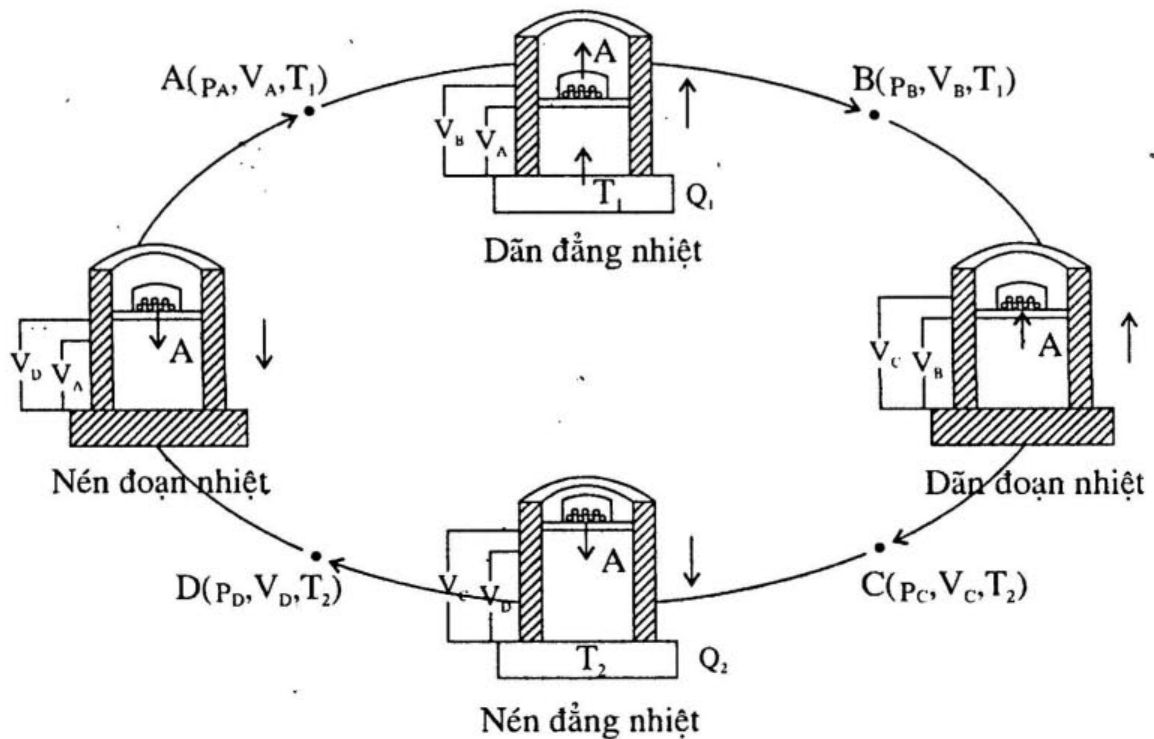
Nhiệt chỉ truyền từ nơi nóng sang nơi lạnh, do đó quá trình truyền nhiệt là không thuận nghịch. Hiện tượng truyền nhiệt chỉ thuận nghịch khi nhiệt độ của các vật tiếp xúc bằng nhau. Ngoài ra, quá trình truyền nhiệt cũng phải vô cùng chậm.

Theo định nghĩa của quá trình thuận nghịch thì từng trạng thái của quá trình này đều là trạng thái cân bằng. Do đó có thể kết luận: mọi quá trình chuẩn cân bằng đều là quá trình thuận nghịch.

Ta thấy rằng các quá trình xảy ra ở máy nhiệt lý tưởng ở phần trên là quá trình thuận nghịch. Điều đó có nghĩa là máy nhiệt lý tưởng có thể hoạt động theo cả hai chiều: thuận (động cơ nhiệt) nghịch (máy làm lạnh). Trong hai chiều công và nhiệt chỉ đổi dấu không thay đổi giá trị. Máy nhiệt lý tưởng là máy nhiệt thuận nghịch. Không tồn tại quá trình thuận nghịch trong thiên nhiên, vì vậy, động cơ thuận nghịch mang tên động cơ nhiệt lý tưởng.

10.3. CHU TRÌNH CARNOT

Ta hãy tìm một chu trình mà tác nhân là khí lý tưởng và thoả mãn điều kiện là một máy nhiệt thuận nghịch. Như vậy chu trình mà máy nhiệt thực hiện phải là một chu trình thuận nghịch. Muốn vậy nó phải được tạo lên từ các quá trình thuận nghịch. Chu trình Carnot thoả mãn điều kiện trên. Nó bao gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch. Hình 10.3 mô tả hoạt động của chu trình và hình 10.4 diễn tả chu trình trên giản đồ (p, V) .

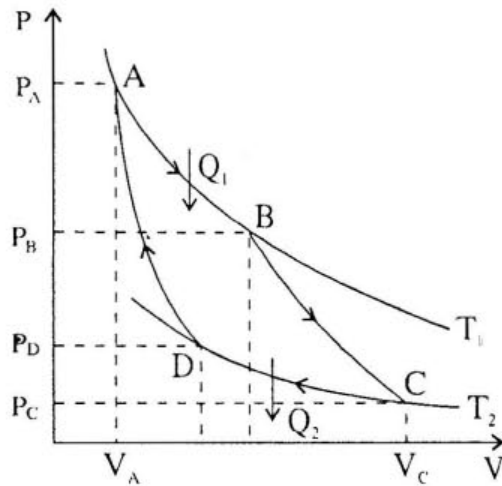


Hình 10.3. Hoạt động của chu trình Carnot.

Qua bốn bước:

* *Bước 1:* Xylanh tiếp xúc với nguồn nóng T_1 . Khí lý tưởng ở trạng thái ban đầu A, ứng với nhiệt độ T_1 , áp suất p_A , thể tích V_A trên giản đồ (p, V) . Bớt dần trọng lượng của pítông để khí dãn chậm đến điểm B trên giản đồ (p, V) . Nhiệt độ

khí vẫn giữ nguyên T_1 vì khí đã nhận nhiệt lượng Q_1 từ nguồn nóng T_1 . Đây là quá trình đẳng nhiệt, do đó nội năng của khí không đổi và tất cả nhiệt hấp thụ đều biến thành công dương vì khí giãn ra.



Hình 10.4. Chu trình Carnot thuận nghịch (chu trình thuận)

* *Bước 2:* Thay nguồn nhiệt T_1 bằng thành cách nhiệt, bớt dần trọng lượng của pittông, do đó khí giãn chậm đến điểm C. Quá trình giãn BC là đoạn nhiệt vì có thành cách nhiệt. Hệ thực hiện công dương do tiếp tục giãn. Nhiệt độ giảm xuống T_2 vì năng lượng dùng để thực hiện công cơ học lấy từ nội năng của khí (theo biểu thức của nguyên lý I).

* *Bước 3:* Bỏ thành cách nhiệt và cho xylanh tiếp xúc với nguồn nhiệt có nhiệt độ thấp T_2 . Bằng cách thêm dần trọng lượng của pittông khí bị nén chậm đến điểm D. Nhiệt độ T_2 không đổi. Trong quá trình nén này, khí đã truyền cho nguồn lạnh T_2 nhiệt lượng Q_2 . Vì quá trình nén là đẳng nhiệt, nên theo nguyên lý I nội năng $\Delta U = 0$. Do đó, Q_2 có giá trị bằng công do khí thực hiện công này âm vì pittông nén xuống.

* *Bước 4:* Cho xylanh tiếp xúc với thành cách nhiệt và thêm trọng lượng sao cho khí nén chậm đến trạng thái ban đầu A. Chu trình được kết thúc vì có vỏ cách nhiệt nên quá trình nén là đoạn nhiệt. Khí nhận công và nhiệt độ của nó tăng lên đến T_1 .

Người ta chứng minh được rằng động cơ chạy theo chu trình Carnot có hiệu suất bằng:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (10.3)$$

Theo biểu thức (10.3) hiệu suất này chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của nguồn nóng và nguồn lạnh. Thực nghiệm đã chứng minh rằng hiệu suất của động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot là cực đại.

Vì máy nhiệt chạy theo chu trình Carnot thuận nghịch nên nếu ta cho chạy theo chiều nghịch ta sẽ được máy làm lạnh Carnot có hiệu suất cho bởi biểu thức:

$$K = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (10.4)$$

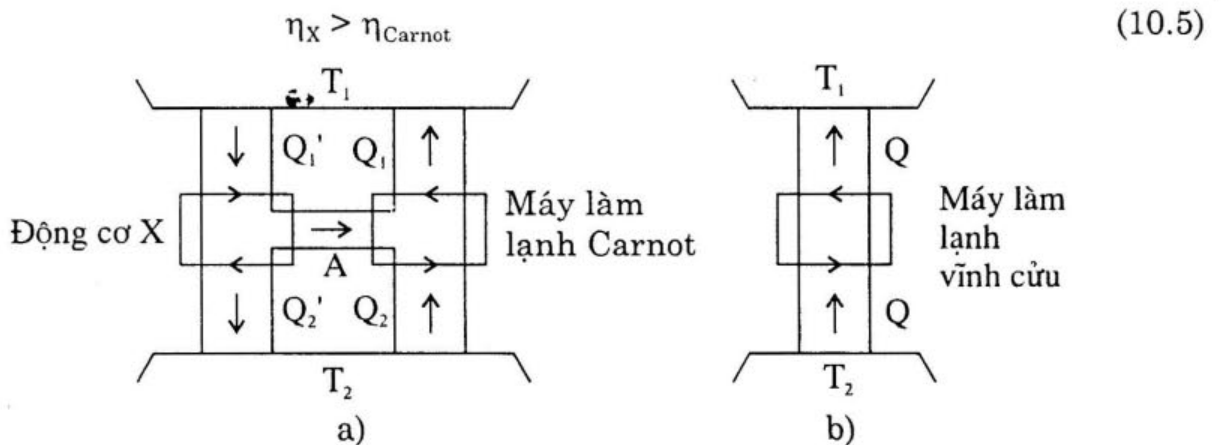
10.4. ĐỊNH LÝ CARNOT

10.4.1. Định lý

Không có một động cơ thực nào chạy với hai nguồn nhiệt cho trước lại có hiệu suất lớn hơn hiệu suất của động cơ chạy theo chu trình Carnot với cùng hai nguồn nhiệt.

10.4.2. Chứng minh định lý

Chứng minh bằng phản chứng: giả sử tồn tại một động cơ X mà hiệu suất η_X của nó lớn hơn hiệu suất chạy theo chu trình Carnot.



Hình 10.5.

a) Động cơ X ghép với máy lạnh Carnot; b) Máy làm lạnh vĩnh cửu

Ta tạo thiết bị ghép bằng cách cho động cơ X ghép với động cơ Carnot chạy theo chiều nghịch (máy làm lạnh Carnot). Giả sử rằng công mà máy làm lạnh Carnot nhận để hoạt động được lấy từ công do động cơ X sản ra. Theo hình 10.5 và theo giả thiết (10.5) ta có:

$$\frac{|A|}{|Q_1'|} > \frac{|A|}{|Q_1|} \quad (10.6)$$

Điều kiện (10.6) thoả mãn khi $|Q_1| > |Q_1'|$ công do động cơ X sinh ra đúng bằng công do máy làm lạnh Carnot nhận vào.

$$A = |Q_1| - |Q_2| = |Q_1'| - |Q_2'| \quad (10.7)$$

Từ (10.7) suy ra:

$$|Q_1| - |Q_1'| = |Q_2| - |Q_2'| = Q \quad (10.8)$$

Theo (10.8) thì $Q > 0$.

Q chính là nhiệt lượng mà thiết bị ghép trao đổi với nguồn nhiệt. Kết quả là thiết bị ghép nhận nhiệt lượng Q từ nguồn lạnh ($Q = |Q_2| - |Q_2'|$) và nhả cho nguồn nóng một nhiệt lượng cũng bằng Q ($Q = |Q_1| - |Q_1'|$) và không nhận công từ bên ngoài. Thiết bị ghép chính là máy làm lạnh vĩnh cửu vì nhiệt lượng tự động chuyển từ nguồn lạnh sang nguồn nóng. Thiết bị này không tồn tại, do đó η_x không thể lớn hơn η_{Carnot} .

Thực nghiệm đã chứng minh được rằng tất cả các máy nhiệt thuận nghịch hoạt động với hai nguồn nhiệt cho trước có hiệu suất hoàn toàn như máy nhiệt Carnot chạy với khí lý tưởng có cùng hai nguồn nhiệt. Vì vậy biểu thức (10.3) và (10.4) của hiệu suất máy Carnot có thể dùng cho tất cả các máy nhiệt thuận nghịch dù tác nhân không phải là khí lý tưởng.

10.4.3. Kết luận

Từ định lý Carnot ta rút ra mấy nhận xét quan trọng:

- Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công.
- Hiệu suất của động cơ nhiệt càng lớn nếu nhiệt độ nguồn nóng (T_1) càng cao và nhiệt độ nguồn lạnh (T_2) càng thấp. Từ đó, ta suy ra nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ cao có chất lượng cao hơn nhiệt lượng lấy từ vật có nhiệt độ thấp hơn.
- Muốn tăng hiệu suất của động cơ nhiệt thì ngoài cách làm nói trên còn phải chế tạo sao cho động cơ này càng gần động cơ thuận nghịch. Muốn vậy phải tránh sự mất mát nhiệt nhận từ nguồn do truyền nhiệt và do ma sát.

10.5. KHÁI NIỆM ENTROPY

10.5.1. Biểu thức định lượng của nguyên lý hai

Từ các biểu thức về hiệu suất của động cơ nhiệt và động cơ Carnot ta có:

$$\eta = \frac{|A|}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \text{ và } \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Ta suy ra:

$$\frac{|Q_1|}{T_1} = \frac{|Q_2|}{T_2}$$

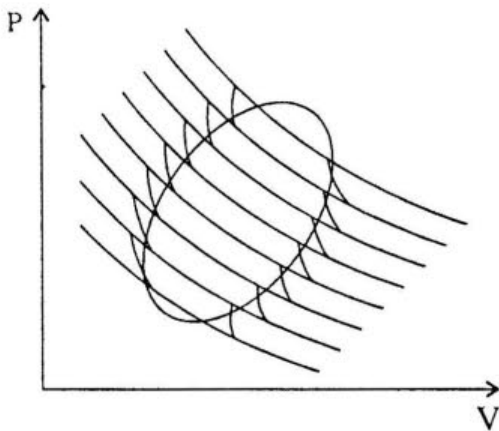
Tuỳ theo quá trình nhận nhiệt hay toả nhiệt thì Q_1 và Q_2 trái dấu nhau. Vì vậy ta có thể viết:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{-Q_2}{T_2} \text{ hay } \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad (10.9)$$

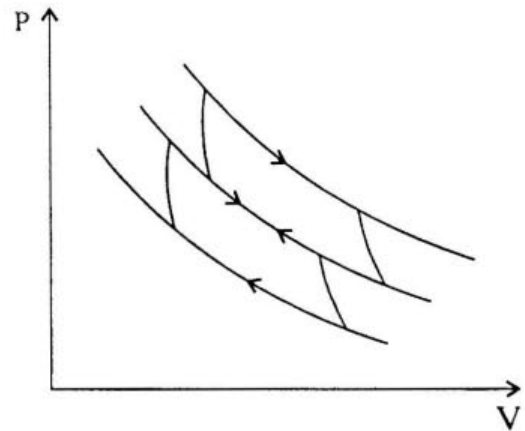
Vì Q_1 và Q_2 là nhiệt lượng truyền cho một chu trình kín nên phương trình (10.9) cho biết rằng tổng đại số của đại lượng Q/T trong chu trình kín là bằng 0.

Công thức trên không những đúng cho chu trình Carnot mà còn đúng cho bất kỳ chu trình thuận nghịch nào. Từ một chu trình thuận nghịch bất kỳ có thể coi như được tạo thành từ một số rất lớn các chu trình Carnot nguyên tố rất hẹp (hình 10.6a), khi thực hiện những chu trình nguyên tố này thì các cặp hai đường đẳng nhiệt được thực hiện hai lần theo hai chiều ngược nhau nên khử nhau (hình 10.6b), chỉ còn lại những đường đoạn nhiệt và bờ đường đẳng nhiệt (hình 10.6b). Chúng tạo lên những đường mấp mô kín. Nếu tăng số chu trình Carnot lên vô hạn thì đường gãy khúc sẽ trùng với đường cong biểu diễn chu trình thuận nghịch đã cho. Ta có:

$$\sum \frac{Q_i}{T_i} = 0$$



Hình 10.6a. Một chu trình thuận nghịch bất kỳ



Hình 10.6b. Hai chu trình Carnot nguyên tố cạnh nhau

Phép cộng theo tất cả các chu trình Carnot nguyên tố bây giờ thành:

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \quad (10.10)$$

(Chu trình thuận nghịch)

Nếu chu trình không thuận nghịch thì biểu thức (10.10) viết tổng quát:

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0 \quad (10.11)$$

Dấu = ứng với chu trình thuận nghịch.

Dấu < ứng với chu trình không thuận nghịch.

Hệ thức (10.11) là biểu thức định lượng tổng quát của nguyên lý II.

10.5.2. Hàm entropy và nguyên lý tăng Entropy

10.5.2.1. Hàm entropy

Đối với quá trình thuận nghịch, một đại lượng là hàm trạng thái khi ta cho hệ đi qua một chu trình thuận nghịch thì tổng đại số những thay đổi của đại lượng đó sẽ bằng không. Nếu tổng đó khác không thì đại lượng này không trở lại giá trị ban đầu và không phản ánh tính chất riêng của hệ, hay đại lượng này không phải là hàm trạng thái. Tóm lại, điều kiện chứng tỏ một đại lượng x nào đó là biến số trạng thái là:

$$\oint dx = 0 \quad (10.12)$$

đối với quá trình thuận nghịch.

So sánh (10.11) với (10.12) ta thấy dQ/T là vi phân của một hàm trạng thái nào đó mà ta chưa được biết. Ta gọi hàm mới này là entropy của hệ và ký hiệu bằng chữ S .

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ và } \oint dS = 0 \quad (10.13)$$

Trong hệ SI đơn vị của entropy là J/K .

Cần chú ý là nhiệt lượng Q và công A không phải là hàm trạng thái vì $\oint dQ \neq 0$ và $\oint dA \neq 0$. Song nhiệt độ T và nội năng U là những đại lượng phản ánh tính chất riêng của hệ, chúng là một hàm trạng thái. Ví dụ khi hệ thực hiện chu trình thì biến thiên nội năng ΔU bằng không.

Ta xét một chu trình thuận nghịch được tạo thành từ hai quá trình thuận nghịch $a1b$ và $b2a$ (hình 10.7).

Theo (10.13):

$$\oint dS = \int_{a1b} dS + \int_{b2a} dS = 0$$

Vì các quá trình trên là thuận nghịch nên:

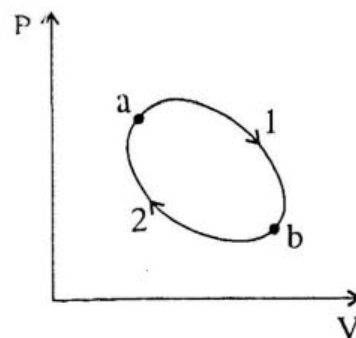
$$\int_{b2a} dS = - \int_{a2b} dS$$

Từ đây suy ra:

$$\int_{a1b} dS - \int_{a2b} dS = 0 \quad (10.14)$$

Hay:

$$\int_{a1b} dS = \int_{a2b} dS \quad (10.15)$$



Hình 10.7. Chu trình thuận nghịch $a1b2a$

Điều này có nghĩa là $\int dS$ có cùng một giá trị cho bất kỳ quá trình thuận nghịch nào đi từ trạng thái a đến trạng thái b. Nói một cách khác, tích phân (10.15) không phụ thuộc vào đường đi mà chỉ phụ thuộc vào entropy của trạng thái đầu a và trạng thái cuối b. Ta có thể viết:

$$S_b - S_a = \int_a^b dS = \int_a^b \frac{dQ}{T} \quad (10.16)$$

Biểu thức (10.16) lấy theo bất kỳ quá trình thuận nghịch nào có trạng thái đầu a và trạng thái cuối b.

Trong thực tế ta luôn luôn xét biến thiên của entropy trong một quá trình, nghĩa là xét $S_b - S_a$ chứ không xác định giá trị entropy của một trạng thái. Entropy của một trạng thái có thể xác định sai kém nhau một hằng số.

10.5.2.2. Nguyên lý

– Biến thiên entropy của quá trình thuận nghịch:

Phương trình: $\int_a^b dS = \int_a^b \frac{dQ}{T}$ chỉ đúng với quá trình thuận nghịch. Nghĩa là

ứng với quá trình không có ma sát và xảy ra rất chậm sao cho ở bất kỳ thời điểm nào cũng có thể quay ngược quá trình bằng cách gây ra sự thay đổi vô cùng nhỏ trong môi trường xung quanh hệ. Biểu thức (10.16) cho thấy rằng entropy thay đổi nếu có sự trao đổi nhiệt giữa hệ và môi trường.

Nếu hệ nhận nhiệt thì $dQ > 0$ và Entropy của hệ tăng. Trong khi đó Entropy của môi trường giảm với cùng một lượng như lượng Entropy tăng của hệ. Sở dĩ như vậy là do có bao nhiêu nhiệt lượng hệ nhận ở một nhiệt độ nào đó thì có bấy nhiêu nhiệt lượng môi trường nhường cho hệ ở cùng nhiệt độ đó. Sự bảo toàn được thoả mãn. Nghĩa là nếu nhiệt lượng truyền ra khỏi hệ thì entropy của hệ giảm và entropy của môi trường tăng với cùng một lượng.

Vậy: Đối với quá trình thuận nghịch, entropy của hệ có thể tăng, giảm hoặc không đổi. Sự thay đổi entropy của môi trường sẽ luôn luôn có cùng giá trị nhưng ngược dấu với sự thay đổi entropy của hệ. Đối với quá trình thuận nghịch, entropy của hệ cộng môi trường giữ nguyên không đổi.

– Biến thiên entropy của quá trình không thuận nghịch:

Từ (10.16) ta tính được độ biến thiên của quá trình thuận nghịch. Ta dùng công thức này có thể tính độ biến thiên của quá trình bất thuận nghịch, tuy nhiên cách tính phải qua một quá trình trung gian.

Ta biết rằng hiệu entropy giữa hai trạng thái cân bằng là không phụ thuộc cách làm thế nào để đưa hệ từ trạng thái này đến trạng thái kia, mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối.

Vậy: Để tìm biến thiên entropy đối với một quá trình không thuận nghịch giữa hai trạng thái cân bằng ta tìm một quá trình thuận nghịch với cùng trạng thái đầu và cuối rồi tìm biến thiên entropy của quá trình thuận nghịch này theo công thức (10.16).

Ví dụ: Xét sự giãn nở khí lý tưởng vào chân không trong bình cách nhiệt. Đây là quá trình không thuận nghịch. Khí giãn nở vào chân không nên không sinh công, do đó $A = 0$. Mặt khác vì bình cách nhiệt với môi trường nên $Q = 0$, áp dụng (10.16) ta có $\Delta S = 0$. Kết luận này sai vì đối với quá trình không thuận nghịch, biến thiên entropy không thể bằng không.

Theo nguyên lý thứ nhất $A = 0$; $Q = 0$ và $\Delta U = 0$ (vì quá trình này là quá trình đẳng nhiệt). Vậy để tính sự biến thiên trong quá trình này ta đưa về tính sự biến thiên của entropy trong quá trình thuận nghịch nào đó có trạng thái đầu và trạng thái cuối trùng với trạng thái đầu và trạng thái cuối của quá trình giãn nở khí vào chân không. Vì quá trình giãn nở khí vào chân không là đẳng nhiệt nên ta sẽ tìm biến thiên entropy của quá trình thuận nghịch đẳng nhiệt với cùng điểm đầu và cuối a, b.

$$S_b - S_a = \int_{V_a}^{V_b} dS = \int_{V_a}^{V_b} \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_{V_a}^{V_b} dQ$$

Đối với quá trình đẳng nhiệt $\Delta U = 0$ vậy $Q = A$, do đó:

$$S_b - S_a = \frac{1}{T} \int_{V_a}^{V_b} dA \quad (10.17)$$

Công sinh ra trong quá trình đẳng nhiệt:

$$A = n.R.T.\ln\frac{V_b}{V_a} \quad (10.18)$$

Do đó:

$$S_b - S_a = n.R.\ln\frac{V_b}{V_a} \quad (10.19)$$

Vì $V_b > V_a$: giãn nở vào chân không nên entropy tăng trong quá trình giãn nở tự do. Quá trình giãn nở này xảy ra trong bình cách nhiệt, do đó entropy của môi trường trong trường hợp giãn nở tự do này không thay đổi. Do đó entropy của hệ cộng môi trường tăng trong quá trình giãn nở tự do.

– Phát biểu nguyên lý:

Với quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập, entropy của hệ luôn luôn tăng.

10.5.3. Entropy và nguyên lý hai của nhiệt động

Nguyên lý hai có thể phát biểu theo cách khác

Entropy của hệ cộng môi trường hoặc giữ không đổi hoặc tăng khi có quá trình nhiệt động đưa hệ từ một trạng thái cân bằng này đến một trạng thái cân bằng khác.

Như vậy, không có cách nào làm cho entropy của hệ cộng môi trường giảm. Tất nhiên, entropy của hệ cũng có thể giảm nhưng kèm theo đó phải có sự tăng ít nhất là bằng hoặc lớn hơn của entropy môi trường.

Tóm lại: nguyên lý thứ hai có ba cách phát biểu khác nhau nhưng đều tương đương nhau.

Ta có thể chứng minh điều này.

– Theo cách phát biểu thứ nhất: Không thể tồn tại động cơ vĩnh cửu loại hai.

Vì động cơ hoạt động theo chu kỳ nên tác nhân (hệ) hoạt động theo chu trình. Sau một chu kỳ, tác nhân trở về trạng thái ban đầu, do đó entropy không thay đổi. Vì động cơ là vĩnh cửu nên tác nhân chỉ nhận nhiệt từ một nguồn nhiệt. Nguồn nhiệt này chính là môi trường của hệ. Entropy của môi trường giảm sau một chu trình, vì môi trường cung cấp nhiệt cho hệ. Kết quả là entropy của hệ cộng môi trường giảm. Do đó, nếu tồn tại động cơ vĩnh cửu (trái với cách phát biểu thứ nhất) thì entropy giảm (trái với cách phát biểu thứ ba).

– Theo cách phát biểu thứ hai: Không tồn tại máy làm lạnh vĩnh cửu.

Cũng tương tự như trên, entropy của hệ khi thực hiện chu trình là không đổi. Ta chỉ phải xét sự thay đổi entropy của môi trường. Đối với máy làm lạnh vĩnh cửu môi trường là hai nguồn nhiệt T_1 và T_2 . Sự biến thiên entropy của môi trường là:

$$\Delta S = \frac{Q}{T_1} - \frac{Q}{T_2}$$

Vì $T_1 > T_2$ nên $\Delta S < 0$. Do đó, nếu tồn tại máy làm lạnh vĩnh cửu (trái với cách phát biểu thứ hai) thì entropy giảm (trái với cách phát biểu thứ ba).

10.5.4. Ý nghĩa của entropy

10.5.4.1. Entropy là đại lượng chỉ hướng của thời gian

Dựa vào nguyên lý tăng entropy ta có thể kết luận rằng không có một quá trình nào trong tự nhiên là hoàn toàn thuận nghịch, do đó tất cả các quá trình tự phát đều diễn ra theo chiều tăng entropy.

Trong thực tế, có thể sẽ tìm thấy hệ đặc biệt nào đó mà quá trình tự phát lại là quá trình giảm entropy. Nhưng chắc chắn rằng entropy của môi trường phải tăng một lượng lớn hơn sự giảm entropy của hệ.

Cuối cùng ta có thể tổng kết ý của hai nguyên lý một và hai nhiệt động học như sau:

- Năng lượng của vũ trụ giữ không đổi.
- Entropy của vũ trụ luôn luôn tăng.

10.5.4.2. Entropy là thước đo mức độ hỗn độn của nguyên tử

Entropy cũng liên quan tới sự hỗn độn của hệ. Khi entropy tăng thì mức độ hỗn độn của nguyên tử cũng tăng.

Ví dụ: Quá trình dẫn nở khí vào chân không entropy tăng, sự hỗn độn của nguyên tử cũng tăng vì ở trạng thái mới vị trí trong không gian tăng lên so với trước.

Boltzman đã tìm ra mối liên hệ giữa entropy và sự hỗn độn nguyên tử:

$$S = k \cdot \ln W.$$

Trong đó: S là entropy của hệ.

k là hằng số Boltzman.

W là độ đo mức độ hỗn độn của hệ.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ

1. Phát biểu nguyên lý thứ hai của nhiệt động học theo các cách khác nhau.
2. Nêu khái niệm về entropy và nguyên lý tăng entropy.
3. Con người có phải là một động cơ nhiệt không? Giải thích?
4. Có thể chuyển công cơ học hoàn toàn thành nhiệt được không? Giải thích?
5. Cho ví dụ tự nhiên xảy ra gần với quá trình thuận nghịch.
6. Với điều kiện nào thì hiệu suất của máy nhiệt lý tưởng là 100%?
7. Cái gì làm giảm hiệu suất của động cơ thực tế so với động cơ lý tưởng?
8. Để thực hiện chu trình Carnot ta đi từ một điểm bất kỳ có được không?
9. Động cơ Carnot có phụ thuộc vào tác nhân (khí) trong xy lanh không?
10. Để tăng hiệu suất Carnot ta có thể tăng T_1 (một lượng ΔT) giữ T_2 không đổi hoặc giảm T_2 (một lượng ΔT) như vậy và giữ T_1 không đổi. Nên chọn cách nào?
11. Tại sao xe máy của ta lại rất quan tâm tới xăng sạch, xăng bẩn, dầu sạch, ...
12. Tại sao các động cơ nhiệt bao giờ cũng thải khí bẩn và có một nhiệt lượng dư, tại sao không sử dụng nốt lượng dư đó được.

13. Tại sao lượng xăng tiêu thụ xe máy của bạn mùa đông lại tốn ít hơn mùa hè với cùng một quãng đường đi.
14. Các tổ chức của cơ thể có tính trật tự cao, entropy giảm. Ta vẫn tồn tại, phải chăng nguyên lý II không áp dụng được hay sao?

BÀI TẬP MẪU VÀ BÀI TẬP TỰ GIẢI

Bài toán trong chương này là:

– Tính hiệu suất của một máy nhiệt làm việc theo chu trình Carnot thuận hay nghịch.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

– Tính công, nhiệt máy trao đổi với bên ngoài và các nguồn nhiệt:

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} \Rightarrow A' = \eta \cdot Q_1$$

– Tính độ biến thiên của entropy trong một số quá trình thuận nghịch:

+ Đẳng nhiệt:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

+ Đẳng tích:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \cdot C_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$$

+ Đẳng áp:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} \cdot C_p \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

I. Bài tập mẫu

1. Một máy nhiệt (xe máy) chạy theo chu trình Carnot bằng khí đốt (xăng + không khí) nóng lấy ở áp suất ban đầu là 8at, nhiệt độ ban đầu là 127°C và thể tích ban đầu của không khí là 2 lít. Sau lần giãn đẳng nhiệt thứ nhất nó chiếm thể tích 5 lít và sau khi giãn đoạn nhiệt chiếm thể tích 8 lít. Tìm:
- a) Các tọa độ (p, V, T) của các giao điểm của các đường đẳng nhiệt, đoạn nhiệt của chu trình, biết $\gamma = 1,4$.
- b) Công sinh ra trong mỗi quá trình.

- c) Công thực hiện trong cả chu trình.
 d) Hiệu suất của chu trình.
 e) Nhiệt lượng mà máy nhiệt lấy từ nguồn nóng sau một chu trình.
 f) Nhiệt lượng mà máy nhiệt nhả cho nguồn lạnh sau một chu trình.

Giải:

$$\text{Cho: } \begin{cases} p_1 = 8 \text{ at} = 8.9,81.10^4 \text{ N/m}^2. \\ T_1 = 273 + 127 = 400\text{K}. \\ V_1 = 2.10^{-3} \text{ m}^3. \\ V_2 = 5.10^{-3} \text{ m}^3. \\ V_3 = 8.10^{-3} \text{ m}^3. \end{cases} \quad \text{Tìm: } \begin{cases} p_2 = ? \\ p_3 = ? \\ p_4 = ? \\ A = ? \\ \eta = ? \\ Q = ? \end{cases}$$

* Trước hết ta tính số mol khí: $n = \frac{m}{\mu}$.

Theo phương trình trạng thái: $p.V = \frac{m}{\mu}.R.T$

Áp dụng cho trạng thái 1:

$$p_1.V_1 = \frac{m}{\mu}.R.T_1$$

Suy ra:

$$n = \frac{m}{\mu} = \frac{p_1.V_1}{R.T_1} = \frac{8.9,81.10^4.2.10^{-3}}{8,31.400}$$

$$n = \frac{m}{\mu} = 0,47\text{mol}$$

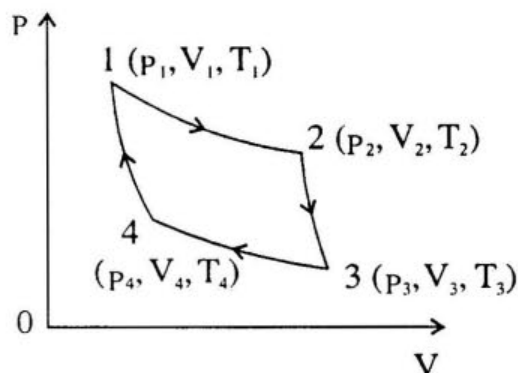
a) Tính tọa độ (p, V, T):

+ Quá trình 1 – 2 (T = const).

$$T_1 = T_2 = 400\text{K}.$$

$$p_1.V_1 = p_2.V_2 \rightarrow p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}$$

$$p_2 = \frac{8.9,81.10^4.2.10^{-3}}{5.10^{-3}} = 31,39.10^4 \text{ N/m}^2.$$



+ Quá trình 2 – 3: giãn đoạn nhiệt ($Q = 0$):

$$p_2 \cdot V_2^\gamma = p_3 \cdot V_3^\gamma \rightarrow p_3 = p_2 \cdot \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^\gamma$$

$$p_3 = 31,39 \cdot 10^4 \cdot \left(\frac{5}{8} \right)^{1,4} = 16,26 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

+ Quá trình 3 – 4: nén đẳng nhiệt:

$$p_3 \cdot V_3 = p_4 \cdot V_4 = n \cdot R \cdot T_3$$

$$T_3 = \frac{p_3 \cdot V_3}{n \cdot R} = \frac{16,26 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{0,47 \cdot 8,31}$$

$$T_3 = T_4 \approx 333 \text{ K.}$$

+ Quá trình 4 – 1 là quá trình đoạn nhiệt:

$$T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_4 \cdot V_4^{\gamma-1}$$

$$V_4 = \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \cdot V_1$$

$$V_4 = \left(\frac{400}{333} \right)^{\frac{1}{1,4-1}} \cdot 2 \cdot 10^{-3}$$

$$V_4 = 3,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Áp suất p_4 :

$$p_4 \cdot V_4 = p_3 \cdot V_3 \rightarrow p_4 = p_3 \cdot \frac{V_3}{V_4}$$

$$p_4 = 16,26 \cdot 10^4 \cdot \frac{8}{3,2}$$

$$p_4 = 40,65 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2.$$

b) Tính công sinh ra trong mỗi quá trình:

* Quá trình đẳng nhiệt 1 – 2:

Hệ sinh công: $A_{1-2} = n \cdot R \cdot T_1 \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$

$$A_{1-2} = 0,47 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 400 \cdot \ln \frac{5}{2}$$

$$A_{1-2} = 1431,5 \text{ J} = 342,2 \text{ cal.}$$

* Quá trình đoạn nhiệt 2 – 3:

$$A_{2-3} = \frac{p_3 \cdot V_3 - p_2 \cdot V_2}{\gamma - 1}$$

$$A_{2-3} = \frac{n.R}{\gamma-1}(T_2 - T_3) = \frac{0,47.8,31}{1,4-1}(400 - 333) = 654,2J = 156,4cal$$

* Quá trình đẳng nhiệt 3 – 4:

$$A_{3-4} = n.R.T_3 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$A_{3-4} = 0,47.8,31.333 \ln \frac{3,2.10^{-3}}{8.10^{-3}}$$

$$A_{3-4} = -1192J = -285cal.$$

* Quá trình đoạn nhiệt 4 – 1:

$$A_{4-1} = \frac{n.R}{\gamma-1}(T_4 - T_1) = \frac{0,47.8,31}{1,4-1}(333 - 400) = -654,2J = -156,4cal$$

c) Công trong cả quá trình:

$$A = A_{1-2} + A_{2-3} + A_{3-4} + A_{4-1}$$

$$A = 239,5J = 57,26Cal$$

d) Hiệu suất của chu kỳ:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{400 - 333}{400} = 0,1675$$

$$\eta = 16,75\%.$$

e) Nhiệt lấy ở nguồn nóng:

$$Q_1 = \frac{A}{\eta} = \frac{239,5}{0,1675} = 1430J = 342cal$$

f) Nhiệt nhả cho nguồn lạnh:

$$Q_2 = Q_1 - A = 1430 - 239,5 = 1190,5J = 285cal$$

2. Tính độ biến thiên của entropy khi biến đổi 10 gam nước đá từ $-20^\circ C$ thành hơi nước ở $100^\circ C$. Nhiệt dung riêng của nước đá là $C_1 = 0,5 \text{ kcal/kg.K}$.

Nhiệt nóng chảy của nước đá ở $0^\circ C$: $\lambda = 80 \text{ kcal/kg}$.

Nhiệt hoá hơi của nước ở $100^\circ C$: $L = 539 \text{ kcal/kg}$.

Nhiệt dung riêng của nước là: $C_2 = 1 \text{ kcal/kg.K}$

Giải:

$$\text{Cho: } \begin{cases} m = 10g = 10^{-2}kg. \\ C_1 = 0,5 \text{ kcal/kg.K.} \\ \lambda = 80 \text{ kcal/kg.} \\ L = 539 \text{ kcal/kg.} \\ C_2 = 1 \text{ kcal/kg.K.} \end{cases} \quad \text{Tìm: } \Delta S = ?$$

Độ biến thiên của entropy được xác định:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

Trạng thái 1 ứng nước đá: -20°C

Trạng thái 2 ứng với hơi nước: 100°C

– Nhiệt cần thiết để đốt nóng m kg nước đá tăng lên dT độ là:

$$dQ_1 = m \cdot C_1 \cdot dT$$

Do đó:

$$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_1'} \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_1'} m \cdot C_1 \cdot \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S_1 = m \cdot C_1 \cdot \ln \frac{T_1'}{T_1}$$

– Nhiệt lượng cần thiết để làm chảy m kg nước đá ở nhiệt độ T_1' :

$$Q_2 = m \cdot \lambda$$

Do đó:

$$\Delta S_2 = \frac{Q_2}{T_1'} = \frac{m \cdot \lambda}{T_1'}$$

– Đem đun nóng m kg nước từ T_1' lên T_2 độ biến thiên entropy bằng:

$$\Delta S_3 = \int_{T_1'}^{T_2} m \cdot C_2 \cdot \frac{dT}{T} = m \cdot C_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_1'}$$

– Biến đổi m Kg nước đá ở T_2 thành hơi nước cần nhiệt lượng:

$$Q_4 = m \cdot L$$

Do đó:

$$\Delta S_4 = \frac{Q_4}{T_2} = \frac{m \cdot L}{T_2}$$

Vậy độ biến thiên Entropy trong quá trình trên bằng:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4$$

$$\Delta S = m \left(C_1 \cdot \ln \frac{T_1'}{T_1} + \frac{\lambda}{T_1'} + C_2 \cdot \ln \frac{T_2}{T_1'} + \frac{L}{T_2} \right)$$

Trong đó:

$$T_1 = -20 + 273 = 253\text{K.}$$

$$T_1' = 273\text{K.}$$

$$T_2 = 100 + 273 = 373\text{K.}$$

Thay vào:

$$\Delta S = 10^{-2} \left(0,5 \cdot \ln \frac{273}{253} + \frac{80}{273} + 1 \cdot \ln \frac{373}{273} + \frac{539}{373} \right)$$

$$\Delta S = 21 \cdot 10^{-3} \text{kcal/K} = 21 \text{cal/K.}$$

II. Bài tập tự giải

1. Một tủ lạnh dùng công 150J để lấy nhiệt lượng 560J từ buồng lạnh.

a) Hệ số làm lạnh của tủ lạnh là bao nhiêu?

b) Tính nhiệt lượng đã toả ra căn phòng chứa tủ lạnh đó?

$$\text{Đáp số: } K = 3,7$$

$$\Delta U = 710\text{J}$$

2. Một mol khí đơn nguyên tử có thể tích 10 lít nhiệt độ 300K được đun nóng đẳng tích đến nhiệt độ 600K sau đó giãn đẳng nhiệt đến áp suất ban đầu rồi được nén đẳng áp đến thể tích ban đầu.

a) Tính nhiệt lượng hấp thụ trong chu trình?

b) Tính công hệ sinh ra trong chu trình?

c) Tính hiệu suất của chu trình?

$$\text{Đáp số: a) } 7206\text{J}$$

$$\text{b) } 963\text{J}$$

$$\text{c) } 13\%$$

3. Một động cơ nhiệt lý tưởng làm việc theo chu trình Carnot, trong một chu kỳ thu được của nguồn nóng 600cal, nhiệt độ của nguồn nóng là $T_1 = 400\text{K}$. Nhiệt độ của nguồn lạnh là $T_2 = 300\text{K}$. Tính:

a) Công mà động cơ sinh ra trong một chu kỳ?

b) Nhiệt lượng động cơ nhả ra nguồn lạnh trong một chu kỳ?

$$\text{Đáp số: } A' = 627\text{J}$$

$$Q' = 450\text{cal}$$

4. Một máy nhiệt làm việc theo chu trình Carnot. Hãy xác định hiệu suất chu trình nếu trong một chu kỳ công sinh ra bằng 3000J và nguồn lạnh nhận được 3200cal.

$$\text{Đáp số: } \eta = 18\%$$

5. Một máy nhiệt lý tưởng làm việc theo chu trình Carnot có công suất là 73600W. Nhiệt độ nguồn nóng là 100°C . Nhiệt độ nguồn lạnh là 0°C . Tính:

a) Hiệu suất của máy?

b) Nhiệt lượng máy thu trong một giây?

c) Nhiệt lượng máy nhả cho nguồn lạnh trong một giây?

$$\text{Đáp số: } \eta = 26,8\%$$

$$Q_1 = 65700\text{cal}$$

$$Q_2' = 48092\text{cal}$$

6. Một máy hơi nước có công suất bằng 14,7kW tiêu thụ 8,1kg than trong một giờ. Năng suất toả nhiệt của than là 7800kcal/kg. Nhiệt độ nguồn nóng 200°C, nhiệt độ nguồn lạnh là 58°C.

Hãy tìm hiệu suất thực của máy: η_1 . So sánh η_1 theo hiệu suất lý tưởng η_2 của máy nhiệt làm việc theo chu trình Carnot với những nguồn nhiệt kể trên.

$$\text{Đáp số: } \eta_1 = 20\%$$

$$\eta_2 = 30\%$$

7. Tính độ tăng entropy trong quá trình biến đổi 1g nước đá ở 0°C thành hơi nước ở 100°C. Biết nhiệt hóa hơi của nước là $2,25 \cdot 10^6 \text{J/kg}$ và nhiệt dung riêng của nước là $4,18 \cdot 10^3 \text{J/kg.K}$.

Hướng dẫn:

– Ứng với quá trình 1:

$$\Delta S_1 = \int_{T_2}^{T_1} m \cdot C \cdot \frac{dT}{T}$$

– Ứng với quá trình 2:

$$\Delta S_2 = \frac{Q}{T_2} = \frac{m \cdot L}{T_2}$$

$$\text{Đáp số: } \Delta S = 1,74\text{cal/K}$$

8. Phải dùng bao nhiêu công để lấy 1,0J nhiệt lượng.

a) Từ nguồn nhiệt 7°C chuyển cho nguồn nóng 27°C bằng máy làm lạnh chạy theo chu trình Carnot.

b) Từ nguồn lạnh – 73°C chuyển cho nguồn nóng 27°C bằng máy làm lạnh chạy theo chu trình Carnot.

c) Từ nguồn nhiệt – 13°C chuyển cho nguồn nóng 27°C bằng máy làm lạnh chạy theo chu trình Carnot.

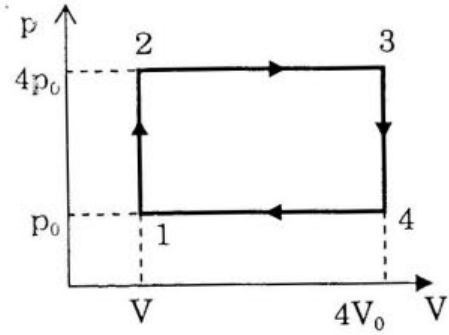
$$\text{Đáp số: a) } 0,071\text{J}$$

$$\text{b) } 0,5\text{J}$$

$$\text{c) } 0,15\text{J.}$$

9. Hình bên là chu trình hoạt động của động cơ nhiệt, tác nhân coi là khí lý tưởng. Tính hiệu suất động cơ.

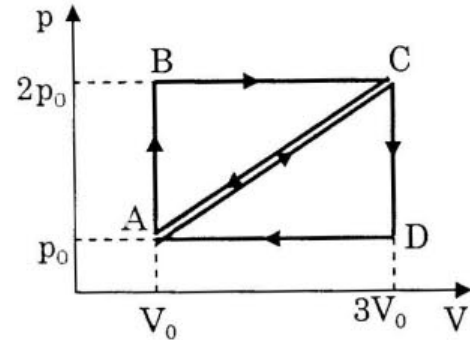
Đáp số: $\eta = 26\%$



10. Hình bên biểu diễn hai động cơ chạy theo chu trình thuận: chu trình ABCA và chu trình ACDA. Cả hai đều với tác nhân là khí đơn nguyên tử và điều kiện lý tưởng.

- a) Những quá trình nào là toả nhiệt, thu nhiệt.
b) Tính tỷ số hiệu suất hai chu trình.

Đáp số: $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{21}{23}$



Chương 11

CHẤT LỎNG

MỤC TIÊU

1. Trình bày được cấu tạo và chuyển động của các phân tử chất lỏng làm cho chất lỏng có những tính chất riêng của nó.
2. Trình bày được các hiện tượng mặt ngoài của chất lỏng – Nêu các ứng dụng trong ngành Y – Dược.
3. Biết ứng dụng phần lý thuyết đã học để tiến hành đo các hằng số vật lý đặc trưng cho trạng thái của chất lỏng: hệ số nở, hệ số sức căng mặt ngoài của chất lỏng.

11.1. CẤU TẠO VÀ CHUYỂN ĐỘNG PHÂN TỬ CỦA CHẤT LỎNG

11.1.1. Trạng thái lỏng của các chất

Trong phân khí thực, ta đã thấy lúc nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ tới hạn, nếu nén mạnh chất khí, nó sẽ biến sang trạng thái lỏng. Thực nghiệm chứng tỏ rằng nếu tiếp tục làm lạnh chất lỏng sẽ đông đặc và chuyển sang thể rắn. Vậy có thể nói, trạng thái lỏng là trạng thái trung gian giữa trạng thái khí và rắn.

Tùy theo nhiệt độ và áp suất, chất lỏng có tính chất gần chất khí và gần chất rắn.

Ở nhiệt độ gần nhiệt độ tới hạn, chất lỏng có nhiều tính chất giống chất khí, và lúc nhiệt độ bằng nhiệt độ tới hạn không còn ranh giới giữa lỏng và khí nữa.

Ở nhiệt độ gần nhiệt độ đông đặc, chất lỏng lại có nhiều tính chất tương tự chất rắn, lúc đó các phân tử lại không hoàn toàn chuyển động hỗn độn mà chúng sắp xếp tương đối thứ tự, gần giống như các tinh thể vật rắn. Tuy nhiên ở trạng thái bình thường, chất lỏng có nhiều tính chất khác chất khí và chất rắn, ví dụ: tính chảy được, không có hình dạng xác định...

Tính chất hai mặt của chất lỏng liên quan đến cấu tạo và chuyển động phân tử của nó.

11.1.2. Cấu tạo và chuyển động phân tử của chất lỏng

Ta biết rằng năng lượng chuyển động nhiệt của các phân tử chất lỏng vào cỡ

độ sâu của hố thế năng. Như vậy năng lượng ứng với một bậc tự do $\frac{1}{2}.k.T$ sẽ bé hơn độ sâu của hố, do đó các phân tử chất lỏng không thể dịch chuyển tự do mà chỉ thực hiện các dao động quanh vị trí cân bằng. Tuy nhiên giá trị $\frac{1}{2}.k.T$ không nhỏ hơn độ sâu của hố thế năng nhiều quá, vì vậy do thăng giáng động năng phân tử đủ lớn và phân tử có thể vượt qua hố thế năng để di chuyển đến một vị trí cân bằng mới. Người ta nói các phân tử chất lỏng sống cuộc đời "du mục", sau một thời gian "định cư" phân tử lại "nhỏ lều" đi nơi khác.

Thời gian dao động quanh vị trí cân bằng của chất lỏng phụ thuộc vào nhiệt độ. Khi tăng nhiệt độ thời gian đó giảm, ở nhiệt độ gần nhiệt độ đông đặc, thời gian đó rất lớn. Nghiên cứu về chuyển động phân tử trong chất lỏng, người ta đã tìm ra công thức:

$$\bar{\tau} = \tau_0 \cdot e^{\frac{W}{k.T}} \tag{11.1}$$

Trong đó:

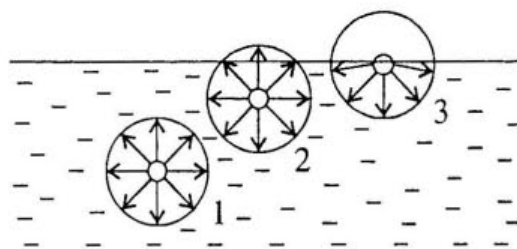
- $\bar{\tau}$: thời gian dao động trung bình của phân tử quanh một vị trí cân bằng.
- k: hằng số Boltzman.
- T: nhiệt độ tuyệt đối.
- τ_0 : chu kỳ dao động trung bình của phân tử quanh vị trí cân bằng.
- W: năng lượng hoạt động của phân tử.

Với nước, ở nhiệt độ thông thường $\bar{\tau} = 10^{-11}$ giây, trong khi đó $\tau_0 = 10^{-13}$ giây. Như vậy, cứ dao động khoảng 100 chu kỳ, phân tử nước lại dịch đi chỗ khác.

11.2. CÁC HIỆN TƯỢNG MẶT NGOÀI CỦA CHẤT LỎNG

11.2.1. Áp suất phân tử

Trong chất lỏng khoảng cách phân tử nhỏ so với chất khí, vì vậy lực hút phân tử đóng vai trò đáng kể. Tuy nhiên lực hút phân tử giảm nhanh theo khoảng cách, do đó chỉ những phân tử cách nhau một khoảng nhỏ hơn $2r$ vào cỡ $10^{-9}m$ mới tác dụng lên nhau. Nếu từ một phân tử làm tâm, ta vẽ một mặt cầu bán kính r thì phân tử trên chỉ tương tác với các phân tử nằm trong mặt cầu đó. Mặt cầu như vậy được gọi là mặt cầu bảo vệ (hình 11.1).



Hình 11.1. Mặt cầu bảo vệ

Ở vị trí (1), các phân tử nằm sâu trong lòng chất lỏng, mặt cầu bảo vệ của chúng nằm hoàn toàn trong chất lỏng, lực tác dụng lên mỗi phân tử đó về mọi phía bù trừ cho nhau. Đối với những phân tử nằm ở vị trí (3), chúng nằm ở lớp mặt ngoài (có bề dày nhỏ hơn 10^{-9}m) thì mặt cầu bảo vệ của chúng không nằm hoàn toàn trong chất lỏng, có một phần nằm trong vùng khí, hút các phân tử này lên phía trên với một lực rất yếu, không đáng kể, còn các phân tử chất lỏng ở dưới hút các phân tử này với lực lớn hơn, do đó lực tác dụng lên mỗi phân tử đó không bù trừ nhau (hình 11.1) và mỗi phân tử chịu một lực tổng hợp hướng vào trong chất lỏng. Lực này ép lên phần chất lỏng phía trong và gây nên một áp suất gọi là áp suất phân tử. Áp suất này chính là nội áp p_i trong phương trình Vandecvan.

Đối với nước áp, suất phân tử có giá trị đến hàng vạn atm.

Mặc dầu áp suất phân tử rất lớn nhưng nó không nén được các phân tử ở phía trong sát nhau lại. Vì khi các phân tử sát lại gần nhau một khoảng cách nhỏ hơn r_0 (r_0 là khoảng cách mà tại đó lực hút cân bằng với lực đẩy) thì lúc đó lực đẩy lại chống lại áp suất phân tử và làm cho các phân tử không sát lại nhau. Do đó các chất lỏng có tính khó nén.

Cần chú ý rằng không thể đo được áp suất phân tử vì nó luôn luôn hướng vào trong lòng chất lỏng.

11.2.2. Năng lượng mặt ngoài và sức căng mặt ngoài của chất lỏng

11.2.2.1. Năng lượng mặt ngoài của chất lỏng

Lớp mặt ngoài của chất lỏng có những tính chất khác với phần bên trong của chất lỏng. Ta biết rằng các phân tử lớp mặt ngoài bị các phân tử phía trong hút, vì vậy năng lượng của chúng ngoài động năng chuyển động nhiệt còn có thể năng quy định bởi các lực hút đó. Nếu nhiệt độ đồng đều, thì năng lượng trung bình chuyển động nhiệt của các phân tử lớp mặt ngoài và phía trong giống nhau, còn về thế năng thì khi đem phân tử từ các lớp trong ra mặt ngoài, ta cần thực hiện một công chống lại lực hút phân tử, công đó làm tăng thế năng phân tử. Do đó, các phân tử ở lớp mặt ngoài có thế năng lớn hơn so với thế năng của các phân tử ở phía trong. Như vậy các phân tử mặt ngoài có năng lượng tổng cộng lớn hơn so với năng lượng của các phân tử ở phía trong. Phần năng lượng lớn hơn đó được gọi là năng lượng mặt ngoài của chất lỏng.

Số phân tử lớp mặt ngoài càng nhiều thì năng lượng mặt ngoài càng lớn, vì vậy năng lượng mặt ngoài tỷ lệ với diện tích mặt ngoài.

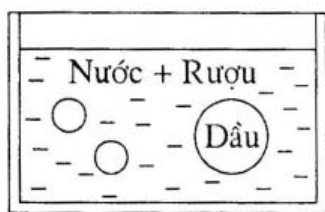
Gọi ΔE và ΔS là năng lượng và diện tích mặt ngoài, ta có:

$$\Delta E = \delta \cdot \Delta S \quad (11.2)$$

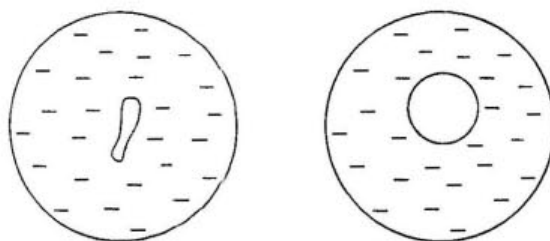
δ là một hệ số tỷ lệ phụ thuộc chất lỏng gọi là hệ số sức căng mặt ngoài.

Ta biết rằng một hệ ở trạng thái cân bằng bền lúc thế năng cực tiểu, vì vậy chất lỏng ở trạng thái cân bằng bền lúc diện tích mặt ngoài của nó nhỏ nhất. Thông thường do tác dụng của trọng lực nên chất lỏng chiếm chỗ phần dưới của bình chứa và mặt ngoài là mặt thoáng nằm ngang nhưng nếu ta khử được tác dụng của trọng lực, thì khối chất lỏng sẽ có dạng hình cầu, tức là hình có diện tích mặt ngoài nhỏ nhất trong các hình có cùng diện tích.

Thí nghiệm sau đây cho ta thấy điều đó. Bỏ một ít giọt dầu vào trong dung dịch rượu cùng tỷ trọng (không hoà tan dầu); trọng lượng của các giọt dầu bị triệt tiêu bởi sức đẩy Acsimet nên các giọt dầu có dạng những quả cầu lơ lửng trong dung dịch (hình 11.2).



Hình 11.2. Những giọt dầu trong dung dịch có dạng hình cầu

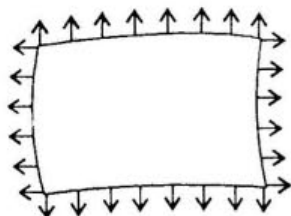


Hình 11.3. Vòng chỉ dạng hình tròn

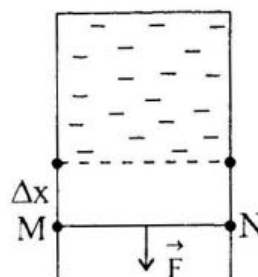
Nếu lấy một khung dây thép nhúng vào nước xà phòng ta sẽ được một màng xà phòng phủ kín khung. Thả vào đó một vòng chỉ rồi chọc thủng màng xà phòng ở phía trong vòng chỉ, vòng chỉ sẽ trở thành hình tròn (hình 11.3). Sở dĩ như vậy vì do điều kiện năng lượng cực tiểu nên diện tích màng xà phòng còn lại phải nhỏ nhất, tức là diện tích thủng phải lớn nhất. Muốn vậy thì diện tích thủng phải là hình tròn, vì trong các hình cùng chu vi, hình tròn là hình có diện tích lớn nhất.

11.2.2.2. Sức căng mặt ngoài

Các thí nghiệm trên đây chứng tỏ diện tích mặt ngoài của chất lỏng có khuynh hướng tự co lại, vì vậy về một phương diện nào đấy, mặt ngoài chất lỏng giống như một màng cao su bị căng. Để giữ nguyên tình trạng mặt ngoài của chất lỏng, ta phải tác dụng lên chu vi mặt ngoài những lực vuông góc với đường chu vi và tiếp tuyến với mặt ngoài, lực đó gọi là sức căng mặt ngoài.



Hình 11.4. Sức căng mặt ngoài



Hình 11.5. Để tính lực căng mặt ngoài

Để tính giá trị sức căng mặt ngoài người ta làm thí nghiệm sau:

Lấy một khung dây thép có cạnh MN chiều dài bằng l , có thể linh động được (hình 11.5).

Nhúng khung vào nước xà phòng và lấy ra, ta được một màng xà phòng. Để màng khỏi co lại, cần phải tác dụng lên MN một lực F đúng bằng sức căng mặt ngoài. Dịch chuyển cạnh MN một đoạn Δx , diện tích mặt ngoài tăng lên một lượng là:

$$\Delta S = 2.l.\Delta x$$

Sở dĩ có thừa số 2 trong vế phải là vì màng xà phòng có hai mặt ngoài ở hai phía.

Công thực hiện bởi lực F trong dịch chuyển Δx là:

$$\Delta A = F.\Delta x$$

Công này dùng để làm tăng diện tích mặt ngoài lên ΔS , tức là đã làm tăng năng lượng mặt ngoài lên một lượng ΔE . Theo (11.2) ta có:

$$\Delta E = \Delta A = \delta.\Delta S$$

Từ đó ta suy ra:

$$F = \delta.2.l \text{ với } 2l \text{ chính là chiều dài của đường chu vi.}$$

Trường hợp tổng quát, sức căng có thể thay đổi được dọc theo đường chu vi, lúc đó xét một đoạn Δl đủ nhỏ của chu vi, ta áp dụng công thức trên:

$$\Delta F = \delta.\Delta l \tag{11.3}$$

Trong đó ΔF là sức căng tác dụng lên đoạn Δl .

Từ (11.3) ta thấy nếu Δl bằng một đơn vị chiều dài thì $\delta = \Delta F$. Vì vậy có thể định nghĩa δ như sau: *Hệ số sức căng mặt ngoài là một đại lượng vật lý về trị số bằng sức căng tác dụng lên một đơn vị chu vi mặt ngoài.*

Trong hệ SI, δ đo bằng đơn vị Newton/mét. Với một chất lỏng cho trước, δ phụ thuộc nhiệt độ, khi nhiệt độ tăng thì δ giảm.

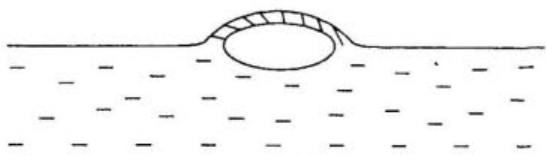
Bảng sau cho giá trị sức căng mặt ngoài của một số chất lỏng ở 20°C.

Chất lỏng ở 20°C	δ (N/m)
Nước	0,073
Thuỷ ngân	0,540
Ete	0,017

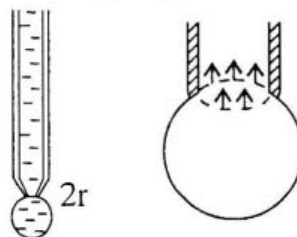
Ứng dụng của hiện tượng:

- Giải thích sự tạo thành lớp bọt trong chất lỏng.
- Sự tạo thành giọt khi chất lỏng chảy qua một lỗ nhỏ...

Những hiện tượng đó là do hiện tượng sức căng mặt ngoài gây nên. Do đó có thể ứng dụng để đo hệ số sức căng mặt ngoài bằng phương pháp ống đếm giọt. Phương pháp này được trình bày kỹ trong giáo trình thực tập.



Hình 11.6. Bọt khí dưới mặt chất lỏng



Hình 11.7. Giọt chất lỏng khi ra khỏi ống thẳng

11.3. HIỆN TƯỢNG LÀM ƯỚT VÀ KHÔNG LÀM ƯỚT

Thông thường ở điều kiện cân bằng thủy tĩnh mặt thoáng của chất lỏng là mặt nằm ngang. Nhưng ở chỗ chất lỏng tiếp xúc với thành bình do ảnh hưởng của lực phân tử phía thành bình, mặt thoáng của chất lỏng bị cong đi.

Gọi O là điểm mặt thoáng chạm thành bình, tại vị trí đó không những tồn tại lực hút phân tử của chất lỏng mà còn có lực hút phân tử của chất rắn đối với chất lỏng.

11.3.1. Hiện tượng dính ướt

Gọi F_1 là tổng cộng các lực của các phân tử nước tác dụng lên phân tử A nằm sát thành bình.

Gọi F_2 là tổng cộng lực các phân tử thành bình tác dụng lên phân tử A .

Trường hợp lực F_2 có trị số lớn hơn F_1 thì tổng hợp lực F hướng vào thành bình, chính lực này đã đẩy các phân tử chất lỏng xô vào thành bình tạo thành mặt cong lõm: chất lỏng làm ướt bình (hình 11.8).

Dạng mặt ngoài của chất lỏng được xác định bởi góc làm ướt θ . Đó là góc giữa tiếp tuyến của bề mặt chất lỏng và thành bình tiếp xúc với chất lỏng.

Nếu $\theta < 90^\circ$: ta nói chất lỏng làm ướt vật. Ví dụ: nước làm ướt thủy tinh, giọt dầu loang rộng trên mặt nước...

Nếu $\theta = 0^\circ$: ta nói chất lỏng làm ướt hoàn toàn vật.

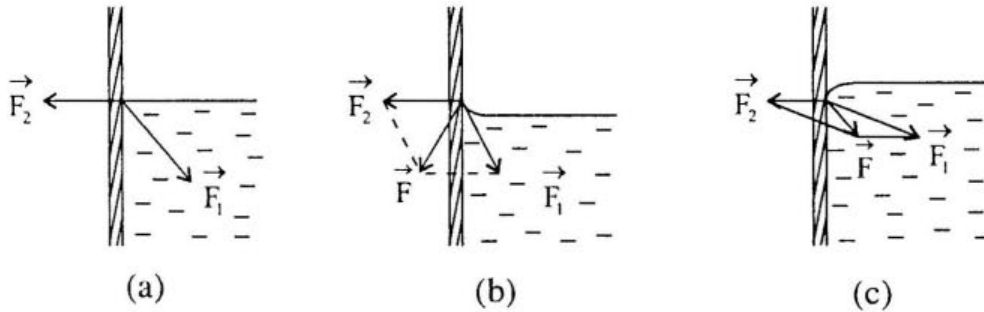
11.3.2. Trường hợp không dính ướt

Trường hợp F_2 có trị số bé hơn F_1 nên tổng hợp lực F 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.

Trong trường hợp này góc $\theta > 90^\circ$. Ví dụ thủy ngân trong thủy tinh góc $\theta = 169^\circ$.

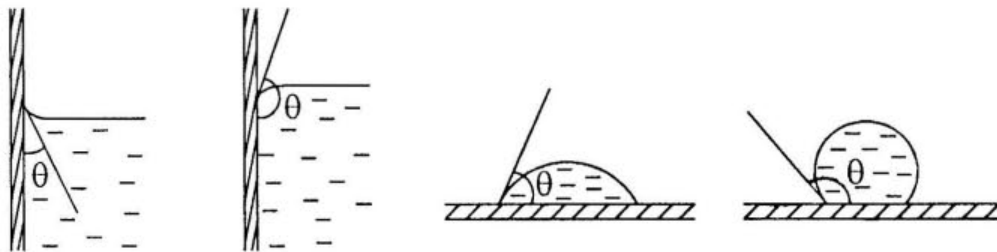
Nếu $\theta = 180^\circ$: chất lỏng không làm ướt hoàn toàn chất rắn (Hình 11.8).

Góc θ phụ thuộc bản chất các chất tiếp xúc với nhau, phụ thuộc trạng thái bề mặt tiếp xúc với chất lỏng.



Hình 11.8

- a) Lực tác dụng lên phân tử nằm ở biên giới.
- b, c) Dạng mặt ngoài của chất lỏng.



Hình 11.9. Góc làm ướt θ

Ứng dụng: giải thích sự tạo thành giọt của chất lỏng khi chảy qua các ống có đường kính nhỏ. Chính điều đó trong Y học người ta có thể lấy giọt thuốc làm đơn vị liều lượng, chế tạo các vải bạt...

11.4. HIỆN TƯỢNG MAO DẪN

11.4.1. Áp suất phụ dưới mặt khum

Như ta đã biết mặt thoáng chất lỏng do tồn tại sức căng mặt ngoài nên có thể coi như một màng đàn hồi, do đó nó có dạng lồi lên hoặc lõm xuống. Xu hướng của bề mặt cong là có diện tích tạo ra một áp suất Δp phụ thêm vào áp suất phân tử.

Trường hợp bề mặt chất lỏng là mặt thoáng lồi (chất lỏng không làm ướt chất rắn), 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 11.10). Kết quả chung là mặt thoáng lồi chịu tác dụng một áp suất phụ Δp hướng xuống phía dưới.

Trường hợp 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 hướng lên trên.

Áp suất phụ Δp này được tính theo công thức:

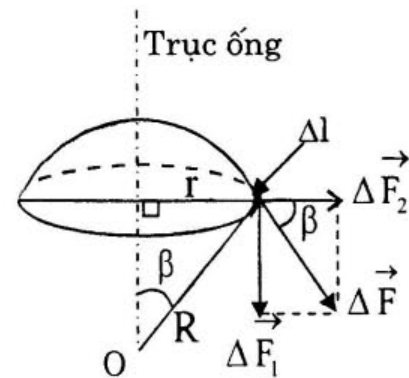
$$\Delta p = \frac{2\delta}{R} \quad (11.4)$$

Trong đó R là bán kính của mặt cong, δ là hệ số sức căng mặt ngoài.

Công thức có thể được chứng minh như sau:

Xét một mặt cong dạng chỏm cầu, đặc trưng bằng bán kính cong R và khẩu kính r (hình 11.10). Xét một phân tử Δl trên chu vi C , nó chịu tác dụng của một lực căng $\vec{\Delta F}$, $\vec{\Delta F}$ vuông góc với Δl và tiếp tuyến với mặt cong.

Theo (11.3) $\Delta F = \delta \cdot \Delta l$. Phân tích $\vec{\Delta F}$ thành hai thành phần: thành phần nằm ngang $\vec{\Delta F}_2$ và thành phần thẳng đứng $\vec{\Delta F}_1$. Từ (hình 11.10):



Hình 11.10. Tính áp suất phụ

$$\Delta F_1 = \Delta F \cdot \sin\beta \text{ và } \Delta F_2 = \Delta F \cdot \cos\beta$$

Thành phần ΔF_1 gây ra áp suất phụ. Tính sức căng \vec{F} nén lên chất lỏng bằng tổng các lực $\vec{\Delta F}_1$ và có độ lớn:

$$F = \sum \Delta F_1 = \sum \Delta F \cdot \sin\beta = \sum \delta \cdot \Delta l \cdot \frac{r}{R} = \frac{\delta \cdot r}{R} \cdot \sum \Delta l$$

Vì rằng $\sum \Delta l$ bằng chu vi vòng tròn C , nên ta có:

$$F = \frac{\delta \cdot r}{R} \cdot 2\pi \cdot r = \frac{\delta \cdot 2\pi \cdot r^2}{R}$$

Lực này phân phối đều và ép lên diện tích chỏm cầu là $\pi \cdot r^2$, tạo ra áp suất phụ Δp . Do đó áp suất phụ Δp sẽ là:

$$\Delta p = \frac{F}{S} = \frac{2\pi \cdot r^2 \cdot \delta}{R \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{2\delta}{R} \quad (11.5)$$

Trường hợp mặt khum lõm:

$$\Delta p = -\frac{2\delta}{R} \quad (11.6)$$

Hai công thức (11.5) và (11.6) có thể viết chung:

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \delta}{R} \quad (11.7)$$

Với quy ước: $R > 0$ nếu bán kính mặt cầu hướng về phía chất lỏng.

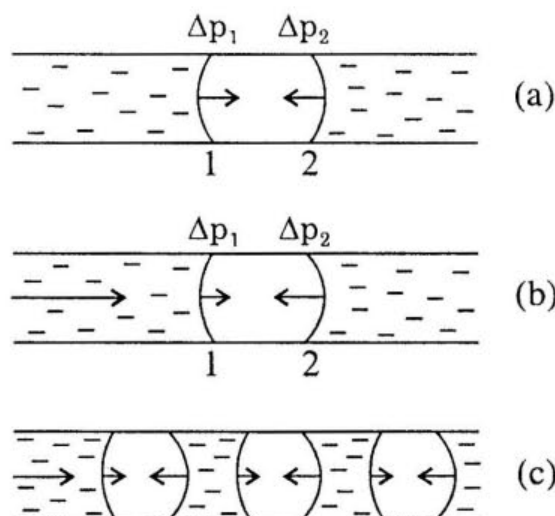
$R < 0$ nếu bán kính mặt cầu hướng ra khỏi chất lỏng.

Trường hợp mặt thoáng là mặt phẳng ($R = \infty$) áp suất phụ $\Delta p = 0$.

Ý nghĩa của áp suất phụ trong sự chảy của chất lỏng trong một ống dẫn hình trụ là ở chỗ: trong một ống 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 được gọi là chuỗi hạt mao quản.

Thật vậy, 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 hướng vào mặt khum lõm. Nếu ống trụ đều thì $\Delta p_1 = \Delta p_2$ nhưng ngược chiều nhau (hình 11.11a).

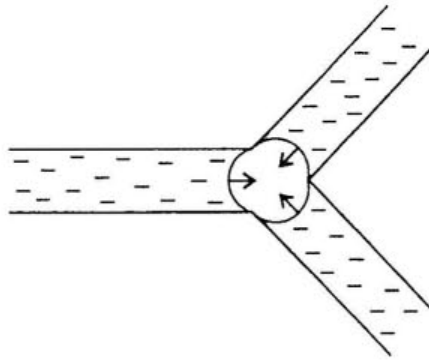


Hình 11.11. Ảnh hưởng của bọt khí

– Nếu chất lỏng chuyển động (từ trái sang phải chẳng hạn) mặt 1 bị bẹt ra, bán kính cong lớn lên, do đó: $\Delta p_1 = \frac{2 \cdot \delta}{R_1}$ sẽ bé, mặt 2 lõm vào, bán kính cong R_2 bé đi, do đó: $\Delta p_2 = \frac{2 \cdot \delta}{R_2}$ sẽ lớn lên. Δp_2 có giá trị lớn hơn Δp_1 sẽ cản chuyển động của chất lỏng (hình 11.11b). Tác dụng cản chuyển động càng tăng khi có một chuỗi bọt (hình 11.11c) gọi là chuỗi hạt mao quản hoặc khi có bọt chỗ phân nhánh (hình 11.12).

Từ đó, ta thấy khi có bọt khí lọt vào mạch máu có thể làm ngưng sự tuần hoàn. Do đó, cần chú ý đẩy hết bọt khí trước khi tiêm thuốc vào tĩnh mạch. Thợ

lặn trước khi lên khỏi mặt nước phải cho áp lực khí trong bộ đồ lặn giảm từ từ nếu không thì khí nitơ tan trong máu thoát ra nhanh quá làm phổi không kịp bài tiết sẽ tạo thành chuỗi hạt mao quản ngăn cản sự tuần hoàn. Những phi công lái máy bay ở tầng cao của khí quyển nếu buồn lái không kín cũng có thể gặp tai nạn tương tự như thợ lặn.



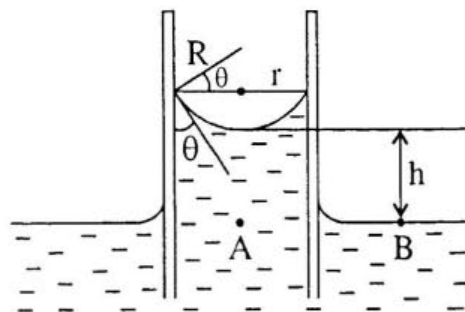
Hình 11.12.

11.4.2. Hiện tượng mao dẫn

Nhúng một ống thủy tinh có tiết diện nhỏ vào một cốc đựng chất lỏng thì nhận thấy mặt chất lỏng trong ống thủy tinh có thể lồi hoặc lõm, dâng cao hơn hay hạ thấp hơn so với mực ngoài, đó là hiện tượng mao dẫn.

Do hiện tượng dính ướt và không dính ướt bề mặt chất lỏng trong ống bị cong sẽ chịu thêm một áp suất phụ hướng lên trên (mặt lõm xuống) hoặc hướng xuống dưới (mặt lồi lên) làm giảm áp suất khí quyển (hoặc tăng) trên mặt ống. Do đó, chất lỏng phải dâng lên để cho áp suất tại hai điểm có cùng độ cao phải bằng nhau.

Ta tính độ cao dâng lên hay hạ xuống trong ống. Giả sử chất lỏng làm ướt chất rắn (nước và thủy tinh), tiết diện cong của mặt thoáng là một chỏm cầu bán kính R (hình 11.13).



Hình 11.13. Tính độ cao h dâng lên trong mao quản

Gọi h là cột chiều cao của chất lỏng trong ống mao dẫn, θ là góc bờ.

Ở trạng thái cân bằng, áp suất giữa hai điểm A và B có cùng độ cao phải bằng nhau:

$$p_A = p_B \rightarrow p_B = p_0$$

$$p_A = p_0 - \Delta p + \rho \cdot g \cdot h$$

Do đó ta có:

$$p_0 = p_0 - \Delta p + \rho \cdot g \cdot h$$

Tương tự ở chất lỏng không làm ướt (thuỷ ngân và thuỷ tinh):

$$p_0 = p_0 + \Delta p - \rho \cdot g \cdot h$$

Ta có:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h$$

Và bằng:

$$\frac{2 \cdot \delta}{R} = \rho \cdot g \cdot h$$

Bán kính cong R thường khó xác định nên ta thay bằng bán kính r của ống mao quản. Ta có biểu thức:

$$r = R \cdot \cos \theta$$

Từ đó suy ra:

$$\frac{2 \cdot \delta \cdot \cos \theta}{r} = \rho \cdot g \cdot h$$

Và:

$$h = \frac{2 \cdot \delta \cdot \cos \theta}{r \cdot \rho \cdot g} \quad (11.8)$$

Công thức (11.8) được gọi là công thức Gunrin. Từ công thức (11.8) ta nhận thấy: dấu của $\cos \theta$ cho phép xác định xem chất lỏng dâng lên hay hạ xuống trong ống mao dẫn.

+ Khi $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$: chất lỏng làm ướt chất rắn thì $\cos \theta > 0$ và chất lỏng dâng lên trong ống ($h > 0$).

+ Khi $\frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi$: chất lỏng không làm ướt chất rắn thì $\cos \theta < 0$ và chất lỏng hạ xuống ($h < 0$).

Từ đó ta nhận thấy có thể xác định hệ số sức căng mặt ngoài bằng cách đo chiều cao h và bán kính r của ống mao quản.

Trong trường hợp chất lỏng làm ướt hoàn toàn chất rắn thì $\theta = 0^\circ$. Do đó $\cos\theta = 1$ và công thức Jurin trở thành:

$$h = \frac{2\delta}{r \cdot \rho \cdot g} \quad (11.9)$$

$$\delta = \frac{\rho \cdot g \cdot r \cdot h}{2} \quad (11.10)$$

Nhiều hiện tượng trong đời sống kỹ thuật và tự nhiên được giải thích bằng hiện tượng mao dẫn: bông, bác đèn, giấy thấm... có khả năng hút các chất lỏng vì khe hẹp trong các chất này là các ống mao dẫn. Các chất dinh dưỡng nước được chuyển từ dưới lên trên ở những cây cao vài mét, còn những cây cao hàng chục mét ngoài hiện tượng mao dẫn để dẫn nước và các chất dinh dưỡng nuôi cây còn có hiện tượng thẩm thấu của các tế bào sống nữa vì sức mao dẫn chỉ đưa nhựa và các chất khác lên cao được vài mét.

11.5. HIỆN TƯỢNG BAY HƠI – HIỆN TƯỢNG SÔI

11.5.1. Hiện tượng bay hơi

Chất lỏng đựng trong bình không kín thường có sự bay hơi. Đó là hiện tượng chất lỏng biến thành chất hơi.

Sự bay hơi xảy ra trong mọi nhiệt độ, nhưng nhiệt độ càng cao thì sự bay hơi xảy ra càng mạnh.

Điều kiện để có sự bay hơi: muốn bay hơi ra khỏi mặt thoáng, các phân tử chất lỏng cần một động năng nào đó để thắng lực hút trong chất lỏng, lực đó gây ra bởi các phân tử chất lỏng dưới mặt thoáng.

Gọi A là công giữ các phân tử khỏi bay hơi thì các phân tử phải có động năng thoả mãn điều kiện sau đây:

$$\frac{m \cdot V_n^2}{2} \geq A \quad (11.11)$$

Trong đó:

m là khối lượng phân tử.

V_n là thành phần vận tốc theo phương pháp tuyến với mặt thoáng.

Nhiệt độ của khối chất lỏng càng cao, số phân tử có vận tốc lớn càng nhiều, số phân tử thoả mãn điều kiện bay hơi tăng lên do đó hiện tượng bay hơi xảy ra mạnh hơn.

11.5.2. Hiện tượng sôi

11.5.2.1. Định nghĩa

Hiện tượng sôi là hiện tượng bay hơi không những ở trên bề mặt mà ngay cả ở trong lòng khối chất lỏng.

11.5.2.2. Giải thích

Khi ta đun chất lỏng, các bọt hơi xuất hiện đầu tiên ở đáy nồi đun và xung quanh thành nồi. Bọt hơi ở trong lòng chất lỏng chịu tác dụng của các áp suất:

- Áp suất trên bề mặt: p_0 .
- Áp suất thuỷ tĩnh: p_{tt} .
- Áp suất phụ: Δp .
- Áp suất hơi bão hoà P_{bh} .

Trong đó áp suất hơi bão hoà trong bọt khí chống lại áp suất nén, áp suất thuỷ tĩnh và áp suất phụ.

Điều kiện sôi:

$$P_{bh} = p_0 + p_{tt} + \Delta p$$

$$P_{bh} = p_0 + \rho \cdot g \cdot h + \frac{2 \cdot \delta}{R}$$

Thông thường áp suất thuỷ tĩnh rất nhỏ so với áp suất nén p_0 , coi $p_{tt} \approx 0$.

Áp suất phụ $\Delta p = \frac{2 \cdot \delta}{R}$, khi nhiệt độ càng tăng bọt hơi càng lớn dần, vậy bán kính R càng tăng, do đó Δp càng giảm, thông thường $\Delta p \ll p_0$ có thể bỏ qua được.

Vậy điều kiện sôi:

$$P_{bh} \geq p_0 \quad (11.12)$$

Nhiệt độ khối chất lỏng ứng với điều kiện sôi gọi là nhiệt độ sôi hay điểm sôi.

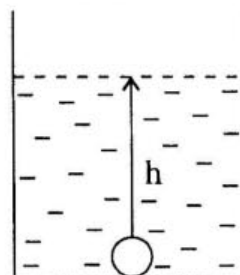
Đối với mỗi chất lỏng ở điều kiện bình thường điểm sôi là một hằng số. Do đó nhờ vào tính chất này, ta có thể xác định định tính các chất.

11.5.2.3. Nhiệt lượng sôi riêng (X_s)

Nhiệt lượng sôi riêng (X_s) là nhiệt lượng cần thiết để biến một khối lượng chất lỏng đã ở nhiệt độ sôi hoàn toàn biến thành hơi.

Thực nghiệm đã xác nhận:

$$\frac{dp_{bh}}{dT_s^0} = \frac{X_s}{T_s^0 \cdot (V_h - V_l)} \quad (11.13)$$



Hình 11.14. Giải thích hiện tượng sôi

Trong đó:

T_s^0 : nhiệt độ sôi.

V_h : thể tích riêng của chất ở thể hơi.

V_l : thể tích riêng của chất ở thể lỏng.

Theo công thức (11.13): $p_{bh} \approx p_0$.

Do đó:

$$\frac{dT_s^0}{dp_{bh}} = \frac{T_s^0 \cdot (V_h - V_l)}{X_s}$$

Vì $(V_h - V_l) > 0$; $\frac{dT}{dp_{bh}} > 0$: hàm đồng biến.

Ứng dụng: được dùng trong hấp tiệt trùng: khi áp suất buồng hấp lớn thì nhiệt độ sôi cao hoặc cô dung dịch ở nhiệt độ thấp khi áp suất thấp sẽ có nhiệt độ sôi thấp.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Tại sao áp suất phân tử ép vào trong lòng chất lỏng rất lớn mà các vật, con vật, người bơi trong nước không bị áp suất này nén đè bẹp?
2. Tại sao bề mặt chất lỏng có xu hướng co lại?
3. Cái kim có thể nổi trên mặt nước được hay không? Tại sao?
4. Tại sao cát ướt lại bền vững dưới bước chân của người hơn là cát khô?
5. Tại sao các bọt khí có xu hướng chống lại sự lưu thông của máu trong các mạch máu?
6. Muốn tránh được hiện tượng chặm sôi trong chất lỏng khi đun ta phải làm thế nào?
7. Bạn cầm một cán búa nhẵn đóng đinh. Khi cán búa khô bạn thấy dễ bị tuột tay, bôi ít nước bạn cầm thấy chắc chắn, nếu cán búa ướt bạn lại thấy dễ bị tuột tay. Bạn có thấy như vậy không, hãy giải thích?
8. Tàu, thuyền khi bị đắm thường bị lộn ngược, tại sao?
9. Thanh gỗ khi nổi thì nằm ngang mặt nước. Nếu một đầu bị buộc vào vật nặng thì thanh gỗ lại dựng đứng trong nước. Tại sao?

BÀI TẬP MẪU VÀ BÀI TẬP GIẢI

Trong các bài tập sẽ làm sáng tỏ phần sức căng mặt ngoài, sự tạo thành giọt của chất lỏng.

Công thức thường dùng:

$$+ F = \delta.l$$

+ Điều kiện giọt chất lỏng rơi: $F_{sc} \geq P$

I. Bài tập mẫu

1. Khi các giọt nước có đường kính $d_1 = 2.10^{-6} \text{mm}$ tụ lại thành giọt nước lớn có đường kính $d_2 = 2 \text{mm}$ thì:

a) Năng lượng toả ra là bao nhiêu?

b) Nước nóng lên mấy độ?

Cho $\delta = 73.10^{-6} \text{N/m}$.

Giải:

$$\text{Cho } \begin{cases} r_1 = \frac{d_1}{2} = 10^{-3} \text{mm} = 10^{-6} \text{m}. \\ r_2 = \frac{d_2}{2} = 1 \text{mm} = 10^{-3} \text{m}. \\ \delta = 73.10^{-3} \text{N/m}. \end{cases} \quad \text{Tìm } \begin{cases} \Delta E \text{ thoát ra} = ? \\ \Delta t^\circ = ? \end{cases}$$

a) Những giọt nước có dạng hình cầu. Gọi n là số giọt nước nhỏ tụ thành giọt lớn. Diện tích mặt ngoài của n giọt là:

$$S_1 = n.4.\pi.r_1^2$$

Diện tích mặt ngoài của giọt lớn là:

$$S_2 = 4.\pi.r_2^2$$

Khi các giọt chất lỏng nhỏ tụ thành giọt lớn thì diện tích mặt ngoài thay đổi và năng lượng toả ra được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \delta.\Delta S = \delta.(S_1 - S_2) \\ &= \delta.(r_1^2 - r_2^2).4.\pi \end{aligned}$$

Mặt khác ta biết rằng tổng thể tích của các giọt nước nhỏ bằng thể tích của giọt nước lớn:

$$n.\frac{4.\pi}{3}.r_1^3 = \frac{4}{3}.\pi.r_2^3$$

Từ đó suy ra:

$$n = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^3$$

Do đó:

$$\Delta E = 4.\pi.\delta.r_2^2.\left(\frac{r_2}{r_1} - 1\right)$$

$$\Delta E = 4.3,14.73.10^{-3}.(10^{-3})^2.\left(\frac{10^{-2}}{10^{-6}} - 1\right)$$

$$\Delta E = 9.10^{-4} \text{ J}$$

b) Phần năng lượng được giải phóng do sự giảm diện tích mặt ngoài sẽ làm nóng giọt nước:

$$\Delta E \rightarrow Q = m.C.\Delta t^0$$

m: khối lượng giọt nước lớn:

$$m = \rho.V \text{ với } \rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$V = \frac{4}{3}.\pi.r_2^3$$

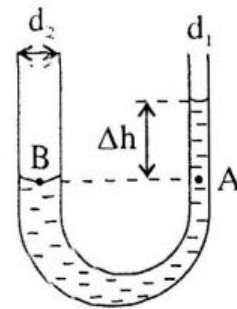
C: nhiệt dung riêng của nước. $C = 1 \text{ kcal/kg.độ} = 4,18 \text{ kJ/kg.độ}$

Δt^0 : độ tăng nhiệt độ của giọt nước.

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{m.C} = \frac{9.10^{-4}}{10^3.\frac{4}{3}.\pi.(10^{-3})^3.4,18}$$

$$\Delta t = 0,05^\circ\text{C}$$

2. Có một ống hình chữ U như hình vẽ, d_1 và d_2 là đường kính của hai nhánh, $d_1 = 1 \text{ mm}$; $d_2 = 2 \text{ mm}$. Độ chênh lệch mực nước giữa hai nhánh là $\Delta h = 1,4 \text{ cm}$. Xác định hệ số sức căng mặt ngoài δ của nước. Coi nước làm dính ướt hoàn toàn thành ống.



Hình 11.15

Giải:

$$\text{Cho } \begin{cases} d_1 = 1 \text{ mm} = 1.10^{-3} \text{ m.} \\ d_2 = 2 \text{ mm} = 2.10^{-3} \text{ m.} \\ \Delta h = 1,4 \text{ cm} = 1,4.10^{-2} \text{ m.} \end{cases} \quad \text{Tìm } \{ \delta$$

Ta lấy 2 điểm A và B (trên hình) cùng nằm trên một đường nằm ngang. Áp suất p_A tại điểm A bằng áp suất p_B tại điểm B.

$$p_A = p_B$$

p_A bằng tổng áp suất khí quyển p_0 , áp suất phụ Δp_1 gây bởi mặt khum, áp suất thủy tĩnh do cột chất lỏng Δh gây ra.

$$p_A = p_0 - \frac{2\delta}{r_1} + \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

Tương tự:
$$p_B = p_0 - \frac{2\delta}{r_2}$$

Do $p_A = p_B$, ta có:

$$p_0 - \frac{2\delta}{r_1} + \rho \cdot g \cdot \Delta h = p_0 - \frac{2\delta}{r_2}$$

Do đó:
$$\rho \cdot g \cdot \Delta h = \frac{2\delta}{r_1} - \frac{2\delta}{r_2}$$

$$\delta = \frac{\rho \cdot g \cdot \Delta h \cdot d_1 \cdot d_2}{4 \cdot (d_2 - d_1)} = 0,073 \text{ N/m}$$

$$\delta = 0,073 \text{ N/m}$$

II. Bài tập tự giải

1. Rượu đựng trong ống có đường kính 2mm chảy nhỏ giọt ra khỏi ống. Giọt nọ sau giọt kia 1 giây. Tính xem sau thời gian bao lâu thì rượu chảy được 10gam. Hệ số sức căng của rượu là $20 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$. Coi đường kính chỗ thắt của giọt bằng đường kính của ống.

Hướng dẫn: khi trọng lượng giọt rượu bằng lực căng thì giọt rơi.

$$\text{Đáp số: } t = 780 \text{ s} = 13 \text{ phút}$$

2. Hai giọt thủy ngân bán kính mỗi giọt là 1mm nhập lại thành 1 giọt lớn thì nhiệt độ giọt thủy ngân tăng lên được bao nhiêu?

Cho $\delta_{\text{Hg}} = 500 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$.

$$C_{\text{Hg}} = 0,033 \text{ kcal/kg} \cdot \text{độ}$$

$$D_{\text{Hg}} = 16800 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Đáp số: } \Delta t^0 = 1,65 \cdot 10^{-4} \text{ độ}$$

3. Hãy tìm hệ số sức căng mặt ngoài của một chất lỏng khi ở trong ống có đường kính $d = 1 \text{ mm}$, chất lỏng dâng cao $h = 32,6 \text{ mm}$. Khối lượng riêng của chất lỏng $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$. Góc ở bờ của mặt khum $\theta = 0^\circ$. Cho $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

$$\text{Đáp số: } \delta = 79,9 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$$

4. Để xác định hệ số sức căng mặt ngoài người ta đo trọng lượng của các giọt nước từ một ống mao dẫn và đường kính d ở chỗ thắt khi giọt đứt ra. Biết

ràng cứ 318 giọt nước thì nặng 5.10^{-2} N và $d = 0,7$ mm. Hỏi sức căng mặt ngoài của chất lỏng.

Hướng dẫn: khi trọng lượng giọt nước bằng sức căng thì giọt nước rơi.

$$\text{Đáp số: } \delta = 70.10^{-3} \text{N/m}$$

5. Một chất lỏng chảy từ bình ra ngoài theo từng giọt qua một ống nhỏ để thẳng đứng có đường kính trong $1,5$ mm, các giọt chất lỏng rơi sau nhau 1 giây. Tính thời gian để 5 gam chất lỏng chảy hết ra ngoài. Biết hệ số sức căng mặt ngoài của chất lỏng là $0,02$ N/m. Coi chỗ thắt của giọt chất lỏng khi nó bắt đầu rơi có đường kính bằng đường kính trong của ống.

Hướng dẫn: khi giọt chất lỏng có trọng lượng đúng bằng lực căng mặt ngoài thì giọt rơi.

$$\text{Đáp số: } t = 521 \text{ giây}$$

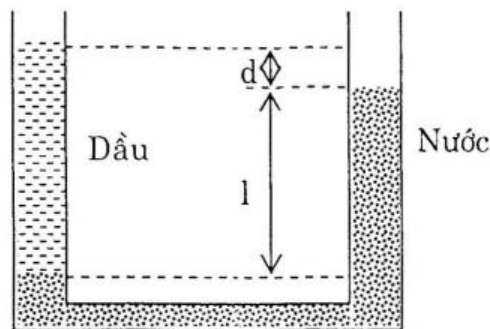
6. Hai ống mao dẫn có đường kính khác nhau được nhúng vào ete sau đó vào dầu hoả. Hiệu số độ cao của các cột ete dâng lên trong hai ống là $1,2$ mm, của các cột dầu hoả là $1,5$ mm. Xác định hệ số sức căng mặt ngoài của ete nếu biết hệ số sức căng mặt ngoài của dầu hoả là $0,024$ N/m.

Cho: $\rho_{\text{dầu hoả}} = 800 \text{ kg/m}^3$.

$$\rho_{\text{ete}} = 700 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Đáp số: } \delta = 0.034 \text{ N/m}$$

7. Một ống chữ U được dựng đứng. Đổ nước vào nhánh phải và đổ dầu ở nhánh trái. Khi cân bằng mặt thoáng dầu cao hơn mặt thoáng nước một khoảng d . Mặt thoáng của nước cao hơn mặt ngăn cách dầu – nước là l (hình vẽ). Khối lượng riêng của nước là D_n . Tìm khối lượng riêng của dầu D_d .



Hình 11.16

Áp dụng:

$$D_n = 1000 \text{ kg/m}^3, l = 135 \text{ mm}, d = 12,5 \text{ mm}.$$

$$\text{Đáp số: } D_d = 916 \text{ kg/m}^3.$$

8. Một khí cầu hình trụ bơm đầy khí heli, có bán kính R . Khí cầu có cáp treo, giỏ đựng hàng, cả khí cầu có khối lượng m . Khí cầu mang được bao nhiêu hàng trong giỏ đựng.

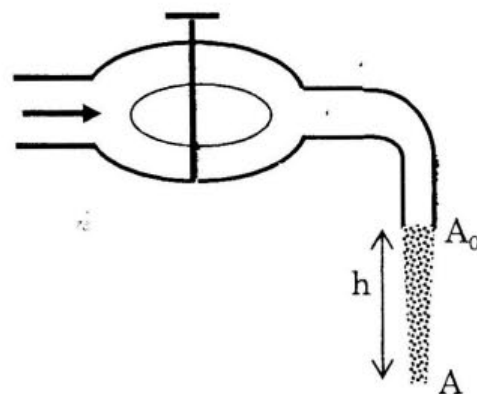
Biết $m = 196\text{kg}$, khối lượng riêng của heli là $0,169\text{kg/m}^3$, khối lượng riêng của không khí là $1,25\text{kg/m}^3$, $R = 12\text{m}$.

Đáp số: $m' = 7690\text{kg}$.

9. Khi nước chảy chậm qua vòi rơi xuống bị "thắt lại". Diện tích tiết diện tại A_0 là $1,2\text{cm}^2$ và tại A là $0,35\text{cm}^2$. Khoảng cách AA_0 là $h = 45\text{mm}$ theo phương thẳng đứng. Nước chảy ra khỏi vòi với lưu lượng bao nhiêu. Lấy $g = 9,8\text{m/s}^2$.

(Gợi ý: vận tốc chảy tại A là $v^2 = v_0^2 + 2gh$)

Đáp số: $34\text{cm}^3/\text{s}$.



Hình 11.17

ÁP DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT VÀ NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC CHO HỆ THỐNG SỐNG

12.1. ÁP DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC CHO HỆ THỐNG SỐNG

12.1.1. Nguồn gốc năng lượng của cơ thể

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:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (12.1)$$

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°C hay 298K.

Dùng công thức (12.1) ta có:

$$\frac{1}{3} = \frac{T_1 - 298}{T_1}$$

Rút ra: $T_1 = 447\text{K}$ hay 174°C

Thành thử, nếu cơ hoạt động như một máy nhiệt thông thường thì để sinh công nó phải được đun nóng tới 174°C , 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 $40 \div 60^\circ\text{C}$.

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 entropy.

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 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_2O .

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 bên 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:

$$\Delta Q = \Delta E + \Delta A + \Delta M \quad (12.2)$$

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

Năng lượng toả ra:

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

Hiện nay người ta quy 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 thụ oxy và thức ăn.

Gần 50% năng lượng xuất hiện trong quá trình oxy hoá thức ăn được dự trữ trong các liên kết giàu 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 quy 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 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. Ví 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 cơ 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. Ví 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.

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

12.1.2.1. Năng lượng trong quá trình cơ cơ

Hầu hết công do cơ thể sinh ra là kết quả của sự cơ cơ. Khi cơ 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 cơ, 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 (hình 12.1); một cách gần đúng có thể dùng công thức suy ra từ đồ thị này:

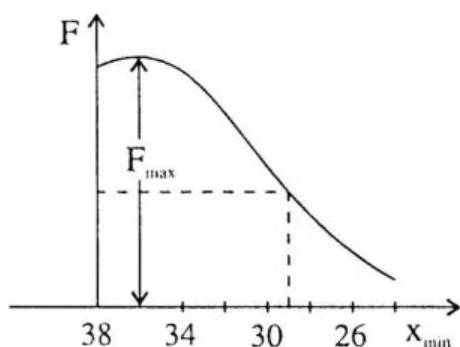
$$A_{\max} = 0,45.F_{\max} \cdot \Delta x_{\max} \quad (12.3)$$

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

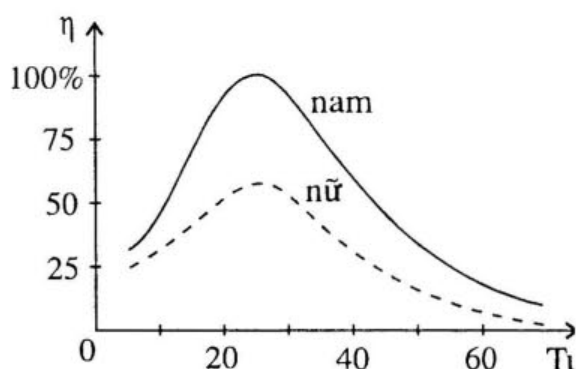
Như ta đã biết, cơ sử dụng năng lượng không phải chỉ để dùng để tạo ra công cơ học. Một phần lớn năng lượng đó được dùng để duy trì sự căng thẳng của cơ và một phần chuyển thành nhiệt năng. Phần năng lượng chuyển thành nhiệt năng khoảng $1,6 \cdot 10^{-2} \text{ J/kg.s}$. Khi cơ co giá trị đó tăng lên nhiều lần.

Hiệu suất của công do 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:

$$\eta = \frac{A_c}{A_{\max}} \quad (12.4)$$



Hình 12.1



Hình 12.2

Hiệu suất này chỉ đạt khoảng $20 \div 30\%$ nếu xét từng cơ riêng rẽ. Ngoài ra, hiệu suất còn phụ thuộc vào giới tính, vào tuổi tác (hình 12.2) và thay đổi tùy theo sự tập luyện của cơ. Ở đồ thị này, người ta lấy 100% là hiệu suất của lứa tuổi $25 \div 28$, đạt tới tối đa.

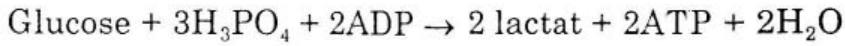
Tuy vậy do sự phối hợp của nhiều cơ trong từng nhóm khi hoạt động nên hiệu suất có thể lớn hơn. Điều cần nhấn mạnh về sự khác nhau của máy cơ học và bắp cơ của sinh vật là ở chỗ trong bắp cơ một phần hoá năng được chuyển thẳng sang cơ năng và phần còn lại chuyển sang nhiệt năng, trong lúc đó, ở các máy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

Năng lượng dùng khi 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 1 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:



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:



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 cơ 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.

12.1.2.2. 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 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 phé dung kế.

Kết quả thu được là gần đúng, cho biết ở trạng thái tĩnh (thông khí dưới 10lít/phút) công hô hấp khoảng $1 \div 5\text{J}$ trong 1 phút. Khi tăng thể tích thở trong một phút, công hô hấp sẽ tăng nhưng không tỷ lệ vì điều đó có 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.

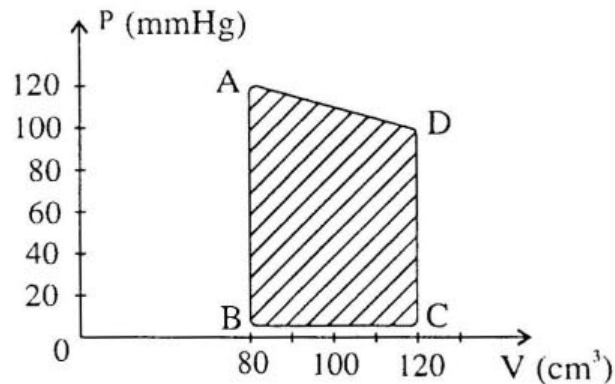
12.1.2.3. Năng lượng ở tim mạch

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 mà máu trong hệ tuần hoàn chuyển động theo một chiều xác định.

Ta 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 12.3 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.



Hình 12.3

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 120Tor (mmHg) xuống còn vàiTor 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 120cm^3 , còn áp suất có giá trị vài Tor.

Đoạn đường cong CDA tương 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 vàiTor 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 kỳ co bóp của tim vào khoảng 1,2J. Giả sử tần số co bóp của tim là 60 lần trong một phút thì ta có công suất của tim là 1,2W. Tính toán với thất phải cho công suất 0,2W. Vậy công suất của tim là 1,4W. 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 T.

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.

12.1.3. Năng lượng trong các phản ứng hoá sinh

– 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 entropy. 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:

$$\Delta Z = \Delta H - T.\Delta S \quad (12.5)$$

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 ΔZ 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:

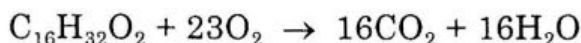
$$\Delta Z = \Delta Z_0 + R.T.\ln K \quad (12.6)$$

K là hằng số cân bằng của phản ứng.

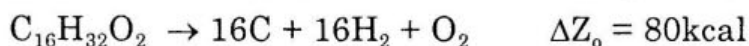
Đại lượng ΔZ bằng năng lượng tự do chuẩn của phản ứng (ΔZ_0) nếu mọi chất ban đầu và các sản phẩm của phản ứng chứa trong dung dịch ở 25°C và với độ

linh động của các phân tử trong dung dịch bằng đơn vị. Có thể xác định ΔZ_0 bằng những phương pháp khác nhau, thông thường hơn cả là theo công thức (12.6).

Ví dụ ta xét phản ứng oxy hoá acid panmitic thành CO_2 và H_2O :



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



Nếu cộng 3 phương trình hóa học này thì ta nhận được phương trình oxy hoá acid panmitic. Cộng các độ lớn của năng lượng tự do ta thu được $-2338,24\text{kcal/mol}$. 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.

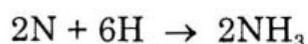
Sự thay đổi lượng chứa nhiệt ΔH có thể xác định bằng cách đo hiệu ứng nhiệt của phản ứng khi đốt cháy vật chất trong bình đo nhiệt lượng. Trong trường hợp này, $\Delta H = -\Delta Q$. Một cách khác là xác định sự phụ thuộc của phản ứng vào nhiệt độ. Khi ấy theo phương trình đẳng áp của phản ứng:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{-Q}{R.T^2}$$

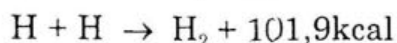
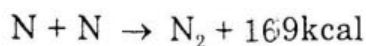
Có thể xác định $\Delta H = -\Delta Q$. Khi đặt các dữ kiện về đại lượng ΔZ_0 , ΔH , dễ dàng xác định ΔS theo phương trình (12.5) trong đó những biến thiên của các đại lượng tương ứng có thể thay thế bằng những giá trị sau cùng của những đại lượng này. Thông thường những giá trị chuẩn của những đại lượng này được dẫn ra trong các sổ tay hoá sinh.

– 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 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.

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



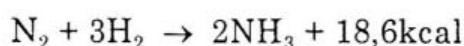
Theo các dữ kiện quang phổ, nhiệt lượng tạo ra 1mol N₂ từ nguyên tử N là 169kcal còn tạo 1 mol H₂ từ nguyên tử H là 101,9kcal.



Do đó, năng lượng tạo 1 mol N₂ và 3 mol H₂ từ nguyên tử là:

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

Cần phải bổ sung thêm vào đó nhiệt lượng tạo 2NH₃ từ khí N₂ và H₂ bằng:



Vậy năng lượng tạo 1 mol NH₃ bằng:

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

Nếu thừa nhận rằng 3 nguyên tử H là như nhau trong phân tử NH₃ thì sự bền vững của liên kết hay năng lượng liên kết trung bình N-H bằng:

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

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

Bảng 12.1. Năng lượng liên kết trung bình của các dạng liên kết khác nhau

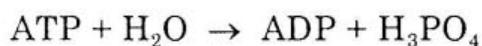
Dạng liên kết trung bình	Năng lượng trung bình	Dạng liên kết	Năng lượng trung bình
C - C	58,6kcal	S - H	87,5kcal
N - N	20,0kcal	C - N	48,6kcal
O - O	34,9kcal	C - O	70,0kcal
P - O	50,0kcal	C - S	57,5kcal
S - S	63,8kcal	C = C	100,0kcal
C - H	87,3kcal	C≡C	123,0kcal
N - H	82,0kcal	C = O	142,0kcal
O - H	110,2kcal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

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:



Khi nhóm phosphat chuyển vào nước thì làm tách ra $7,0 \div 8,5$ 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 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 $50 \div 100$ kcal/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 $50 \div 100$ 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 giàu năng lượng.

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

12.2. ÁP DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC CHO HỆ THỐNG SỐNG

12.2.1. Trạng thái dừng của hệ thống sống

Khi áp dụng nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học vào hệ thống sống, thoạt tiên ta thấy có vẻ có những mâu thuẫn. Theo nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học thì tính trật tự của hệ cô lập cần phải giảm tương ứng với sự tăng của entropy. 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 cơ thể 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 polyme 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, entropy như vậy phải giảm đi tương đối.

Phải chăng nguyên lý thứ hai nhiệt động lực 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.

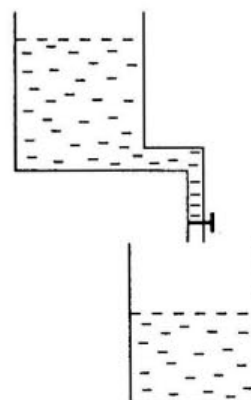
Trong khi đó, ở hệ thống sống, do vật chất và năng lượng ra vào không ngừng nên quá trình biến đổi năng lượng luôn luôn xảy ra. Chính do sự diễn biến của các quá trình này nên buộc hệ thống sống (hệ mở) không thể nằm ở trạng thái cân bằng nhiệt động. Nói cách khác, sự tồn tại trạng thái không cân bằng 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 gradient, các đặc trưng động học... được bảo toàn (không thay đổi theo thời gian). Ví dụ, ở tế bào sống thì độ pH và gradient 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: $v_1 = v_2$ $A + B \xrightleftharpoons[v_2]{v_1} C + D$	Tốc độ phản ứng thuận luôn luôn lớn hơn tốc độ phản ứng nghịch do vật chất được đưa vào và thải ra: $v_1 > v_2$ $A + B \xrightleftharpoons[v_2]{v_1} C + D$
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. $F = \text{const} \neq 0$
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.

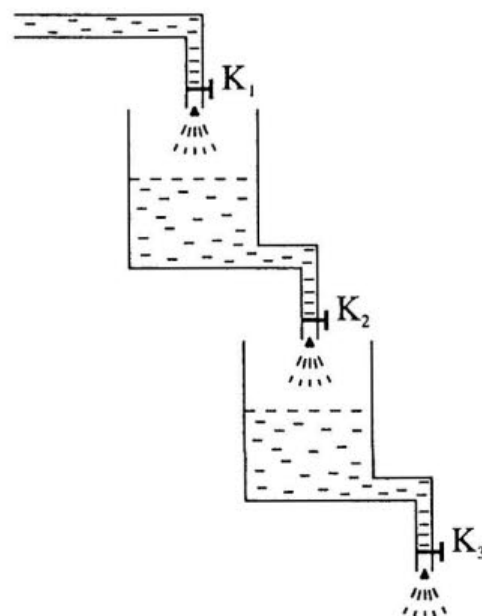
Sự khác biệt giữa hai trạng thái này có thể minh hoạ trên ví dụ về sự chảy của chất lỏng từ bình này sang bình khác (mô hình Burton). Sự chảy cho ta hình ảnh tiến trình phản ứng hoá học.

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 12.4). Mức chất lỏng ở bình dưới không thay đổi nữa vì không còn dòng chảy.



Hình 12.4

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 gọi 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 vận khoá K_2), những mức mới của chất lỏng được thiết lập, tạo nên trạng thái dừng mới (hình 12.5).



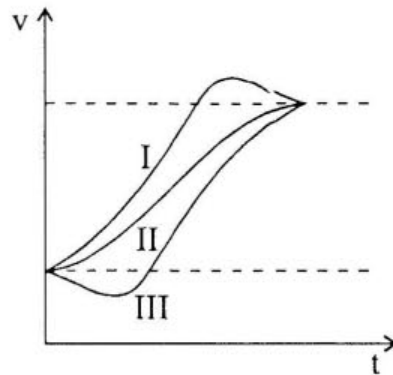
Hình 12.5

Mức của trạng thái dừng dễ dàng bị giao 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 ví 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. Ví 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 3 dạng chuyển cơ bản minh họa trên hình (12.6).



Hình 12.6

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.

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 ví 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 dụng 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, vì 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 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 hoá 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 lũy 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.

12.2.2. Biến đổi entropy ở hệ thống sống

Hệ mở trao đổi vật chất và năng lượng với môi trường xung quanh, bởi vậy sự thay đổi entropy ở hệ chia ra làm hai phần. Ta ký hiệu dS_e là phần thay đổi entropy 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 entropy

gây bởi những thay đổi bên trong hệ. Có thể biểu diễn sự thay đổi chung ở hệ như sau:

$$dS = dS_e + dS_i \quad (12.8)$$

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 hiem 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 entropy 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 tạo nên một dòng entropy 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 entropy của toàn hệ thống được xác định bằng sự tăng entropy 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 $|dS_e| < |dS_i|$, $dS > 0$.

– Nếu $|dS_e| > |dS_i|$, $dS < 0$. Do tương tác với môi trường xung quanh mà entropy 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 Entropy 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: entropy, năng lượng tự do và thời gian. Như ta đã xác định: cân bằng nhiệt động không phụ thuộc vào thời gian; entropy 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. Entropy 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 (12.8) có thể viết:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} \quad (12.9)$$

Đó là công thức Prigogine.

Ta có thể suy ra, ở trạng thái dừng thì:

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

Hay:

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \neq 0 \quad (12.10)$$

Biểu thức (12.10) cho ta thấy ở trạng thái dừng tốc độ tăng entropy trong cơ thể bằng tốc độ trao đổi entropy với môi trường xung quanh. Như vậy ở trạng thái dừng tốc độ tăng entropy bên trong hệ khác không và trở thành một trong những đại lượng quan trọng cùng với entropy 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.

Với các phản ứng hoá học thuận nghịch, sự cân bằng nhiệt động được xác

định bằng sự bằng nhau của phản ứng thuận – 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 nghịch, 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.

PHẦN THỨ BA

ĐIỆN HỌC

Chương 13

TÍNH ĐIỆN

MỤC TIÊU

1. Trình bày được:

- Định luật Coulomb.
- Khái niệm về điện trường, cường độ điện trường.
- Điện thế, hiệu điện thế.
- Điện thông, định lý Gauss.
- Chất điện môi trong điện trường.

2. Vận dụng các kiến thức đã học giải thích được một số hiện tượng trong đời sống, khoa học và kỹ thuật.

13.1. KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU

13.1.1. Các cách nhiễm điện cho một vật

Từ thế kỷ VI trước Công nguyên người ta đã nhận thấy khi đem thanh thuỷ tinh cọ sát vào lụa hoặc thanh êbônit cọ sát vào dạ, thì thanh thuỷ tinh hoặc thanh êbônit có khả năng hút các vật nhẹ như giấy vụn, lông chim. Hiện tượng đó gọi là hiện tượng nhiễm điện do cọ sát. Ta nói thanh thuỷ tinh và thanh êbônit đã bị nhiễm điện nghĩa là chúng đã có các điện tích xuất hiện. Các điện tích xuất hiện trên thanh thuỷ tinh và trên thanh ebônit không giống nhau. Các điện tích giống như điện tích ở thuỷ tinh khi cọ sát vào lụa gọi là điện tích dương (+). Còn các điện tích giống như điện tích ở thanh êbônit khi cọ sát vào dạ gọi là điện tích âm (-).

Các điện tích cùng dấu (cùng tên) thì đẩy nhau, khác dấu (khác tên) thì hút nhau.

Điện tích còn xuất hiện khi cho tiếp xúc vật nhiễm điện với vật chưa nhiễm điện. Hiện tượng này gọi là hiện tượng nhiễm điện do tiếp xúc.

Điện tích còn có thể xuất hiện khi ta đặt một vật chưa nhiễm điện gần một vật nhiễm điện. Khi đó dấu vật chưa nhiễm điện gần vật nhiễm điện sẽ có điện tích trái dấu với vật nhiễm điện. Hiện tượng nhiễm điện này gọi là hiện tượng nhiễm điện do hưởng ứng.

13.1.2. Sơ lược về thuyết điện tử

Qua nhiều thí nghiệm các nhà bác học đã đi đến kết luận:

– Điện tích trên một vật mang điện bất kỳ có cấu tạo gián đoạn, nó luôn luôn bằng một số nguyên lần của một điện lượng nhỏ nhất gọi là điện tích nguyên tố: điện tích nguyên tố có giá trị $q_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Trong các hạt mang điện tích nguyên tố có điện tử mang điện tích âm, proton mang điện tích dương.

– Proton và điện tử đều có trong thành phần cấu tạo nguyên tử của mọi chất. Proton nằm ở hạt nhân nguyên tử, điện tử (electron) chuyển động xung quanh hạt nhân.

– Ở trạng thái bình thường số proton và điện tử của một nguyên tử luôn luôn bằng nhau (bằng số thứ tự Z của nguyên tố trong bảng tuần hoàn Mendeleev); ta nói nguyên tử trung hoà về điện. Nếu vì lý do nào đó nguyên tử mất, hoặc thu thêm điện tử nó sẽ trở thành một phần tử mang điện. Nếu mất điện tử nguyên tử sẽ mang điện dương gọi là ion dương, nếu thu thêm điện tử nguyên tử sẽ mang điện âm gọi là ion âm.

– Học thuyết căn cứ vào chuyển động của điện tử để giải thích các hiện tượng về điện gọi là thuyết điện tử.

13.1.3. Định luật bảo toàn điện tích

Từ thực nghiệm, người ta thấy rằng các điện tích luôn tuân theo định luật bảo toàn điện tích: *“Tổng đại số các điện tích của một hệ cô lập là một hằng số. Hay nói cách khác các điện tích không thể tự nhiên sinh ra, cũng không tự biến mất nó chỉ có thể truyền từ vật này sang vật khác hoặc phần này sang phần khác của vật”*.

Ví dụ: khi cọ sát thanh thuỷ tinh vào lụa thì thanh thuỷ tinh mang điện dương (mất đi electron) còn mảnh lụa mang điện tích âm (nhận thêm electron) nhưng tổng điện tích của thanh thuỷ tinh và mảnh lụa thì không đổi.

13.1.4. Vật dẫn điện, vật cách điện

13.1.4.1. Vật dẫn điện

Là những vật mà điện tích có thể chuyển động từ điểm này sang điểm khác của vật (có điện tích tự do). Ví dụ như kim loại, các dung dịch điện phân, các cơ thể sống,...

13.1.4.2. Vật cách điện (điện môi)

Là các vật mà điện tích không thể chuyển động từ điểm này đến điểm kia của vật (không có điện tích tự do). Vật cách điện còn gọi là điện môi. Ví dụ: thủy tinh, êbonit, gỗ, không khí khô, nước tinh khiết,...

Chú ý: sự phân chia ra vật dẫn điện và cách điện chỉ có tính chất tương đối. Thực vậy, trong những điều kiện nhất định vật nào cũng có thể dẫn điện, chúng chỉ khác nhau là độ dẫn điện nhiều hay ít. Khi thay đổi điều kiện thì tính dẫn điện của một vật sẽ thay đổi. Ví dụ thủy tinh ở điều kiện bình thường dẫn điện rất yếu (coi như không dẫn điện) nhưng ở nhiệt độ cao có thể dẫn điện.

Ngoài ra, còn một số chất có tính chất dẫn điện và có tính chất cách điện, tùy thuộc vào điều kiện bên ngoài (nhiệt độ, điện trường, tạp chất) đó là các chất bán dẫn. Ví dụ như Si, Ge,...

13.1.5. Điện tích điểm

Là những vật mang điện có kích thước nhỏ không đáng kể so với khoảng cách từ điểm đó đến những điểm hoặc những vật mang điện khác mà ta đang khảo sát. Như vậy khái niệm điện tích điểm chỉ có tính chất tương đối, tương tự như khái niệm chất điểm trong cơ học.

13.2. TƯƠNG TÁC GIỮA CÁC ĐIỆN TÍCH ĐIỂM – ĐỊNH LUẬT COULOMB

Charles Augustin Coulomb nhà vật lý học người Pháp năm 1785 bằng thực nghiệm đã tìm ra định luật về sự tương tác giữa các điện tích điểm. Định luật này được gọi là định luật Coulomb. Tương tác giữa hai điện tích đứng yên gọi là tương tác tĩnh điện (hay là tương tác Coulomb).

Định luật Coulomb phát biểu như sau: “*Lực tương tác giữa hai điện tích điểm đứng yên có độ lớn tỷ lệ thuận với tích độ lớn của hai điện tích và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng*”.

Gọi q_1, q_2 là độ lớn của các điện tích; r là khoảng cách giữa hai điện tích; F_{12}

là lực tác dụng của điện tích 1 lên điện tích 2 và F_{21} là lực tác dụng của điện tích 2 lên điện tích 1.

Về mặt độ lớn ta có:

$$|\vec{F}_{21}| = |\vec{F}_{12}| = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

Trong đó k là hệ số tỷ lệ. Trong hệ SI:

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0}; \quad \epsilon_0 \text{ được gọi là hằng số điện, có}$$

giá trị: $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} (\text{N}^{-1} \text{C}^2 \text{m}^{-2})$.

$$k = 8,999 \cdot 10^9 (\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}).$$

Hằng số $\frac{1}{4\pi}$ nói lên tính đối xứng không gian của định luật Coulomb. Lực Coulomb được xếp vào một trong bốn loại lực và là một lực yếu. Lực Coulomb là một lực xuyên tâm. Lực Coulomb thoả mãn nguyên lý chồng chất lực.

Ta có thể biểu diễn định luật Coulomb dưới dạng vectơ như sau:

Kẻ vectơ \vec{r} từ điện tích q_1 sang điện tích q_2 thì:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (13.1)$$

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \quad (13.2)$$

Thực nghiệm cũng chứng tỏ nếu hai điện tích điểm đặt trong chất điện môi có cùng khoảng cách như khi chúng đặt trong chân không thì lực tương tác sẽ giảm đi ϵ lần. Công thức (13.1) sẽ là:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (13.3)$$

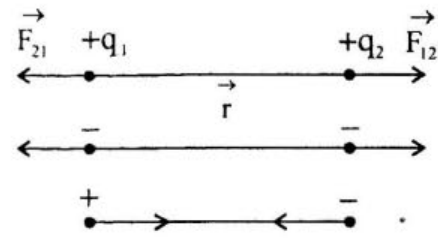
Trong đó ϵ gọi là hằng số điện môi phụ thuộc vào bản chất của chất điện môi và nhiệt độ.

Ví dụ: Trong chân không: $\epsilon = 1$

Không khí: $\epsilon = 1,006 \approx 1$

Nước: $\epsilon = 81$

Chú ý: Định luật Coulomb mới xét tương tác giữa hai điện tích điểm. Tuy nhiên nếu áp dụng nguyên lý tổng hợp lực trong cơ học ta có thể xét tương tác giữa hai vật mang điện bất kỳ. Thật vậy:



Hình 13.1

– Nếu hệ gồm nhiều điện tích điểm q_1, q_2, \dots, q_n . Phân bố gián đoạn trong không gian và một điện tích q_0 đặt trong không gian đó. Thì ta xét tương tác của hệ điện tích q_1, q_2, \dots tác dụng lên q_0 là: $\vec{F} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \dots + \vec{F}_{n0}$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{i0}. \text{ Với } \vec{F}_{10}, \vec{F}_{20}, \dots \text{ là lực tương tác của điện tích } q_1, q_2, \dots \text{ lên } q_0.$$

– Nếu vật mang điện bất kỳ. Ta có thể chia vật thành vô số phần mang điện rất nhỏ hợp thành, mỗi phần như thế coi như điện tích điểm.

– Dựa vào phương pháp tính toán trên đây người ta chứng minh được lực tương tác giữa hai quả cầu mang điện đều có thể xác định bằng định luật Coulomb song phải coi điện tích của mỗi quả cầu như một điện tích điểm nằm ở tâm của quả cầu.

13.3. ĐIỆN TRƯỜNG CỦA CÁC ĐIỆN TÍCH ĐIỂM

13.3.1. Khái niệm về điện trường

Ta đã biết các điện tích tương tác với nhau ngay cả khi chúng đặt trong chân không. Ở đây có thể đặt ra nhiều câu hỏi: lực tương tác đó truyền đi như thế nào? Có cần môi trường xung quanh không? Khi chỉ có một điện tích thì môi trường xung quanh có gì thay đổi?

Để trả lời các câu hỏi trên trong quá trình phát triển của vật lý học đã có hai giả thuyết đối lập nhau: thuyết tác dụng xa, thuyết tác dụng gần.

Theo thuyết tác dụng xa, điện tích tương tác với nhau không cần một môi trường trung gian mà nó được truyền từ điện tích này đến điện tích kia một cách tức thời với vận tốc vô cùng lớn. Cũng theo thuyết này nếu chỉ có một điện tích thì môi trường xung quanh điện tích đó không biến đổi gì. Thừa nhận thuyết tương tác (tức là truyền vận động) không cần thông qua vật chất, thuyết tác dụng xa đã thừa nhận có vận động phi vật chất do đó thuyết này đã bị bác bỏ.

Trái với thuyết tác dụng xa, thuyết tác dụng gần cho rằng xung quanh mỗi điện tích có xuất hiện một dạng vật chất "đặc biệt" gọi là điện trường. Nhờ điện trường các điện tích mới tương tác được với nhau, vận tốc truyền phải là hữu hạn. Một tính chất cơ bản của điện trường là khi đặt một điện tích trong điện trường thì đều bị điện trường tác dụng lực.

Khoa học hiện đại đã chứng minh thuyết tác dụng gần là đúng.

Vậy, xung quanh điện tích đứng yên xuất hiện một điện trường. Điện trường là một dạng của vật chất.

13.3.2. Vectơ cường độ điện trường

13.3.2.1. Định nghĩa

Giả sử có một điện tích q_0 đặt tại một điểm trong điện trường. Điện tích q_0 rất nhỏ để nó không làm thay đổi điện trường mà ta đang xét, điện tích q_0 được gọi là điện tích thử ($q_0 > 0$).

Thực nghiệm chứng tỏ:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (13.4)$$

đối với một điểm xác định \vec{E} được gọi là vectơ cường độ điện trường.

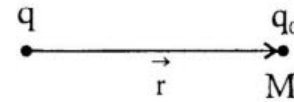
Vậy: Vectơ cường độ điện trường tại một điểm là một đại lượng vectơ có giá trị bằng lực của điện trường tác dụng lên một đơn vị điện tích dương đặt tại đó.

Vì vậy vectơ cường độ điện trường đặc trưng cho điện trường về phương diện tác dụng lực.

Trong hệ SI đơn vị của \vec{E} là $(V.m^{-1})$.

13.3.2.2. Vectơ cường độ điện trường gây ra bởi một điện tích điểm

Giả sử có một điện tích điểm q . Xung quanh q có một điện trường. Tại một điểm M cách q một khoảng r nếu ta đặt điện tích q_0 . Theo định luật Coulomb lực tác dụng của điện tích q lên q_0 là:



Hình 13.2

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

Do đó:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (13.5)$$

Rõ ràng: $q > 0$ thì \vec{E} cùng chiều \vec{r} .

$q < 0$ thì \vec{E} ngược chiều \vec{r} .

Về độ lớn:
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{|q|}{r^2}$$

13.3.2.3. Vectơ cường độ điện trường do hệ điện tích điểm

Giả sử có hệ điện tích điểm $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$. Tại một điểm M trong điện trường do hệ điện tích điểm trên gây ra nếu ta đặt điện tích thử q_0 .

Ta có:

$$\begin{aligned}
 \vec{F}_{q_0} &= \vec{F}_{q_1 q_0} + \vec{F}_{q_2 q_0} + \dots + \vec{F}_{q_n q_0} \\
 \vec{E} &= \frac{\vec{F}_{q_0}}{q_0} = \frac{\vec{F}_{q_1 q_0}}{q_0} + \frac{\vec{F}_{q_2 q_0}}{q_0} + \dots + \frac{\vec{F}_{q_n q_0}}{q_0} \\
 &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \\
 &= \vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i
 \end{aligned}
 \tag{13.6}$$

Biểu thức (13.6) được gọi là nguyên lý chồng chất của điện trường.

13.3.3. lưỡng cực điện

13.3.3.1 Định nghĩa

Lưỡng cực điện là hệ hai điện tích điểm có điện tích bằng nhau và trái dấu (+q, -q) cách nhau một khoảng l rất nhỏ so với khoảng cách từ lưỡng cực điện tới điểm đang xét.

Đặc trưng cho lưỡng cực điện người ta dùng một đại lượng vật lý gọi là momen lưỡng cực điện, được định nghĩa:

$$\vec{P}_e = q \cdot \vec{l}$$



Hình 13.3

Trong đó: q là độ lớn của mỗi điện tích.

\vec{l} là đường thẳng nối từ -q đến +q.

Đường thẳng nối giữa q và -q được gọi là trục lưỡng cực điện.

13.3.3.2. Điện trường do lưỡng cực điện gây ra

Để đơn giản ta chỉ xét cường độ điện trường do lưỡng cực điện gây ra tại những điểm nằm trên đường trung trục của l, cách l một khoảng $r \gg l$.

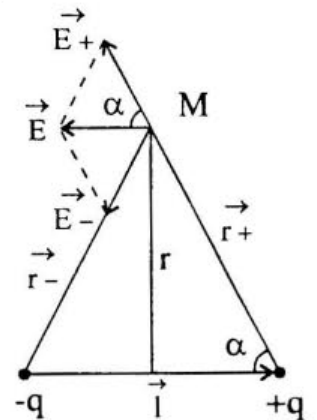
Theo nguyên lý chồng chất của điện trường ta có:

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

Về độ lớn:

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r_+^2}$$

$$r_+^2 = r^2 + \frac{l^2}{4}$$



Hình 13.4

Vì $r \gg l$ nên $r_+^2 \approx r^2$

$$\text{Vậy: } E_+ = E_- = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$

\vec{E} có phương song song \vec{l} , có chiều ngược chiều với \vec{l} (học sinh tự chứng minh).

$$\begin{aligned} |\vec{E}| &= E = 2 \cdot E_+ \cdot \cos \alpha = \\ &= 2 \cdot E_+ \cdot \frac{l}{2r} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{q \cdot l}{r^3} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{P_c}{r^3} \end{aligned}$$

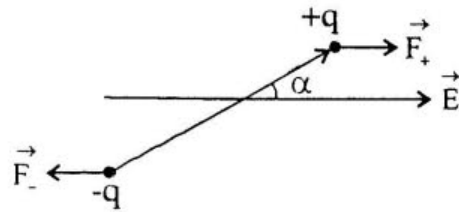
Tóm lại ta có:

$$\vec{E} = -\frac{\vec{P}_c}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r^3} \quad (13.7)$$

13.3.3.3. Lưỡng cực điện trong điện trường

Giả sử có một lưỡng cực điện đặt trong điện trường đều, vectơ cường độ điện trường \vec{E} làm với \vec{P}_c một góc α .

Các điện tích q và $-q$ sẽ chịu một lực tác dụng của điện trường.



Hình 13.5

$$\vec{F}_+ = q\vec{E}$$

$$\vec{F}_- \equiv -q\vec{E}$$

\vec{F} và \vec{F}_- làm thành một ngẫu lực có momen ngẫu lực là:

$$\vec{M} = \vec{P}_c \wedge \vec{E}$$

Dưới tác dụng của \vec{M} lưỡng cực điện sẽ bị quay sao cho \vec{P}_c trùng với phương của \vec{E} và tại đó $\vec{M} = 0$, lưỡng cực điện ở trạng thái cân bằng.

* Chú ý:

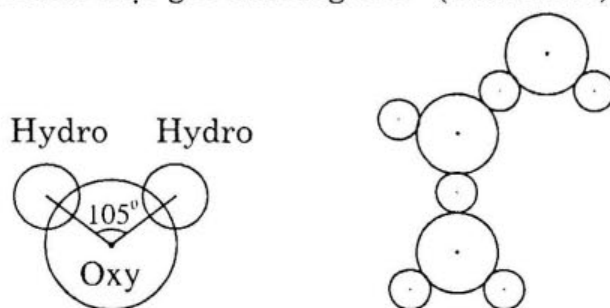
- Trạng thái cân bằng của lưỡng cực điện còn phụ thuộc vào chuyển động nhiệt của các phân tử lưỡng cực.

- Nếu lưỡng cực không vững chắc thì trong quá trình quay, nó có thể bị biến dạng.

- Ứng dụng thực tế:

Nấu nướng bằng lò vi sóng. Một phân tử nước (H_2O) được coi là một lưỡng cực

điện. 1 oxy và 2 nguyên tử hydro liên kết với nhau không nằm trên cùng một đường thẳng mà tạo thành một góc khoảng 105° (hình 13.6).



Hình 13.6

Kết quả là phân tử nước có hai phía xác định, phía oxy và phía hydro. Ngoài ra 10 điện tử trong phân tử nước có xu hướng ở gần hạt nhân oxy hơn gần hạt nhân hydro. Điều đó làm cho phân tử nước tạo thành một lưỡng cực điện; phía dương là hydro, phía âm là oxy.

Trong nước, khi các phân tử có thể chuyển động tương đối. Điện trường do mỗi lưỡng cực điện sinh ra làm ảnh hưởng đến các lưỡng cực điện xung quanh. Kết quả là các phân tử nước có thể liên kết thành nhóm 2 hoặc nhóm 3 phân tử (hình 13.6) (vì đầu âm của phân tử lưỡng cực này hút đầu dương của phân tử lưỡng cực khác).

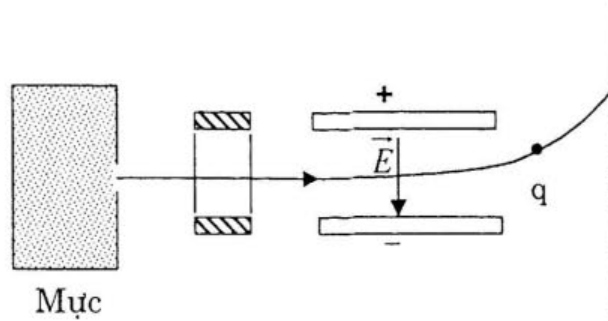
Mỗi lần hình thành một nhóm như vậy, thế năng điện được chuyển thành động năng chuyển động của các phân tử. Và mỗi lần va chạm khi một nhóm tan rã thì năng lượng lại chuyển theo chiều ngược lại. Nhiệt độ của nước không thay đổi vì trung bình sự chuyển đổi năng lượng tổng cộng bằng không.

Khi lò vi sóng hoạt động, các sóng micromet tạo ra trong lò điện trường xoay chiều (với các lò vi sóng phổ biến hiện nay tần số $f = 10^{14}\text{Hz}$).

Nếu trong lò có chứa các vật có chứa nước. Các phân tử lưỡng cực nước quay tới, quay lui một cách liên tục để định hướng momen lưỡng cực điện theo điện trường. Các phân tử lưỡng cực liên kết thành cặp có thể quay quanh liên kết chung, chúng có thể định hướng theo điện trường. Tuy nhiên trong các liên kết nhóm 3 ít nhất một phân tử bị gãy trong nhóm liên kết; và lúc đó giải phóng năng lượng dưới dạng nhiệt, nước nóng lên.

Vậy trong lò vi sóng năng lượng sóng điện từ đã chuyển thành nhiệt năng.

Một ứng dụng nữa là trong việc in bằng mực phun. Sự cần thiết in ấn chất lượng cao, tốc độ lớn bằng cách phun các giọt mực cực nhỏ lên giấy. Khi giọt mực được tích điện chuyển động giữa hai bản dẫn điện lái tia.



Điện trường \vec{E} hướng từ trên xuống, tác dụng lực điện lên giọt mực làm nó lệch lên trên đập vào giấy ở vị trí xác định tùy thuộc vào giá trị của E và q . Thực tế E được giữ không đổi, vị trí giọt mực xác định bởi q . Máy tính có nhiệm vụ mã hoá tài liệu cần in, tích điện thích hợp cho các giọt mực, giọt mực phải qua bộ phận tích điện trước khi vào hệ thống lái tia.

13.4. ĐỊNH LÝ GAUSS ĐỐI VỚI ĐIỆN TRƯỜNG

13.4.1. Đường sức điện trường

Để biểu diễn điện trường ta có thể dùng đường sức:

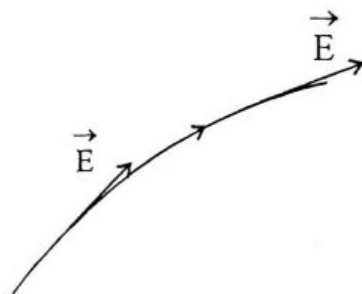
– Đường sức điện trường là những đường mà mỗi điểm trên đường vectơ cường độ điện trường tại đó có phương tiếp tuyến với đường và chiều của đường sức là chiều của \vec{E} .

– Để đặc trưng cho độ mạnh yếu của điện trường tại từng điểm người ta quy ước chỉ vẽ qua một đơn vị diện tích vuông góc với cường độ điện trường tại đó số đường sức bằng giá trị cường độ điện trường tại đó:

$$E = \frac{d\phi_e}{dS_n} \quad (13.8)$$

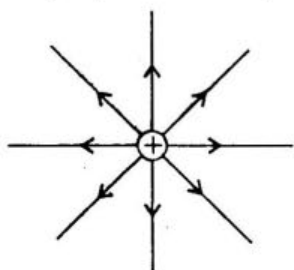
Với $d\phi_e$ là số đường sức vẽ qua diện tích vuông góc dS_n :

Tập hợp các đường sức của điện trường qua một diện tích nào đó gọi là điện phổ.

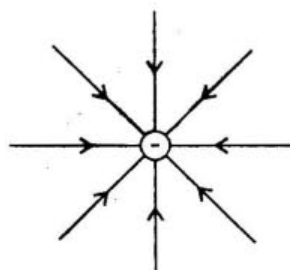


Hình 13.7

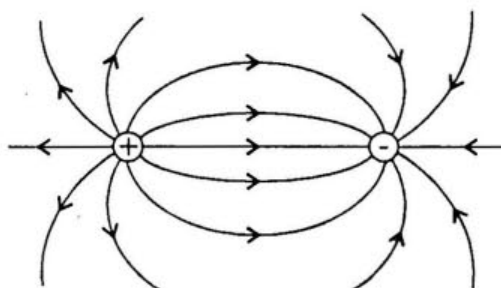
Căn cứ vào điện phổ ta có thể biết được tính chất của điện trường.
Sau đây là điện phổ của một số trường hợp:



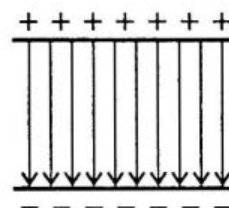
1 điện tích điểm (+)



1 điện tích điểm (-)



2 điện tích điểm trái dấu



2 bản phẳng tích điện
bằng nhau và trái dấu

Hình 13.8

Nhận xét: các đường sức điện trường là những đường cong hở hoặc tận cùng ở vô cùng hoặc tận cùng ở điện tích âm.

13.4.2. Vectơ cảm ứng điện

Ta biết độ lớn các vectơ cường độ điện trường ngoài phụ thuộc vào điện tích gây ra điện trường và khoảng cách còn phụ thuộc vào hằng số điện môi. Ví dụ với một điện tích điểm:

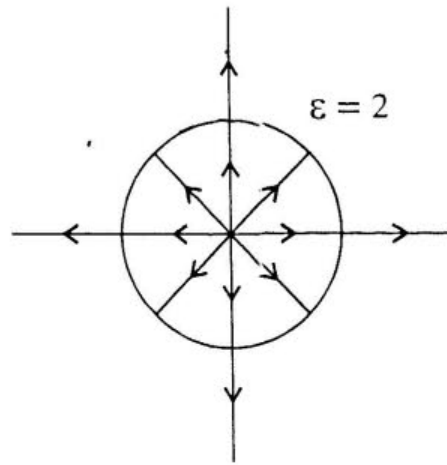
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{q}{r^2}$$

Do đó nếu theo quy ước vẽ:

$$E = \frac{d\phi_\epsilon}{dS_n}$$

Thì qua môi trường khác nhau đường sức sẽ bị gián đoạn.

Ví dụ: một điện tích điểm dương đặt tại tâm quả cầu rỗng, bên trong quả cầu là chân không, bên ngoài là dầu hoả $\epsilon = 2$. Thì tại mặt phân cách đường sức điện bị gián đoạn (giảm đi hai lần).



Hình 13.9

Để giải quyết khó khăn trên, người ta ngoài dùng đại lượng vật lý \vec{E} , còn dùng đại lượng vật lý nữa là vectơ cảm ứng điện \vec{D} với định nghĩa:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot \vec{E} \quad (13.9)$$

Rõ ràng \vec{D} và \vec{E} cùng phương cùng chiều chỉ khác nhau về độ lớn. Độ lớn của D không phụ thuộc vào ϵ .

Ví dụ với điện tích điểm:

$$\vec{D} = \frac{q}{4\pi \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r} \quad (13.10)$$

Trong hệ SI đơn vị của D là $C \cdot m^{-2}$.

Nếu ta dùng khái niệm đường sức cảm ứng điện là những đường mà tại mọi điểm trên đường vectơ \vec{D} tại đó có phương tiếp tuyến với đường thì đường sức cảm ứng điện sẽ liên tục qua các môi trường.

13.4.3. Thông lượng cảm ứng điện (điện thông)

13.4.3.1. Định nghĩa

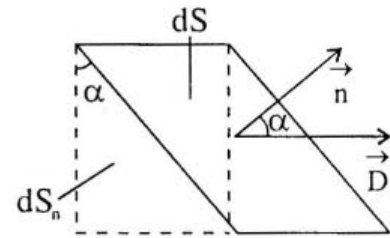
Điện thông qua một diện tích nào đó là số đường sức cảm ứng điện qua diện tích đó.

13.4.3.2. Biểu thức điện thông

– Nếu $\vec{D} = hs$ và diện tích dS_n vuông góc với đường sức cảm ứng điện:

Từ:
$$D = \frac{d\phi_e}{dS_n} \Rightarrow d\phi_e = D \cdot dS_n$$

- Nếu $\vec{D} = hs$, diện tích dS phẳng bất kỳ: ta kẻ pháp tuyến \vec{n} gọi α là góc giữa \vec{n} và \vec{D} . Vì tính chất liên tục của đường sức cảm ứng điện nên mọi đường sức cảm ứng điện đi qua dS cũng là những đường sức đi qua dS_n . Trong đó, dS_n là hình chiếu của dS trên phương vuông góc với \vec{D} .



Hình 13.10

Vậy:

$$d\phi_e = D \cdot dS_n = D \cdot dS \cdot \cos\alpha$$

Nếu gọi $d\vec{S}$ là một vectơ có độ lớn là dS có phương pháp tuyến \vec{n} thì:

$$d\phi_e = \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

- Trong trường hợp tổng quát nếu \vec{D} bất kỳ và S bất kỳ. Thì trên mặt S ta chia ra thành các diện tích dS , sao cho dS có thể là phẳng. D trên dS là không đổi, tương tự như trên ta có:

$$d\phi_e = \vec{D} \cdot d\vec{S}$$

$$\phi_e = \int_S d\phi_e = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} \quad (13.11)$$

Trong hệ SI đơn vị của điện thông là C.

13.4.4. Định lý Gauss đối với điện trường

13.4.4.1. Phát biểu

Điện thông qua mặt kín bất kỳ bằng tổng đại số các điện tích nằm trong mặt kín đó.

13.4.4.2. Chứng minh

* Trường hợp mặt kín bao quanh điện tích:

Giả sử ta có một điện tích điểm $+q$, nằm trong mặt kín S bất kỳ. Ta xét mặt cầu có tâm là q , bán kính bất kỳ. Mặt cầu đó được gọi là mặt Gauss.

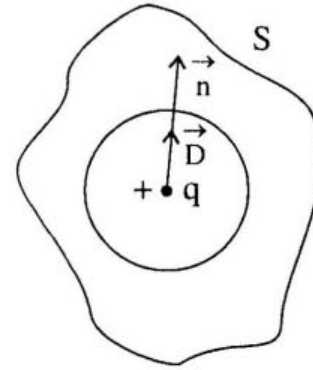
Rõ ràng tại mọi điểm trên mặt Gauss, ta có:

$$|\vec{D}| = \text{const}$$

$$\alpha = \widehat{(\vec{n}, \vec{D})} = 0^\circ$$

Do đó:

$$\begin{aligned}\phi_e &= \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_S D \cdot dS \cdot \cos \alpha \\ &= D \cdot \int_S dS = D \cdot S = D \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 \\ \phi_e &= \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 = q\end{aligned}$$

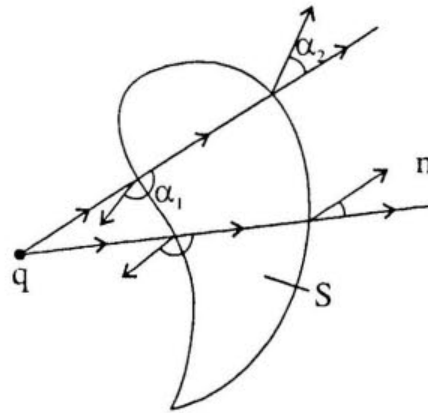


Hình 13.11

Vì đường sức cảm ứng điện là liên tục nên có bao nhiêu đường sức đi qua mặt Gauss cũng có bấy nhiêu đường sức đi qua mặt S.

– Trường hợp điện tích nằm ngoài mặt S

Các đường sức cảm ứng điện sẽ cắt mặt S 2 lần (đi vào và đi ra), nơi đi vào $\alpha_1 > \frac{\pi}{2}$, nơi đi ra $\alpha_2 < \frac{\pi}{2}$. Vậy đường sức đi vào có giá trị $\phi_{e_1} < 0$, đường sức đi ra có giá trị $\phi_{e_2} > 0$



Hình 13.12

Đường sức là liên tục nên

$$\phi_e = \phi_{e_1} + \phi_{e_2} = 0$$

Chú ý:

– Nếu là hệ điện tích điểm theo nguyên lý chồng chất điện trường, ta có:

$$\vec{D} = \sum_{i=1}^n \vec{D}_i$$

$$\text{Do đó: } \phi_e = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \int_S \sum_{i=1}^n \vec{D}_i \cdot d\vec{S}$$

$$\phi_e = \sum_{i=1}^n q_i \quad (13.12)$$

– Nếu là vật mang điện phân bố đều liên tục thì ta chia vật thành những phần tử nhỏ, coi mỗi phần tử đó là điện tích điểm.

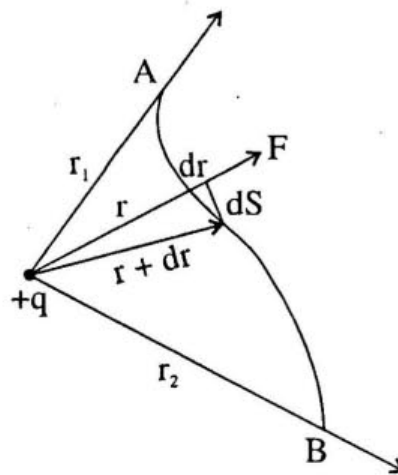
Nhận xét: định luật Gauss chỉ là hệ quả của định luật Coulomb. Vì vậy với các bài toán tĩnh điện ta có thể giải bằng định luật Coulomb hoặc định luật Gauss. Tuy nhiên trong những bài toán có tính chất đối xứng cao dùng định luật Gauss ta có thể giải đơn giản hơn (xem phần bài tập).

13.5. ĐIỆN THẾ, HIỆU ĐIỆN THẾ

13.5.1. Công của lực điện trường

Giả sử có một điện tích $+q$. Xung quanh q có một điện trường. Ta hãy tính công của lực điện trường do q sinh ra làm q_0 dịch chuyển từ A đến B theo một đường bất kỳ.

$$\begin{aligned}
 A &= \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_A^B F \cdot dr \cdot \cos \alpha \\
 &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r^2} \cdot dr = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_{r_1}^{r_2} \\
 A &= \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \tag{13.13}
 \end{aligned}$$



Hình 13.13

Nhận xét: công của lực điện trường không phụ thuộc vào hình dạng đường đi, chỉ phụ thuộc vào vị trí các điểm đầu và điểm cuối. Chính vì vậy điện trường cũng là một trường thế và lực điện là một lực thế.

Chú ý: Chứng minh được kết quả này cũng đúng cho một điện trường bất kỳ.

13.5.2. Thế năng điện tích điểm trong điện trường

Ta đã biết đối với trường thế:

$$A_{12} = W_{t_1} - W_{t_2}$$

Áp dụng vào điện trường:

$$A_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_2}$$

Thì đại lượng: $W_{t_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_1}$; $W_{t_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_2}$

Tổng quát: thế năng của một điện tích điểm trong điện trường tại một vị trí cách q một khoảng r là:

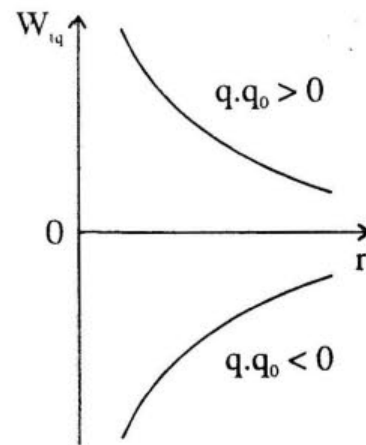
$$W_{tq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r} + C$$

C là hằng số tùy ý chọn. Tuy nhiên, trong thực tế ta không tính thế năng mà chỉ tính hiệu thế năng, nên hằng số C đơn giản ta chọn bằng 0.

Do đó:

$$W_{tq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r} \quad (13.14)$$

Vậy nếu q và q₀ cùng dấu thì thế năng dương, còn q và q₀ khác dấu thì thế năng âm. Hình 13.14. biểu diễn sự phụ thuộc của thế năng điện theo khoảng cách.



Hình 13.14

13.5.3. Điện thế

Từ biểu thức:

$$W_{tq} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r}$$

Nếu ta dùng đại lượng:

$$V = \frac{W_{tq}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{q}{r} \quad (13.15)$$

Thì rõ ràng V không phụ thuộc vào q₀ chỉ còn phụ thuộc vào điện tích q gây ra điện trường và r tính từ vị trí xét. Đại lượng V được gọi là điện thế.

Nếu có hệ điện tích điểm:

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i}$$

Trong hệ SI đơn vị của điện thế là Vôn (V).

13.5.4. Hiệu điện thế

Với khái niệm hiệu điện thế thì công của lực điện trường có thể viết:

$$A_{12} = q_0 \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r_2} \right)$$

$$A_{12} = q_0 \cdot (V_1 - V_2)$$

$$V_1 - V_2 = \frac{A_{12}}{q_0} \quad (13.16)$$

Đại lượng $V_1 - V_2$ được gọi là hiệu điện thế giữa hai điểm 1 và 2 trong điện trường, có giá trị bằng công làm dịch chuyển một đơn vị điện tích dương giữa hai điểm đó. Do đó hiệu điện thế đặc trưng cho điện trường về khả năng sinh công.

Rõ ràng điện thế và hiệu điện thế cùng đơn vị đo (Vôn).

13.5.5. Mặt đẳng thế, sự liên hệ giữa vectơ cường độ điện trường và điện thế

13.5.5.1. Mặt đẳng thế

a) Định nghĩa:

Mặt đẳng thế là quỹ tích của những điểm có cùng điện thế trong điện trường.

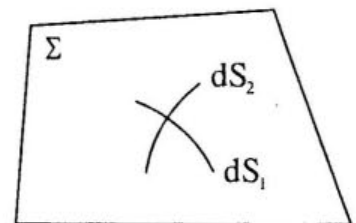
b) Tính chất mặt đẳng thế:

– Các mặt đẳng thế không cắt nhau. Vì tại một điểm trong điện trường chỉ có một giá trị của V .

– Công của lực điện trường làm dịch chuyển một điện tích trên mặt đẳng thế bằng 0. Thật vậy $A_{12} = q_0 \cdot (V_1 - V_2)$.

Trên mặt đẳng thế $V_1 = V_2$ suy ra $A = 0$.

– Các đường sức điện trường có phương vuông góc với mặt đẳng thế. Giả sử có mặt đẳng thế Σ . Ta tính công làm dịch chuyển điện tích q_0 trên đoạn đường dS_1 trên mặt.



Hình 13.15

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{S} = q_0 \cdot \vec{E} \cdot d\vec{S}_1 = q_0 \cdot E \cdot dS_1 \cdot \cos(\vec{E} \cdot d\vec{S}_1)$$

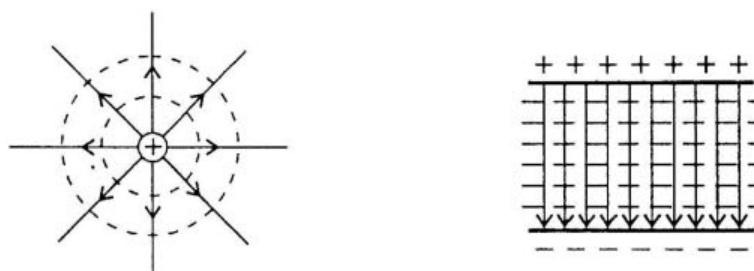
Theo tính chất 2, $dA = 0$, do đó:

$$\cos(\vec{E} \cdot d\vec{S}_1) = 0$$

Nghĩa là: \vec{E} vuông góc với dS_1 .

Tương tự ta có chứng minh \vec{E} vuông góc với dS_2 cắt dS_1 , nằm trên Σ . Vậy \vec{E} vuông góc với mặt đẳng thế Σ .

Chú ý: vì các mặt đẳng thế vuông góc với đường sức nên biết đường sức sẽ vẽ được mặt đẳng thế và ngược lại. Ví dụ:



Hình 13.16

– Với khái niệm mặt đẳng thế thì mặt Gauss chính là mặt đẳng thế.

13.5.5.2. Sự liên hệ giữa điện thế và vectơ \vec{E}

Giả sử ta có một điện trường bất kỳ, ta xét 2 mặt đẳng thế I và II. Có điện thế là V và $V + dV$ ($dV < 0$).

Kẻ pháp tuyến \vec{n} theo chiều hướng từ I sang II (chiều điện thế giảm). Ta hãy tính công làm dịch chuyển điện tích q_0 từ I đến II.

Vì công của lực điện trường không phụ thuộc vào hình dạng đường đi nên để đơn giản ta tính công làm q_0 dịch chuyển trên đoạn đường thẳng

AB dọc theo \vec{n} . Gọi $AB = dn$. Ta có:

$$dA = q_0 \cdot (V_A - V_B) = q_0 \cdot [V - (V + dV)]$$

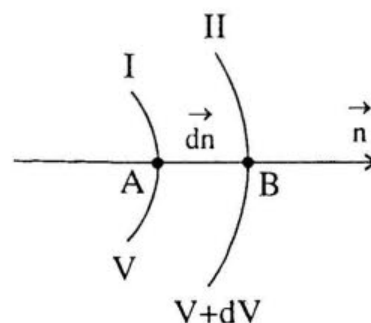
$$dA = -q_0 \cdot dV$$

Mặt khác theo cơ học ta có:

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{n} = q_0 \cdot \vec{E} \cdot d\vec{n} = q_0 \cdot E \cdot dn \cdot \cos(\vec{E} \cdot d\vec{n})$$

Do đó:

$$-dV = E \cdot dn \cdot \cos(\vec{E} \cdot d\vec{n})$$



Hình 13.17

Vì $dV < 0 \Rightarrow -dV > 0$, $E > 0$, $dn > 0$. Do đó $\cos(\vec{E} \cdot \vec{dn}) > 0$. Mặt khác \vec{E} có phương vuông góc với mặt đẳng thế, do đó cùng phương \vec{n} nên muốn $\cos(\vec{E} \cdot \vec{dn}) = 1$ nghĩa là \vec{E} cùng chiều \vec{n} . Hay vectơ cường độ điện trường hướng về nơi điện thế giảm.

Về mặt độ lớn ta có:

$$E = -\frac{dV}{dn}$$

Nghĩa là: Cường độ điện trường có độ lớn bằng sự biến thiên của điện thế trên một đơn vị chiều dài dọc theo phương của cường độ điện trường.

Về toán học ta có thể viết:

$$\vec{E} = -\vec{\text{grad}}V \quad (13.17)$$

$\vec{\text{grad}}V$ được gọi là gradien điện thế.

Chú ý: Từ sự liên hệ giữa \vec{E} và V ta có thể tính được \vec{E} nếu biết V và ngược lại.

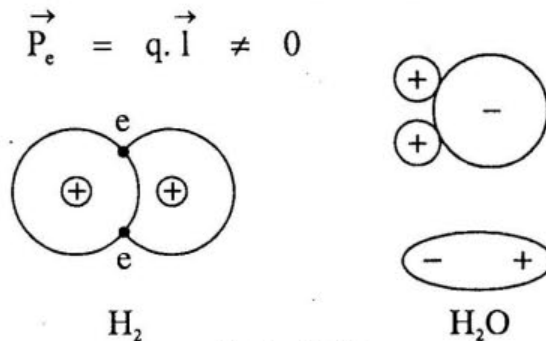
13.6. CHẤT ĐIỆN MÔI TRONG ĐIỆN TRƯỜNG

13.6.1. Cấu tạo của chất điện môi

Theo định nghĩa chất điện môi là chất không có điện tích tự do, tuy nhiên về mặt cấu tạo phân tử, chất điện môi cũng do các điện tích trái dấu tạo thành. Tuy theo vị trí trung tâm tích điện dương và trung tâm tích điện âm mà người ta chia chất điện môi làm hai loại:

- Chất điện môi không có cực: đó là các chất điện môi mà phân tử của chúng các trung tâm tích điện + và - trùng nhau (không phân biệt), do đó $\vec{P}_e = 0$. Ví dụ: N_2 , H_2 .

- Chất điện môi có cực: đó là các chất điện môi mà mỗi phân tử có cấu tạo sao cho các trung tâm tích điện tách rời nhau, mỗi phân tử là một lưỡng cực điện. Ví dụ: H_2O , HCl .



Hình 13.18

13.6.2. Sự phân cực của chất điện môi

13.6.2.1. Hiện tượng

Khi đặt khối chất điện môi trong điện trường ta thấy bề mặt chất điện môi dọc theo phương điện trường xuất hiện hai lớp điện tích bằng nhau và trái dấu. Nơi bề mặt có vectơ cường độ điện trường đi vào mang điện tích $-$, nơi cường độ điện trường đi ra mang điện tích $+$. Các điện tích này xuất hiện ở đâu thì định xứ tại đó nên gọi là *điện tích buộc* hay *điện tích liên kết bề mặt*. Trong lòng chất điện môi xuất hiện một điện trường phụ ngược chiều với điện trường mà chất điện môi đặt vào. Đó gọi là hiện tượng phân cực của chất điện môi.

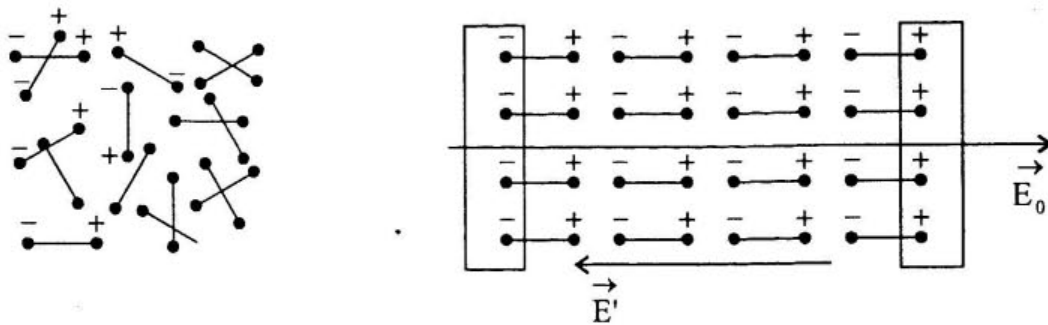
13.6.2.2. Giải thích

– Đối với chất điện môi có cực

Khi chưa có điện trường do chuyển động nhiệt hỗn loạn. Mỗi phân tử chất điện môi định hướng khác nhau nên trong toàn bộ thể tích chất điện môi thì:

$$\sum \vec{P}_e = 0$$

Khi có điện trường \vec{E}_0 đặt vào chất điện môi, dưới tác dụng của điện trường các lưỡng cực điện sẽ định hướng lại, có xu hướng quay đến khi mỗi lưỡng cực có phương song song với điện trường (hình 13.19), Rõ ràng sau khi sắp xếp lại, toàn bộ thể tích bên trong chất điện môi coi như trung hoà về điện. Ở hai lớp bề mặt xuất hiện hai lớp điện tích trái dấu và điện trường phụ \vec{E}' sẽ ngược chiều với điện trường \vec{E}_0 trong thể tích chất điện môi.



Hình 13.19

– Điện môi không có cực:

Dưới tác dụng của điện trường một số phân tử trở thành có cực và hiện tượng cũng xảy ra như trên.

13.6.2.3. Ý nghĩa

Theo nguyên lý chồng chất của điện trường, nếu gọi \vec{E} là cường độ điện trường trong chất điện môi, thì:

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_0 + \vec{E}' \\ E &= E_0 - E' < E_0 \\ \varepsilon &= \frac{E_0}{E} = \frac{E_0}{E_0 - E'}\end{aligned}$$

Là hằng số đối với một chất điện môi xác định, được gọi là hằng số điện môi. Do cường độ điện trường trong chất điện môi nhỏ hơn trong chân không ε lần nên lực tương tác giữa hai điện tích trong chất điện môi cũng giảm đi ε lần so với trong chân không cùng khoảng cách. Điều đó giải thích tại sao trong dung dịch các chất, chất điện phân dễ tách thành các ion trái dấu.

Chú ý:

– Sự định hướng của các phân tử chất điện môi trong điện trường ngoài sự phụ thuộc vào cường độ điện trường \vec{E}_0 , còn phụ thuộc vào nhiệt độ.

– Hiện tượng phân cực chất điện môi còn xảy ra khi nén hoặc dãn các tinh thể chất điện môi, khi đó giữa hai bề mặt của chất điện môi xuất hiện một hiệu điện thế. Hiện tượng này được ứng dụng để biến đổi dao động cơ thành dao động điện (cân điện chính xác).

– Ngược lại nếu đặt hai mặt đối diện của chất điện môi một hiệu điện thế thì khối điện môi bị nén hoặc dãn. Nếu hiệu điện thế đặt vào là một hiệu điện thế xoay chiều thì khối điện môi bị nén, dãn liên tiếp tạo nên một dao động cơ học cùng tần số với hiệu điện thế xoay chiều đặt vào. Điều này ứng dụng để chế tạo nguồn phát siêu âm.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Phát biểu định luật Coulomb. Biểu thức toán học. Ý nghĩa hằng số điện môi.
2. Khái niệm về điện trường. Định nghĩa cường độ điện trường. Tính cường độ điện trường cho một điện tích điểm, lưỡng cực điện, ứng dụng lò vi sóng.
3. Vectơ cảm ứng điện, khái niệm về đường sức cảm ứng điện. Định lý Gauss đối với điện trường.
4. Công của lực điện trường, điện thế, hiệu điện thế.

5. Mặt đẳng thế. Sự liên hệ giữa V và \vec{E} .
6. Chất điện môi trong điện trường.
7. Tại sao mùa hanh, khô (tháng 11, 12) lại dễ dàng xảy ra hiện tượng nhiễm điện (quần, áo ta mặc dễ nhiễm điện).
8. Một chất điện môi tích điện có thể phóng điện bằng cách đưa nó đi qua một ngọn lửa, hãy giải thích?
9. Làm thế nào bạn có thể xác định được dấu của điện tích trên một thanh cô lập tích điện.
10. Ta dùng một điện tích thử dương để thăm dò điện trường. Có thể dùng điện tích thử âm được không? Giải thích.
11. Hai điện tích điểm chưa biết độ lớn và dấu cách nhau một khoảng d . Điện trường bằng không ở một điểm nằm trên đoạn thẳng giữa chúng. Bạn có thể kết luận như thế nào về các điện tích.
12. Hai điện tích điểm chưa biết độ lớn và dấu cách nhau một khoảng d . Có thể có $\vec{E} = 0$ ở một điểm nào đó ngoài trục không? (từ điểm ở vô cùng). Hãy giải thích.
13. Nếu các electron trong kim loại như đồng có thể chuyển động tự do, chúng bị chặn lại ở mặt kim loại, tại sao chúng không chuyển động tiếp và rời khỏi kim loại.
14. Mặt kín bao quanh một lưỡng cực điện. Bạn có thể nói gì về thông lượng điện toàn phần qua mặt đó.
15. Từ phương trình 13.7, khi r bằng ℓ thì trở về phương trình 13.5, bạn có nghĩ là không hợp lý không?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Hai điện tích điểm $9Q$ và $-Q$ đặt cách nhau một khoảng a trong không khí.
 - a) Xác định vị trí M cách $-Q$ là bao nhiêu để đặt q_0 tại đó thì nó đứng yên? Vị trí này có phụ thuộc vào dấu và độ lớn của q_0 không?
 - b) Tính cường độ điện trường do 2 điện tích trên gây ra tại điểm N cách đều hai điện tích trên một đoạn là a .

$$\text{Đáp số: a) } x = \frac{a}{2}$$

$$\text{b) } E_N = k \cdot \frac{Q}{a^2} \cdot \sqrt{73}$$

2. Có 6 điện tích + q đặt tại 6 đỉnh của lục giác đều cạnh a.
- Tính lực tác dụng lên mỗi điện tích.
 - Tính cường độ điện trường tại tâm hình lục giác.
 - Tính điện thế tại tâm hình lục giác.

Đáp số: a) $F = k \cdot \frac{Q^2}{12.a^2} \cdot (15 + 4\sqrt{3}) \text{ (N)}$

b) $\vec{E} = 0$

c) $V = \frac{6.k.Q}{a}$

3. Có 2 điện tích + e và 2 điện tích -e đặt tại 4 đỉnh hình vuông cạnh a.
- Tính lực tác dụng lên mỗi điện tích.
 - Tính cường độ điện trường tại tâm hình vuông.
 - Tính điện thế tại tâm hình vuông.

Đáp số: a) Trường hợp 2 điện tích cùng dấu đặt tại 2 đỉnh liên tiếp:

$$F = k \cdot \frac{3.e^2}{2.a^2}$$

Trường hợp 2 điện tích cùng dấu đặt tại 2 đỉnh đối diện:

$$F = k \cdot \frac{q^2}{2.a^2} \cdot (2\sqrt{2} - 1)$$

b) $E = \frac{4.k.q}{a^2} \cdot \sqrt{2}$

$E = 0$

c) $V = 0$

4. Cho 2 điểm A và B cùng nằm trên một đường sức do một điện tích điểm q gây ra. Biết $E_A = 36V/m$; $E_B = 9V/m$.
- Tính cường độ điện trường tại O là trung điểm của AB.
 - Nếu đặt thêm một điện tích thứ hai q đối xứng với điện tích q thứ nhất qua điểm O, thì cường độ điện trường tại A, B, O có giá trị bằng bao nhiêu.

Đáp số: a) $E_O = 16V/m$.

b) $E_O = 0$; $E_A = E_B = 27V/m$.

5. Hai quả cầu nhỏ bằng kim loại cùng khối lượng m. Được treo bằng hai sợi dây dài ℓ , không dẫn, khối lượng sợi dây không đáng kể, hai đầu sợi dây treo chung điểm O. Cho rằng $\ell \gg a$.

a) Nếu tích điện cho hai quả cầu thì thấy chúng đẩy nhau cách nhau một đoạn là a . Tính điện tích mỗi quả cầu.

b) Vẫn cho hai quả cầu đã tích điện như trên cho vào dầu (hằng số điện môi ϵ) thấy chúng vẫn đẩy nhau như cũ. Tính khối lượng riêng của dầu. Biết khối lượng riêng của quả cầu là D_{Cu} .

$$\text{Đáp số: a) } q = \pm a \cdot \sqrt{\frac{m \cdot g \cdot a}{2 \cdot k \cdot \ell}}$$

$$\text{b) } D_d = \frac{D_{Cu}(\epsilon - 1)}{\epsilon}$$

6. Tính cường độ điện trường do sợi dây thẳng dài vô hạn tích điện đều với mật độ điện tích dài $+\lambda$ (số điện tích trên một đơn vị dài) gây ra tại những điểm cách sợi dây một đoạn a . Dùng định lý Gauss kiểm tra.

$$\text{Đáp số: } E = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon}$$

7. Áp dụng định lý Gauss tính cường độ điện trường do một vỏ cầu tích điện gây ra tại những điểm cách tâm của vỏ cầu một khoảng r .

a) $r > R$ (R là bán kính vỏ cầu).

b) $r < R$.

Biết mật độ điện tích mặt là δ (số điện tích trên một đơn vị diện tích).

$$\text{Đáp số: a) } E = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r^2} = \frac{\delta \cdot R^2}{\epsilon_0 \cdot \epsilon \cdot r^2}$$

$$\text{b) } E = 0$$

8. Giọt nước hình cầu đường kính $1,2 \mu\text{m}$ được treo trong không khí bình lặng nhờ có điện trường của khí quyển với độ lớn $E = 462 \text{V/m}$ (N/C) và chiều hướng xuống dưới.

a) Trọng lượng của giọt nước.

b) Giọt nước có bao nhiêu electron dư.

$$\text{Đáp số: a) } 5 \cdot 10^{-15} \text{kg}$$

$$\text{b) } 720 \text{ hạt.}$$

9. Hai quả cầu nhỏ dẫn điện, cùng khối lượng m và điện tích q . Chúng treo trên sợi dây có chiều dài L . Giả sử góc lệch θ rất nhỏ ($\text{tg}\theta \approx \sin\theta$). Chứng minh rằng khi cân bằng:

a) Khoảng cách x giữa hai quả cầu thoả mãn

$$x = \left(\frac{q^2 L}{2\pi\epsilon_0 mg} \right)^{1/3}.$$

b) Nếu $L = 120\text{m}$, $m = 10\text{g}$, $x = 5\text{cm}$ thì q bằng bao nhiêu?

Đáp số: $q = \pm 2,4 \cdot 10^{-9}\text{C}$



10. Cường độ trung bình của điện trường có trong bầu khí quyển ngay trên mặt Trái Đất vào khoảng 150N/C ; điện trường hướng từ trên xuống dưới. Hỏi điện tích mặt tổng cộng của Trái Đất? (giả thiết Trái Đất hình cầu, vật dẫn có điện tích phân bố đều).

(Hướng dẫn: áp dụng phương trình 13.9 và 13.10, cho $\epsilon = 1$)

Đáp số: $q = - 6,8 \cdot 10^5\text{C}$.

11. Tính điện thế trên mặt của một hạt nhân vàng. Biết bán kính hạt nhân là $6,2 \cdot 10^{-15}\text{m}$ ($6,2\text{fcm}$) và nguyên tử số Z của vàng là 79. Tại sao bạn cảm cục vàng không bị giật điện.

(Hướng dẫn: áp dụng định lý Gauss và phương trình 13.13).

Đáp số: $1,8 \cdot 10^7\text{V} = 18\text{MV}$.

Có điện thế âm trung hoà.

Chương 14

DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

MỤC TIÊU

1. Trình bày được:

- Các đại lượng đặc trưng cho dòng điện: cường độ dòng điện, mật độ dòng điện.
- Định luật Ohm cho một đoạn mạch.
- Nguồn điện. Định luật Ohm cho mạch kín.
- Định luật Kirchhoff.

2. Giải thích được một số hiện tượng thông thường về mạch điện xảy ra trong đời sống, khoa học, kỹ thuật.

14.1. NHỮNG KHÁI NIỆM MỞ ĐẦU

14.1.1. Định nghĩa dòng điện

Trong môi trường dẫn điện, các điện tích tự do luôn luôn chuyển động hỗn loạn. Dưới tác dụng của điện trường ngoài các điện tích tự do đó sẽ chuyển động có hướng: điện tích dương chuyển động cùng chiều điện trường, điện tích âm chuyển động ngược chiều điện trường. *Dòng các hạt điện tích chuyển động có hướng dưới tác dụng của điện trường gọi là dòng điện.*

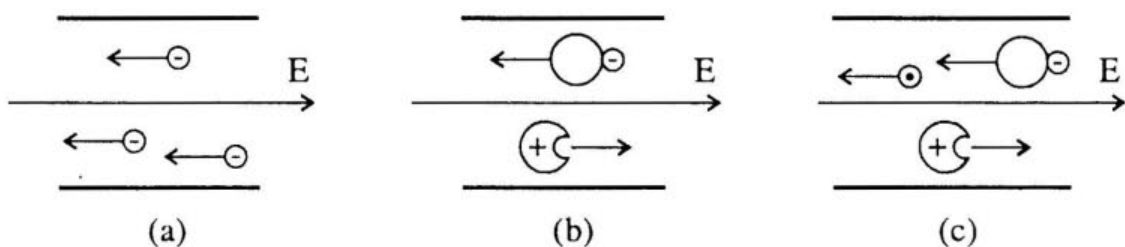
Theo quy ước chiều của dòng điện là chiều chuyển dời của các hạt điện tích dương hay là ngược chiều với chiều chuyển động của các hạt điện tích âm.

14.1.2. Bản chất dòng điện trong các môi trường

Bản chất dòng điện trong các môi trường khác nhau cũng khác nhau (hình 14.1).

Thực vậy như ta đã biết trong kim loại các nguyên tử liên kết chặt chẽ với nhau tạo thành mạng tinh thể kim loại. Các ion dương chỉ dao động xung quanh nút mạng, còn các điện tử tự do chuyển động hỗn loạn trong không gian giữa các nút mạng. Dưới tác dụng của điện trường chính các điện tử tự do này chuyển động tạo ra dòng điện (hình 14.1a).

Trái lại, trong chất điện phân khi chưa có điện trường ngoài các phân tử chất điện phân do tương tác với nhau đã tự phân ly thành ion dương, ion âm. Dưới tác dụng của điện trường các ion này chuyển động tạo ra dòng điện (hình 14.1b).



Hình 14.1

Đối với chất khí ở trạng thái bình thường các phân tử khí hầu như đều ở trạng thái trung hoà về điện. Tuy nhiên khi có kích thích bên ngoài, các phân tử khí có thể giải phóng điện tử thành ion dương. Các điện tử được giải phóng một số ở trạng thái tự do, một số kết hợp với nguyên tử trung hoà khác thành ion âm. Khi có điện trường ngoài cả ion dương, ion âm, điện tử đều chuyển động tạo ra dòng điện (hình 14.1c).

14.1.3. Tác dụng của dòng điện

Tuy có bản chất khác nhau nhưng dòng điện bao giờ cũng có tác dụng đặc trưng giống nhau như tác dụng nhiệt, tác dụng từ, tác dụng sinh lý,...

14.2. NHỮNG ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CỦA DÒNG ĐIỆN

14.2.1. Cường độ dòng điện

Xét một diện tích S bất kỳ nằm trong môi trường có dòng điện chạy qua (hình 14.2).

Theo định nghĩa: *cường độ dòng điện qua diện tích S là đại lượng có trị số bằng điện lượng chuyển qua diện tích ấy trong một đơn vị thời gian.*

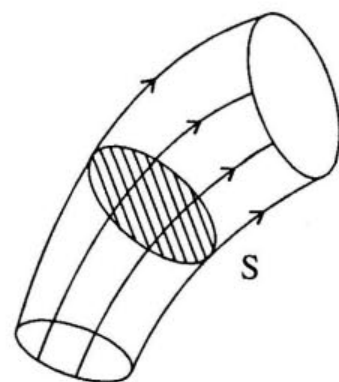
$$i = \frac{dq}{dt} \quad (14.1)$$

Từ đó suy ra điện lượng q đi qua diện tích S trong thời gian t sẽ là:

$$q = \int_0^t dq = \int_0^t i \cdot dt \quad (14.2)$$

Nếu i có phương chiều độ lớn không đổi theo thời gian thì dòng điện đó được gọi là dòng điện không đổi. Từ (14.2) nếu $i = I = \text{const}$. Ta có:

$$q = \int_0^t i \cdot dt = It \quad (14.3)$$



Hình 14.2

Trong hệ SI, đơn vị cường độ dòng điện là Ampere (A), đơn vị điện tích q là Coulomb (C).

Ngoài ra trong thực tế còn dùng:

$$\text{Kilo Ampere: } kA = 10^3A$$

$$\text{Mili Ampere: } mA = 10^{-3}A$$

$$\text{Micro Ampere: } \mu A = 10^{-6}A$$

Chú ý: nếu trong vật dẫn có cả hai loại điện tích dương và âm chuyển động qua diện tích S. Giả sử điện tích dương chuyển qua S điện lượng dq₁, điện tích âm chuyển qua S điện lượng dq₂. Thì:

$$i = \frac{dq_1}{dt} + \frac{dq_2}{dt}$$

Nói một cách khác dòng điện tích âm chuyển động theo một chiều nào đó sẽ tương đương với dòng điện tích dương có cùng độ lớn điện tích nhưng theo chiều ngược lại.

14.2.2. Vectơ mật độ dòng điện

Cường độ dòng điện chỉ đặc trưng cho độ mạnh yếu của dòng điện qua một diện tích nào đó, chưa đặc trưng cho độ mạnh yếu của dòng điện tại từng điểm trong môi trường, ngoài ra cường độ dòng điện còn chưa cho ta biết phương, chiều các dòng điện. Vì vậy, ngoài cường độ dòng điện người ta còn dùng một đại lượng vật lý khác để đặc trưng cho dòng điện đó là vectơ mật độ dòng điện.

14.2.2.1. Định nghĩa

Vectơ mật độ dòng điện \vec{j} tại một điểm M trong môi trường có dòng điện là một vectơ có gốc tại M, có phương chiều là phương chiều của điện tích dương chuyển động qua điểm đó, có độ lớn bằng cường độ dòng điện qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương chuyển động ấy (hình 14.3).

Về độ lớn ta có:

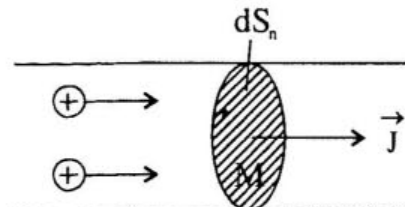
$$j = \frac{dI}{dS_n} \tag{14.4}$$

Từ (14.4) ta suy ra cường độ dòng điện qua diện tích vuông góc S_n là:

$$I = \int_{S_n} dI = \int_{S_n} j \cdot dS_n$$

Nếu trên cả mặt S_n mà j = const. Ta có:

$$I = j \cdot S_n$$



Hình 14.3

Để tính cường độ qua diện tích S bất kỳ ta phải chia diện tích S đó thành những phần tử dS . Sao cho trên dS , j không đổi.

Gọi dS_n là hình chiếu dS trên phương vuông góc với \vec{j} ; thì rõ ràng cường độ dòng điện qua dS_n cũng bằng cường độ qua dS .

Ta có:

$$dI = j \cdot dS_n = j \cdot dS \cdot \cos\alpha$$

Vì: $j \cdot \cos\alpha = j_n$

j_n là hình chiếu của \vec{j} trên pháp tuyến \vec{n} của dS . Nếu dựng \vec{dS} là một vectơ có phương pháp tuyến \vec{n} , có độ lớn bằng giá trị của dS .

Theo toán học ta có:

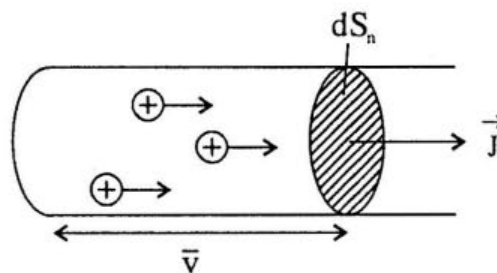
$$dI = \vec{j} \cdot \vec{dS}$$

$$I = \int_S dI = \int_S \vec{j} \cdot \vec{dS} \quad (14.6)$$

Trong hệ SI đơn vị của \vec{j} là: A/m^2 .

14.2.2.2. Sự liên hệ giữa vectơ mật độ dòng điện và vectơ vận tốc của các điện tích chuyển động

Nếu gọi n_0 là mật độ điện tích tự do, $|e|$ là độ lớn mỗi hạt điện tích; \vec{v} là độ lớn vận tốc mỗi hạt thì j , n_0 , $|e|$, \vec{v} có mối liên hệ với nhau.



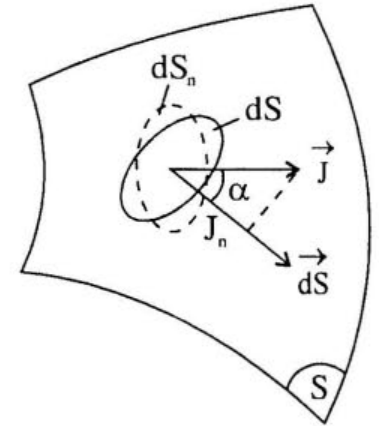
Hình 14.5

Thực vậy trong một đơn vị thời gian số hạt điện tích đi qua dS_n sẽ là:

$$d_n = n_0 \cdot \vec{v} \cdot dS_n$$

Do đó cường độ dI qua dS_n sẽ là:

$$dI = n_0 \cdot \vec{v} \cdot dS_n \cdot |e|$$



Hình 14.4

$$j = \frac{dI}{dS_n} = n_0 \cdot |e| \cdot \bar{v}$$

Ta có thể biểu diễn dưới dạng tổng quát như sau:

$$\vec{j} = n_0 \cdot e \cdot \vec{v} \quad (14.7)$$

Dễ dàng nhận thấy (14.7) đúng cho cả hạt mang điện tích dương và điện tích âm.

Thật vậy: $e > 0 \rightarrow \vec{j}$ cùng chiều \vec{v} .

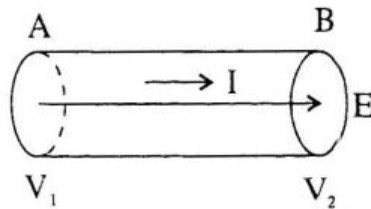
$e < 0 \rightarrow \vec{j}$ ngược chiều \vec{v} .

14.3. ĐỊNH LUẬT OHM ĐỐI VỚI ĐOẠN MẠCH THUẦN ĐIỆN TRỞ

14.3.1. Dạng thường

Xét một vật dẫn đồng chất AB, có cường độ dòng điện I chạy qua.

Gọi V_1, V_2 là điện thế ở A, B (hình 12.6).



Hình 12.6

Giả sử $V_1 > V_2$ thì \vec{E} hướng từ V_1 đến V_2 , do đó dòng điện I có chiều cùng chiều với \vec{E} . Qua thực nghiệm chứng tỏ:

$$I = K \cdot (V_1 - V_2) \quad (14.8)$$

K là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào bản chất các vật dẫn, nhiệt độ gọi là độ dẫn điện. Nếu đặt $K = \frac{1}{R}$ thì R được gọi là điện trở của vật dẫn: (14.8) \rightarrow (14.8').

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R} \quad (14.8')$$

Công thức (14.8) hoặc (14.8') được gọi là định luật Ohm cho đoạn mạch thuần điện trở.

14.3.2. Điện trở, điện trở suất

Thực nghiệm chứng tỏ đối với đoạn dây đồng chất, tiết diện đều thì điện trở được tính theo công thức:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S_n}$$

Trong đó: l : chiều dài của dây dẫn.

S_n : tiết diện vuông góc (tiết diện thẳng).

ρ : được gọi là điện trở suất phụ thuộc vào bản chất vật dẫn và nhiệt độ.

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha_R \cdot t^0)$$

ρ_0 là điện trở suất ở 0°C .

ρ là điện trở suất ở $t^\circ\text{C}$.

α_R là hệ số nhiệt điện trở.

Trong hệ SI đơn vị điện trở là Ohm (Ω), đơn vị của ρ là $\Omega \cdot \text{m}$.

Chú ý trong kỹ thuật hay dùng:

$$\text{k}\Omega = 10^3 \Omega ; \text{M}\Omega = 10^6 \Omega$$

$$1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$$

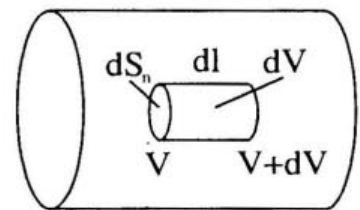
14.3.3. Dạng vi phân của định luật Ohm

Định luật Ohm dạng thường chỉ áp dụng cho một dây dẫn đồng chất. Trong trường hợp dây dẫn không đồng chất ta có thể chia dây dẫn thành các thể tích rất nhỏ, trong mỗi thể tích đó coi như đồng chất, và định luật Ohm áp dụng cho thể tích đó có thể coi như một điểm gọi là định luật Ohm dạng vi phân.

Muốn vậy ta xét một thể tích nhỏ dV ở trong dây dẫn (hình 14.7).

Gọi dS_n là tiết diện thẳng, dl là chiều dài, và điện thế hai đầu tiết diện là $V, V + dV$.

Áp dụng định luật Ohm dạng thường ta có cường độ dòng điện qua tiết diện dS_n :



Hình 14.7

$$dI = \frac{V - (V + dV)}{dR} = -\frac{dV}{dR}$$

$$dR = \rho \cdot \frac{dl}{dS_n} ; \text{do đó:}$$

$$dI = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dV}{dl} \cdot dS_n$$

$$j = \frac{dl}{dS_n} = \frac{1}{\rho} \cdot \left(-\frac{dV}{dl} \right) = \frac{1}{\rho} \cdot E$$

Đặt $\frac{1}{\rho} = \sigma$, σ được gọi là điện dẫn suất. Ta có:

$$j = \sigma \cdot E$$

\vec{j} và \vec{E} theo định nghĩa luôn luôn cùng phương, cùng chiều do đó:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (14.9)$$

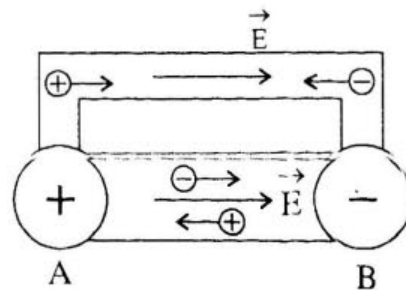
Biểu thức (14.9) gọi là định luật Ohm dạng vi phân, có thể phát biểu:

Tại mọi điểm bất kỳ trong môi trường có dòng điện chạy qua, vectơ mật độ dòng điện tỷ lệ với vectơ cường độ điện trường tại đó.

14.4. SUẤT ĐIỆN ĐỘNG CỦA NGUỒN ĐIỆN – ĐỊNH LUẬT OHM CHO MẠCH KÍN

14.4.1. Nguồn điện

Xét 2 vật dẫn A và B mang điện trái dấu, A mang điện dương, B mang điện âm. Vậy $V_A > V_B$, giữa A và B có một điện trường \vec{E} hướng từ A \rightarrow B (hình 14.8).



Hình 14.8

Nếu nối A và B bằng một dây dẫn thì điện tích dương sẽ chuyển động từ A đến B và điện tích âm chuyển động từ B đến A. Do đó điện thế V_A giảm dần, V_B tăng dần đến một lúc nào đó A và B cùng điện thế thì các điện tích ngừng chuyển động và dòng điện không tồn tại.

Muốn duy trì dòng điện ta phải đưa điện tích dương từ B về A, điện tích âm từ A về B. Điện trường không thể làm được điều đó. Vì vậy ta phải tác dụng lên các điện tích một lực có khả năng làm cho điện tích dương từ B về A và điện tích âm từ A về B. Về bản chất lực này không phải là lực tĩnh điện nên gọi là lực phi tĩnh điện hay là lực lạ.

Trường gây ra lực lạ gọi là trường lạ. Nguồn gây ra trường lạ gọi là nguồn điện.

Trong thực tế các nguồn điện ta thường gặp như pin, ắc quy, máy phát điện một chiều hoặc xoay chiều. Trong các nguồn điện khác nhau thì lực lạ cũng khác nhau. Ví dụ trong pin đó là lực hoá học, trong các máy phát điện lực lạ là lực điện từ.

14.4.2. Suất điện động nguồn điện

Để đặc trưng cho độ mạnh yếu của nguồn điện người ta dùng đại lượng vật lý là suất điện động, được định nghĩa

Suất điện động của nguồn điện là đại lượng vật lý có giá trị bằng công của lực điện trường làm dịch chuyển một đơn vị điện tích dương một vòng quanh mạch kín của nguồn đó.

$$\varepsilon = \frac{A}{q} \quad (14.10a)$$

A là công làm điện tích q dương dịch chuyển một vòng trong mạch kín.

Ta hãy tìm biểu thức toán học tổng quát của suất điện động:

Gọi: \vec{E} là vectơ cường độ điện trường tĩnh điện.

\vec{E}^* là vectơ cường độ điện trường lạ.

Ta có:

$$\begin{aligned} A &= \oint q \cdot (\vec{E} + \vec{E}^*) \cdot d\vec{s} \\ &= \oint q \cdot \vec{E} \cdot d\vec{s} + \oint q \cdot \vec{E}^* \cdot d\vec{s} \end{aligned}$$

Vì điện trường của trường tĩnh điện là một trường thế nên:

$$\oint q \cdot \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

Do đó:

$$A = \oint q \cdot \vec{E}^* \cdot d\vec{s}$$

Do đó:

$$\varepsilon = \frac{A}{q} = \oint \vec{E}^* \cdot d\vec{s} \quad (14.10b)$$

Chú ý: nếu lực lạ chỉ tồn tại trên một đoạn S của mạch thì:

$$\varepsilon = \oint \vec{E}^* \cdot d\vec{s} = \int_S \vec{E}^* \cdot d\vec{s}$$

14.4.3. Suất điện động của nguồn hoá điện – định luật Ohm cho mạch kín

Nguồn hoá điện là nguồn điện mà lực lạ là lực hoá học. Nguồn hoá điện có cấu tạo chung là hai vật dẫn khác nhau được nhúng vào trong một dung dịch điện phân có tác dụng hoá học với hai vật dẫn đó. Hai vật dẫn là hai cực của nguồn điện, nơi có điện thế cao là cực dương.

Ví dụ: pin Volta, hai vật dẫn là Cu, Zn, dung dịch điện phân là H_2SO_4 . Cu là cực dương.

Pin Leclanché (pin kỹ thuật) hai cực là than và Zn, dung dịch điện phân là NH_4Cl . than là cực dương.

Giả sử có nguồn hoá điện cực dương A, cực âm B. Nếu nối hai cực A và B bằng một dây dẫn có điện trở R thì sẽ có dòng điện cường độ I chạy từ A sang B.

Theo định luật Ohm ta có:

$$V_A - V_B = I.R$$

Vì dòng điện chạy trong mạch là kín nên trong dung dịch điện phân phải có dòng điện chạy từ B đến A. Muốn vậy điện thế ở lớp dung dịch sát cực B là V_B' phải lớn hơn điện thế ở lớp dung dịch sát cực A là V_A' . Gọi r là điện trở lớp dung dịch giữa hai cực (điện trở trong), ta có:

$$V_B' - V_A' = I.r$$

Để thực hiện được điều đó thì ở hai cực phải có sự nhảy điện thế. Ở cực A gọi:

$$\varepsilon_1 = V_A - V_A'$$

Ở cực B:

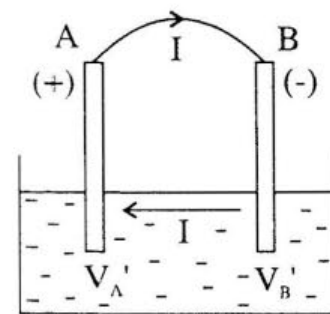
$$\varepsilon_2 = V_B' - V_B$$

Ta có thể biểu diễn sự biến thiên trên toàn mạch như sau: dựng một hình trụ đáy phẳng, các đường sinh có độ dài khác nhau ứng với điện thế khác nhau trên mạch. Thì:

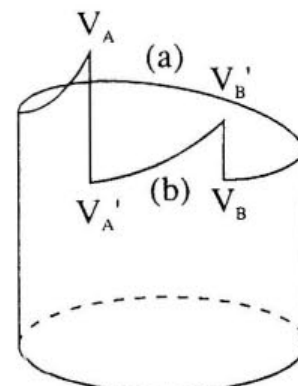
– Đường cong $V_A \cdot a \cdot V_B$ biểu diễn sự biến thiên điện thế mạch ngoài.

– Đường cong $V_B' \cdot b \cdot V_A'$ biểu diễn sự biến thiên điện thế mạch trong.

– Hai đoạn thẳng đứng $V_B \cdot V_B'$ và $V_A' \cdot V_A$ biểu diễn sự nhảy điện thế ở hai cực (hình 14.10).



Hình 14.9



Hình 14.10

Nhìn vào sự biến thiên điện thế trên toàn mạch ta có thể thấy chính lực lạ đã gây ra sự nhảy điện thế ở hai cực và do đó:

$$\varepsilon = \oint \vec{E}^* \cdot d\vec{s} = \int_C \vec{E}^* \cdot d\vec{s} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

Vậy:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = V_A - V_{A'} + V_{B'} - V_B \\ &= (V_A - V_B) + (V_{B'} - V_{A'}) \\ &= I.R + I.r \\ \varepsilon &= I.(R + r) \end{aligned}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad (14.11)$$

Công thức (14.11) được gọi là định luật Ohm cho mạch kín (toàn mạch) có thể phát biểu như sau:

Cường độ dòng điện trong mạch kín tỷ lệ thuận với suất điện động, tỷ lệ nghịch với điện trở toàn mạch.

Chú ý:

- Nếu nguồn điện là một bộ nguồn gồm nhiều nguồn điện thì khi các nguồn điện mắc nối tiếp ta có:

$$\varepsilon_{bộ} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

$$r_{bộ} = \sum_{i=1}^n r_i$$

Nếu các nguồn điện như nhau được mắc song song (các cực cùng dấu nối với nhau) thì:

$$\varepsilon_{bộ} = \varepsilon_1$$

$$r_{bộ} = \frac{r_1}{n}$$

- Nếu điện trở ngoài gồm nhiều điện trở thì:

Khi mắc nối tiếp:

$$R_{ngoài} = \sum_{i=1}^n R_i$$

Nếu mắc song song thì:

$$\frac{1}{R_{ngoài}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

14.4.4. Định luật Ohm cho đoạn mạch có nguồn

Xét đoạn mạch AB có cường độ dòng điện I chạy qua trong đó nguồn điện suất điện động ε và điện trở trong r .

Công suất điện tiêu thụ trong đoạn mạch AB sẽ là:

$$P_{AB} = U_{AB} \cdot I$$

Trong mạch AB công suất tiêu thụ điện một phần sẽ toả nhiệt, nhưng đồng thời nguồn cũng sinh ra một công suất:

$$P_{\varepsilon} = \varepsilon \cdot I$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$$P_{AB} = (R + r) \cdot I^2 - \varepsilon \cdot I$$

$$U_{AB} \cdot I = (R + r) \cdot I^2 - \varepsilon \cdot I$$

$$U_{AB} = (R + r) \cdot I - \varepsilon$$

Tổng quát:

$$U_{AB} = \pm \sum_{i=1}^n R_i \cdot I \pm \varepsilon_i \quad (14.12)$$

Với:

- + $R_i I$ khi chiều dòng điện đi từ A đến B và $-R_i I$ nếu dòng điện đi từ B đến A.
- + ε_i khi đầu A nối với cực dương của ε_i và $-\varepsilon_i$ khi đầu A nối với cực âm của nguồn.

14.5. ĐỊNH LUẬT KIRCHHOFF

Để hiểu sâu sắc khái niệm, định luật tổng quát của mạch điện ta hãy phân tích một mạch điện tổng quát.

14.5.1. Cấu tạo của một mạch điện tổng quát

Một mạch điện tổng quát được cấu tạo như sau:

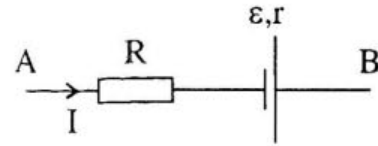
14.5.1.1. Nhánh

Là một hoặc nhiều phần tử (điện trở, nguồn) mắc nối tiếp, trong nhánh cường độ dòng điện có chiều và độ lớn xác định.

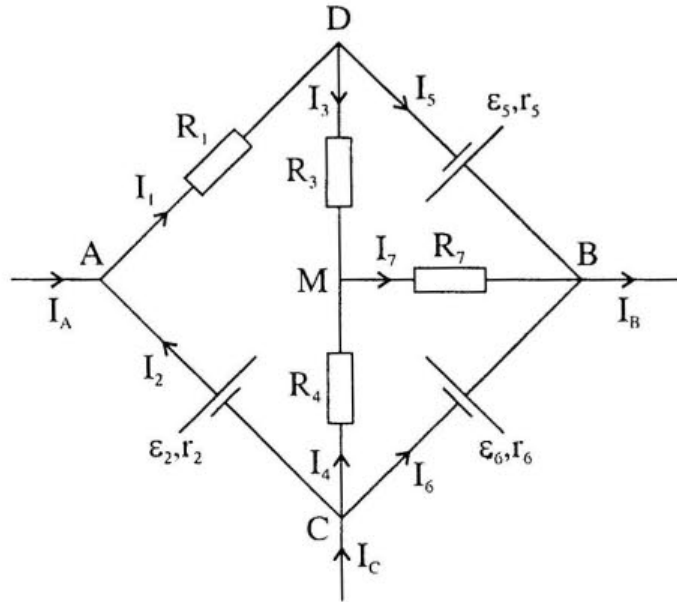
Ví dụ trên hình 14.12 có 7 nhánh AD, AC, DM, MC, DB, CB, MB.

14.5.1.2. Nút

Là nơi hội tụ ít nhất 3 nhánh. Tại nút sẽ có dòng điện đi vào và đi ra. Ví dụ trên hình 14.12 có 5 nút A, D, B, C, M.



Hình 14.11



Hình 14.12

Chú ý trong các nút nếu nút nào đó nối với bên ngoài gọi là đầu vào, đầu ra. Ví dụ trong 5 nút trên thì nút A, C là đầu vào, nút B là đầu ra. Một mạch điện không có đầu vào và đầu ra gọi là mạch kín.

14.5.1.3. Đường đi

Nếu nối 2 điểm bất kỳ ta có thể được một nhánh hoặc một dãy nhánh nối tiếp nhau ta được đường đi của mạch điện.

Giữa hai điểm cho trước, có thể có nhiều đường đi. Ví dụ hình 14.12 giữa 2 điểm A, D có thể có các đường đi: AD, ACMD, ACBD, ACBMD.

14.5.1.4. Vòng kín (mắt điện)

Là đường đi có điểm đầu và điểm cuối trùng nhau.

Ví dụ trên hình 14.12 có các mắt điện: (ADCA), (ADBCA), (ADBMCA), (MBDM), (MBCM), (DBCD), (ACBMDA).

14.5.2. Các định luật Kirchhoff

14.5.2.1. Định luật Kirchhoff I (định luật về nút)

Định luật phát biểu: *Tại mỗi nút điện, tổng cường độ dòng điện đi vào nút bằng tổng cường độ đi ra nút.*

Ví dụ nút A: $I_2 + I_A = I_1$

Nút B: $I_5 + I_7 + I_6 = I_B$

Định luật về nút thực chất là định luật bảo toàn điện tích.

Chúng ta có thể biểu diễn định luật Kirchhoff I dưới dạng:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

Với quy ước dòng điện đi vào nút mang dấu +, dòng điện đi ra nút mang dấu -.

14.5.2.2. Định luật Kirchhoff IIA (định luật về đường đi)

Hiệu điện thế giữa hai điểm cho trước của mạch điện bằng tổng đại số của hiệu điện thế giữa hai đầu của các nhánh liên tiếp trên đường đi nối hai điểm ấy.

Ví dụ trên đường đi ACMB của hình 14.12:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= U_{AC} + U_{CM} + U_{MB} \\ &= \varepsilon_2 - I_2 \cdot r_2 + I_4 \cdot R_4 + R_7 \cdot I_7 \end{aligned}$$

Chú ý: trên từng nhánh có nguồn, ta phải áp dụng định luật Ohm cho đoạn mạch có nguồn.

14.5.2.3. Định luật Kirchhoff IIB (định luật về một vòng kín)

Tổng đại số các hiệu điện thế giữa hai đầu của các nhánh liên tiếp trên một vòng kín của một mạch điện bằng 0.

Ví dụ trên hình 14.12 vòng ACBMDA ta có:

$$\varepsilon_2 - I_2 \cdot r_2 - \varepsilon_6 + I_6 \cdot r_6 - I_7 \cdot R_7 - I_3 \cdot R_3 - I_1 \cdot R_1 = 0$$

Chú ý: - Định luật Kirchhoff là định luật tổng quát của các định luật cơ bản của dòng không đổi.

- Khi sử dụng định luật Kirchhoff ta cần chú ý:

+ Đánh dấu dòng điện trong các nhánh tùy ý.

+ Áp dụng định luật I cho các nút. Khi chọn nút cần chọn sao cho các dòng điện trong các nhánh xuất hiện đủ trong các phương trình.

+ Áp dụng định luật Kirchhoff IIA và IIB cho một đường đi và vòng kín. Với chú ý nếu trong từng nhánh có nguồn thì áp dụng định luật Ohm cho đoạn mạch có nguồn.

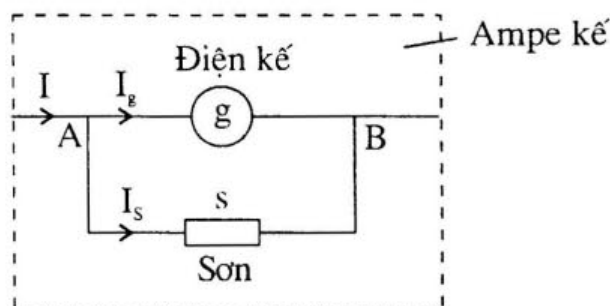
+ Giải các phương trình nếu cường độ dòng điện có giá trị dương thì quy ước trên là đúng, nếu có giá trị âm thì đánh dấu ngược lại.

14.5.2.4. Ứng dụng của các định luật Kirchhoff

Dùng các định luật Kirchhoff ta có thể giải được các bài toán về mạch điện phức tạp của dòng điện không đổi. Ta chỉ xét một ứng dụng cụ thể đó là mắc sơn trong Ampere kế.

Giả sử có một điện kế chỉ đo được dòng điện I_g . Ta muốn dùng điện kế đó để

đo cường độ dòng điện $I = n \cdot I_g$ (mở rộng giới hạn đo n lần). Ta mắc song song với điện kế một điện trở nhỏ gọi là mắc sơn. Điện kế đã mắc sơn gọi là Ampe kế (hình 14.13).



Hình 14.13

Gọi I là cường độ dòng điện cần đo. I_g là cường độ dòng điện đi qua điện kế g . I_s là cường độ dòng điện qua sơn. R_g là điện trở điện kế, R_s là điện trở của sơn.

Áp dụng định luật Kirchhoff I tại nút A ta có:

$$I = I_g + I_s \quad (14.13)$$

Áp dụng định luật Kirchhoff IIB cho một vòng kín AgBsA:

$$I_g \cdot R_g - I_s \cdot R_s = 0 \quad (14.14)$$

Từ (14.13) và (14.14) ta có:

$$I_s = I_g \cdot \frac{R_g}{R_s}$$

$$I = I_g \cdot \left(1 + \frac{R_g}{R_s}\right)$$

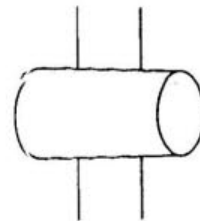
Đặt $\frac{R_g}{R_s} = n$, ta có: $I = I_g \cdot (n + 1)$

Vậy muốn điện kế đo được cường độ lớn hơn $(n + 1)$ lần mà nó chịu được, ta chỉ cần mắc sơn có điện trở nhỏ hơn điện kế n lần.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Định nghĩa dòng điện, dòng điện không đổi, các đại lượng đặc trưng cho dòng điện.
2. Định luật Ohm cho một đoạn mạch thuần điện trở.
3. Định luật Ohm cho một mạch kín, cho đoạn mạch có nguồn.
4. Định luật Kirchhoff, ứng dụng.

5. Giải thích tại sao điện trở của dây dẫn lại phụ thuộc vào bản chất, kích thước, nhiệt độ của vật dẫn và nêu những ứng dụng của nó trong đời sống.
6. Sự khác nhau giữa suất điện động và hiệu điện thế.
7. Định luật Kirchoff có áp dụng cho mạch điện có tụ điện không?
8. Quy tắc mạch vòng dựa trên sự bảo toàn năng lượng, quy tắc nút dựa vào nguyên lý bảo toàn điện tích. Hãy giải thích các quy tắc đó.
9. Làm thế nào để chứng minh được dòng điện là dòng chuyển dời có hướng, dòng chuyển dời của các hạt mang điện.
10. Các hạt mang điện trong khi chuyển động có gia tốc không?
11. Tại sao một bóng đèn điện có dây tóc trở nên phát sáng yếu dần trong quá trình sử dụng.
12. Cầu chì trong mạch điện thiết kế sao cho bị nóng chảy khi có dòng điện quá định mức. Theo bạn những điều kiện lý tưởng làm cầu chì là gì?
13. Cacbon có hệ số nhiệt điện trở suất âm. Điều đó có nghĩa là điện trở suất của nó giảm khi nhiệt độ tăng. Theo bạn điện trở suất của nó có biến mất hoàn toàn ở nhiệt độ đủ cao không?
14. Phương trình $P = R.I^2$ cho chúng ta thấy tốc độ tăng nhiệt năng trong một điện trở giảm khi nhiệt độ giảm. Nhưng theo phương trình $P = U^2/R$ cho ta điều ngược lại. Bạn có thể giải quyết nghịch lý đó như thế nào.
15. Tại sao các công ty cung cấp điện, giảm hiệu điện thế trong các giờ cao điểm sử dụng điện? Sẽ tiết kiệm được gì?
16. Hiệu điện thế U được kẹp chặt trên trục cacbon. Bạn tưởng tượng mật độ dòng j qua trục có dễ xác định không?



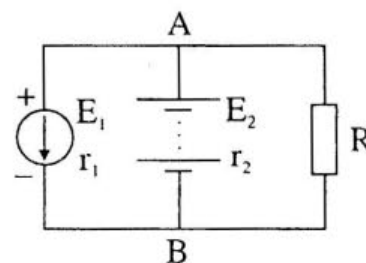
17. Theo bạn có thể xác định một cách chính xác điện trở của dây tóc bóng đèn không?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Một ống dây gồm n vòng dây như nhau, đường kính mỗi vòng là $D = 10\text{cm}$. Đường kính tiết diện là $d = 1\text{mm}$. Điện trở suất làm dây là $\rho = 0,016 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$. Điện trở toàn bộ ống dây đo được là $R = 8\Omega$. Tính số vòng dây n ?

$$\text{Đáp số: } n = \frac{R \cdot d^2}{4 \cdot \rho \cdot D} = 1250 \text{ vòng.}$$

2. Máy phát điện một chiều mắc song song với bộ ắc quy để cung cấp điện cho một mạch ngoài điện trở $R = 10\Omega$, điện trở trong của máy phát điện là $r_1 = 0,5\Omega$, của bộ ắc quy $r_2 = 0,1\Omega$. Yêu cầu là $V_A - V_B = 220\text{ V}$ không đổi.



Hãy xác định suất điện động của máy phát điện và bộ ắc quy trong 3 trường hợp sau:

- Ắc quy nạp điện với dòng $i_2 = 8\text{ A}$.
- Ắc quy phát điện với dòng $i_2 = 2\text{ A}$.
- Dòng điện qua ắc quy bằng 0.

Đáp số: a) $E_1 = 235\text{ V}$; $E_2 = 219,2\text{ V}$

b) $E_1 = 230\text{ V}$; $E_2 = 220,2\text{ V}$

c) $E_1 = 231\text{ V}$; $E_2 = 220\text{ V}$

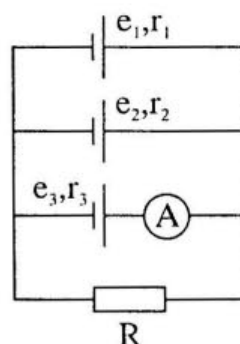
3. Một mạch điện như hình vẽ

$$e_1 = 1,9\text{ V} ; e_2 = 1,7\text{ V}$$

$$e_3 = 1,6\text{ V} ; r_1 = 0,3\Omega$$

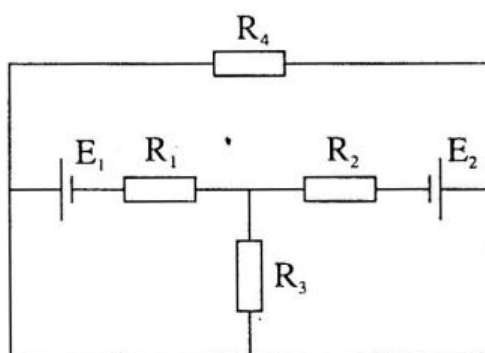
$$r_2 = r_3 = 0,1\Omega$$

Biết Ampere kế chỉ số 0. Hãy tính điện trở R và cường độ dòng điện mỗi đoạn mạch.



Đáp số: $R = 0,8\Omega$; $i_1 = 1\text{ A}$; $i_2 = 2\text{ A}$; $i_3 = 0$; $i_R = 2\text{ A}$

4. Một mạch điện như hình vẽ



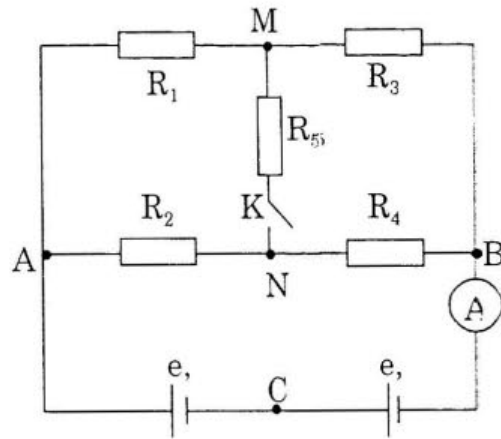
$$E_1 = 15\text{ V} ; E_2 = 18\text{ V}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\Omega$$

Tính cường độ dòng điện qua mỗi đoạn mạch.

Đáp số: $i_4 = 0$; $i_1 = 0,4\text{ A}$; $i_2 = 0,7\text{ A}$; $i_3 = 1,1\text{ A}$

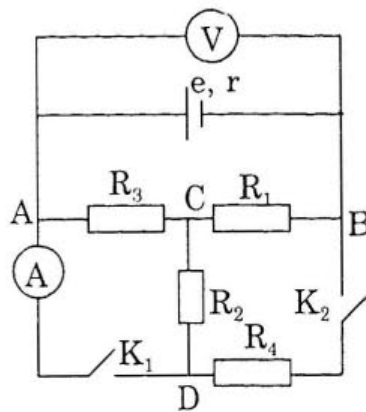
5. Cho mạch điện như hình vẽ. Nguồn điện có suất điện động $e = 3V$ và điện trở trong $r = 0,5\Omega$, $R_1 = 2\Omega$, $R_2 = 4\Omega$, $R_4 = 8\Omega$, $R_5 = 100\Omega$. Điện trở Ampe kế không đáng kể. Khi khoá K mở Ampe kế chỉ $I = 1,2A$.



- a) Tính U_{AB} và cường độ dòng qua mỗi điện trở.
- b) Tìm R_3 , hiệu điện thế giữa hai điểm M và N, hiệu điện thế giữa hai điểm M và C.
- c) Cường độ dòng qua các điện trở khi đóng khoá K.

Đáp số: a) 4,8V; 0,4A; 0,8A.
 b) 4Ω; 0V; 0,8V.
 c) $I_5 = 0$.

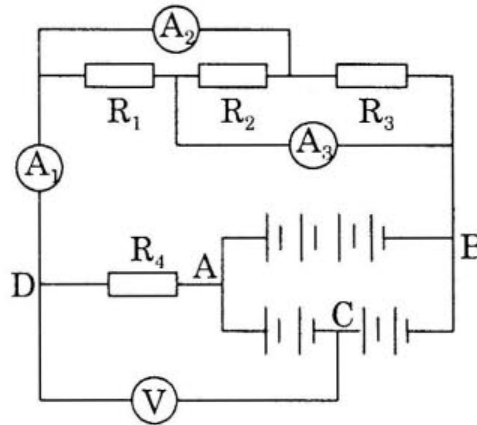
6. Cho mạch điện như hình vẽ. Với $e = 6,3V$, $r = 2\Omega$, $R_1 = R_2 = R_3 = 2\Omega$. Điện trở Ampe kế rất nhỏ ($R_A = 0$). Điện trở vôn kế rất lớn ($R_V = \infty$).



- a) Tìm số chỉ vôn kế khi K_1 và K_2 đều mở.
- b) K_1 mở, K_2 đóng vôn kế chỉ 4,05V. Tìm R_4 và U_{AD} .
- c) Số chỉ Ampe kế khi K_1 và K_2 đều đóng.

Đáp số: a) 4,2V b) 6Ω, 2,7V c) 1,05A

7. Cho mạch điện như hình vẽ, bộ nguồn có 8 pin, mỗi pin có $e = 2V$, $r_0 = 1\Omega$ mắc thành hai dãy song song mỗi dãy 4 pin. Điện trở $R_1 = 24\Omega$, $R_2 = 12\Omega$, $R_3 = 8\Omega$, $R_4 = 2\Omega$. Điện trở Ampere kế nhỏ ($R_A = 0$), điện trở vôn kế lớn ($R_V = \infty$).

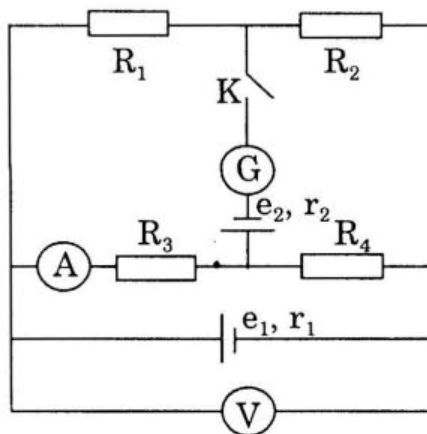


- a) Số chỉ Ampere kế.
b) Số chỉ vôn kế, xác định cực của vôn kế.

Đáp số: a) 1A; 5/6 A; 0,5A

b) 1V, cực dương D.

8. Cho mạch điện với điện kế G nhạy ($R_g = 0$) và điện trở Ampere kế nhỏ ($R_A = 0$), điện trở vôn kế rất lớn. Biết $R_1 = 2R_2$, $R_4 = 2R_3$, $e_1 = 12V$, $r_1 = r_2 = 2\Omega$.



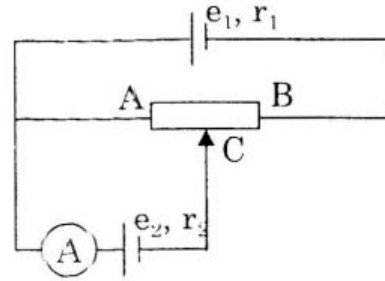
- a) Khi K mở, vôn kế chỉ 10V, Ampere kế chỉ 1/3 A. Tính R_1 , R_2 , R_3 , R_4 .
b) Khi K đóng điện kế chỉ 0, tính e_2 .
c) Thay khoá K bằng tụ điện $C = 3\mu F$ và đổi cực của nguồn e_2 . Tính điện tích tích điện trên tụ và xác định cực của bản tụ.

Đáp số: a) 10Ω , 5Ω , 10Ω , 20Ω .

b) 3,33V

c) $2 \cdot 10^{-5}C$.

9. Để xác định suất điện động người ta dùng mạch xung đối, có nguồn điện chuẩn $e_1 = 8V$, $r_1 = 1\Omega$. Điện trở Ampere kế rất nhỏ. Biết $R_{AB} = 15\Omega$. Khi $R_1 = R_{AC}$ và $R_2 = R_{CB}$. Di chuyển C trên AB. Khi $R_1 = 8\Omega$, Ampere kế chỉ $1/3 A$. Tính e_2 và r_2 .



Đáp số: 6V, 2Ω.

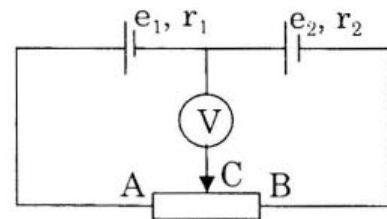
10. Cho mạch điện với $e_1 = 6V$, $r_1 = 1\Omega$, $e_2 = 4V$, $r_2 = 2\Omega$. $R_{AB} = 7\Omega$, điện trở vôn kế rất lớn.

a) Số chỉ vôn kế nếu điểm C di chuyển tới điểm A; điểm C di chuyển tới vị trí $R_{AC} = 1\Omega$.

b) Tính R_{AC} để vôn kế chỉ 0 và chỉ 1V.

Đáp số: a) 5V, 4V

b) 5Ω, 6Ω, 4Ω.



Chương 15

TỪ TRƯỜNG DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

MỤC TIÊU

1. Trình bày được:

- Tương tác từ của dòng điện. Định luật Ampere.
- Các đại lượng đặc trưng cho từ trường dòng điện: vectơ cảm ứng từ, vectơ cường độ từ trường.
- Tác dụng của từ trường lên dòng điện.
- Từ thông. Định lý Gauss với từ trường.

2. Giải thích được các hiện tượng có liên quan đến tương tác từ của dòng điện xảy ra trong đời sống, khoa học, kỹ thuật, và một số ứng dụng.

15.1. THÍ NGHIỆM VỀ TƯƠNG TÁC TỪ CỦA DÒNG ĐIỆN

Ta đã biết xung quanh một nam châm xuất hiện một từ trường. Nhờ từ trường mà các nam châm tương tác được với nhau (các cực cùng dấu đẩy nhau, khác dấu hút nhau). Tương tác của nam châm với nhau gọi là tương tác từ.

Các thí nghiệm sau đây cũng chứng tỏ dòng điện cũng có từ tính như nam châm, nghĩa là xung quanh dòng điện cũng xuất hiện một từ trường.

15.1.1. Thí nghiệm 1

Đặt một kim nam châm tự do thì kim nam châm luôn luôn chỉ theo hướng bắc nam (học sinh tự giải thích). Căng một sợi dây dẫn sao cho phương của sợi dây song song với trục của nam châm (hình 15.1a).

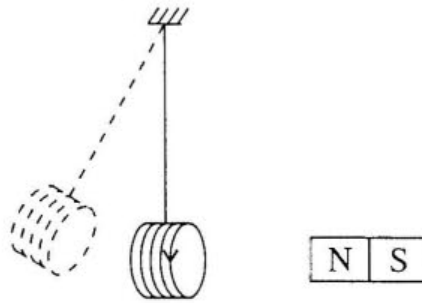
Nếu cho dòng điện không đổi đi qua sợi dây thì kim nam châm bị quay đi 1 góc (hình 15.1b).



Hình 15.1

15.1.2. Thí nghiệm 2

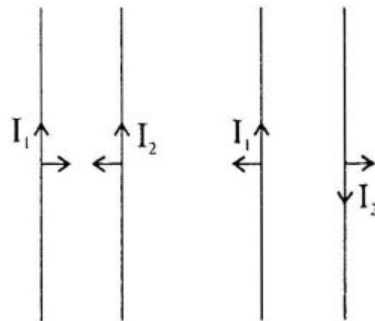
Đưa nam châm thẳng lại gần một ống dây dẫn có dòng điện chạy thì thấy nam châm có thể hút hoặc đẩy ống dây đó (hình 15.2).



Hình 15.2

15.1.3. Thí nghiệm 3

Có hai dây dẫn đặt song song với nhau. Nếu cho dòng điện chạy qua hai dây dẫn đó cùng chiều thì thấy hai dây dẫn đó hút nhau, nếu dòng điện chạy ngược chiều thì hai dây dẫn đó đẩy nhau (hình 15.3).



Hình 15.3

15.1.4. Kết luận

Qua nhiều thí nghiệm chứng tỏ nam châm tác dụng lên nam châm cũng giống như dòng điện tác dụng lên nam châm, hay nam châm tác dụng lên dòng điện hoặc dòng điện tác dụng lên dòng điện.

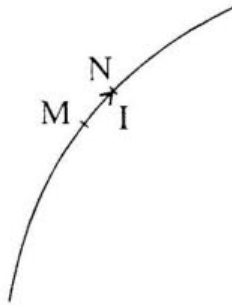
Vậy xung quanh nam châm và xung quanh dây dẫn có dòng điện chạy qua đều xuất hiện một từ trường. Tương tác giữa nam châm với nam châm, dòng điện với dòng điện, hay giữa nam châm với dòng điện đều có cùng bản chất được gọi là tương tác từ.

15.2. ĐỊNH LUẬT AMPERE VỀ TƯƠNG TÁC TỪ CỦA DÒNG ĐIỆN

15.2.1. Phần tử dòng điện

Trên một dây dẫn có dòng điện I chạy qua, nếu ta lấy một đoạn nhỏ MN , MN coi là thẳng. Thì phần tử dòng điện MN được định nghĩa là: $I \cdot d\vec{l}$ trong đó

\vec{dl} là vectơ có độ dài MN, có chiều là chiều dòng điện I chạy trong dây dẫn (hình 15.4).

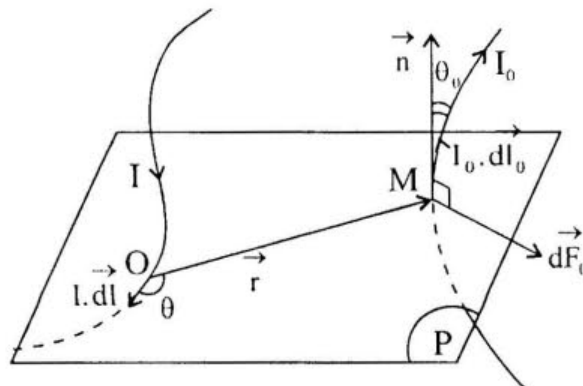


Hình 15.4

15.2.2. Định luật Ampere

15.2.2.1. Trong chân không

Giả sử trong chân không có hai dòng điện I, I_0 . Trên dây dẫn có cường độ I, tại O ta lấy phần tử dòng điện $I \cdot \vec{dl}$, trên dây dẫn có cường độ I_0 ta lấy phần tử dòng điện $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ tại điểm M. Kẻ vectơ $\vec{r} = \vec{OM}$.



Hình 15.5

Dựng mặt phẳng P chứa $I \cdot \vec{dl}$ và \vec{r} . Tại M kẻ pháp tuyến \vec{n} với mặt phẳng P sao cho thứ tự 3 vectơ $I \cdot \vec{dl}$, \vec{r} , \vec{n} lập thành một tam diện thuận.

Gọi θ là góc giữa $I \cdot \vec{dl}$ và \vec{r} ; θ_0 là góc giữa $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ và \vec{n} (hình 15.5).

Qua thực nghiệm chúng tỏ lực tác dụng của phần tử $I \cdot \vec{dl}$ lên phần tử $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ là một từ lực $d\vec{F}_0$:

– Có phương vuông góc với phần tử $I_0 \cdot \vec{dl}_0$ và vuông góc với \vec{n} .

- Có chiều sao cho thứ tự ba vectơ $I_0 \cdot d\vec{l}_0$, \vec{n} và $d\vec{F}_0$ lập thành tam diện thuận.
- Có độ lớn:

$$dF_0 = K \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta \cdot I_0 \cdot dl_0 \cdot \sin \theta_0}{r^2}$$

K là hệ số tỷ lệ trong hệ SI: $K = \frac{\mu_0}{4\pi}$.

μ_0 được gọi là hằng số từ có giá trị:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m (Henry/mét).}$$

Ta có thể biểu diễn bằng biểu thức toán học tổng quát như sau:

$$\vec{dF}_0 = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\left(I_0 \cdot d\vec{l}_0 \right) \wedge \left(I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{r} \right)}{r^3} \quad (15.1)$$

15.2.2.2. Trong các môi trường

Thực nghiệm cũng chứng tỏ, hai phần tử dòng điện nếu đặt trong môi trường, cùng khoảng cách so với khi chúng đặt trong chân không thì lực tác dụng sẽ thay đổi μ lần.

$$\vec{dF} = \mu \cdot \vec{dF}_0$$

μ được gọi là độ từ thẩm của môi trường.

Nếu $\mu > 1$ thì môi trường đó gọi là chất thuận từ.

$\mu < 1$ thì được gọi là môi trường nghịch từ.

Và định luật Ampere được viết tổng quát cho các môi trường sẽ là:

$$\vec{dF} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\left(I_0 \cdot d\vec{l}_0 \right) \wedge \left(I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{r} \right)}{r^3} \quad (15.2)$$

Nhận xét: định luật Ampere là định luật cơ bản của tương tác từ. Thật vậy dòng điện chính là tập hợp của các phần tử dòng điện do đó nếu biết tương tác giữa hai phần tử dòng điện ta có thể tính được tương tác giữa các dòng điện, cũng giống như định luật Coulomb là định luật cơ bản của tương tác điện tích.

15.3. VECTƠ CẢM ỨNG TỪ, VECTƠ CƯỜNG ĐỘ TỪ TRƯỜNG

15.3.1. Vectơ cảm ứng từ \vec{B}

Từ định luật Ampere nếu ta xét vectơ:

$$\vec{dB} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{(I \cdot d\vec{l}) \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (15.3)$$

Thì vectơ \vec{dB} chỉ phụ thuộc vào $I \cdot d\vec{l}$ là phần tử dòng điện gây ra từ trường và vị trí các điểm xét không phụ thuộc vào $I_0 \cdot d\vec{l}_0$. \vec{dB} được gọi là vectơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $I \cdot d\vec{l}$ gây ra tại điểm M.

Biểu thức (15.3) được gọi là định luật Biot – Savart – Laplace. Định lý được phát biểu như sau: *Vectơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện gây ra tại một điểm trong từ trường có:*

– *Phương vuông góc với mặt phẳng chứa phần tử dòng điện và điểm xét (mặt phẳng chứa $I \cdot d\vec{l}$, \vec{r}).*

– *Chiều sao cho thứ tự ba vectơ $I \cdot d\vec{l}$, \vec{r} , \vec{dB} lập thành tam diện thuận (chiều của \vec{n}).*

– *Có độ lớn:*

$$dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta}{r^2}$$

* Chú ý:

– Với khái niệm \vec{dB} thì định luật Ampere có thể biểu diễn:

$$d\vec{F} = (I_0 \cdot d\vec{l}_0) \wedge \vec{dB} \quad (15.4)$$

Rõ ràng so sánh với biểu thức lực tĩnh điện:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

Thì thấy \vec{dB} tương đương với vectơ \vec{E} .

– Chiều của vectơ \vec{dB} còn có thể tìm theo quy tắc vặn nút chai sau đây:

Đặt cái vặn nút chai theo phương của dòng điện. Nếu quay cán vặn nút chai sao cho mũi tiến theo chiều dòng điện, thì chiều quay của cán qua điểm xét là chiều của vectơ \vec{dB} .

– Trong hệ SI đơn vị cảm ứng từ là Tesla (T).

15.3.2. Nguyên lý chống chất từ trường

Dựa vào định luật Ampere ta có thể tính được vectơ cảm ứng từ của cả dòng điện hoặc n dòng điện gây ra tại một điểm trong từ trường.

Thật vậy:

– Đối với một dòng điện:

$$\vec{B} = \int_{\text{cả dòng điện}} d\vec{B} \quad (15.5)$$

– Đối với n dòng điện:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \quad (15.6)$$

Trong đó \vec{B}_i là vectơ cảm ứng từ do dòng điện thứ i gây ra.

Biểu thức (15.5) và (15.6) gọi là nguyên lý chồng chất của từ trường.

15.3.3. Vectơ cường độ từ trường \vec{H}

Cũng giống như điện trường, ngoài vectơ \vec{E} người ta còn dùng vectơ \vec{D} để đặc trưng cho điện trường. Trong từ trường ngoài vectơ \vec{B} ta còn dùng một đại lượng vectơ cường độ từ trường \vec{H} được định nghĩa:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \cdot \mu} \quad (15.7)$$

Rõ ràng \vec{H} và \vec{B} cùng phương chiều chỉ khác nhau về độ lớn, và \vec{H} không phụ thuộc vào μ .

Trong hệ SI đơn vị của \vec{H} là Ampere/met (A/m).

15.3.4. Vectơ cảm ứng từ \vec{B} và cường độ từ trường \vec{H} trong một vài trường hợp đặc biệt

Dựa vào định luật Ampere và nguyên lý chồng chất của từ trường ta có thể tính được vectơ cảm ứng từ \vec{B} cho các dòng điện. Ta chỉ xét một số trường hợp đặc biệt sau:

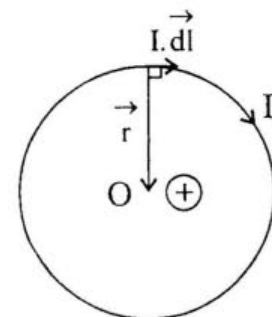
15.3.4.1. Dòng điện tròn

Giả sử có một dây dẫn hình tròn bán kính R, có dòng điện I chạy qua. Ta hãy tính cảm ứng từ do dòng điện gây ra tại tâm O.

Xét phần tử $I \cdot d\vec{l}$ bất kỳ, ta thấy:

$$\alpha = \widehat{I \cdot d\vec{l} \quad \vec{r}} = 90^\circ$$

Về độ lớn:



Hình 15.6

$$dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \alpha}{r^2} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot dl}{R^2}$$

Còn phương chiều, áp dụng quy tắc vụn nút chai (trong trường hợp này có phương vuông góc với mặt phẳng chứa dây dẫn, chiều đi vào) (hình 15.6).

Các phần tử $I \cdot dl$ bất kỳ trên dây dẫn đều gây ra ở O những vectơ cảm ứng từ dB cùng phương, cùng chiều và có độ lớn đều bằng:

$$dB = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{R^2}$$

Do đó:

$$\begin{aligned} B &= \int_{\text{cả dòng điện}} dB = \int_{\text{cả dòng điện}} \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl}{R^2} \\ B &= \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \cdot \int_{\text{cả dòng điện}} dl = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \cdot 2\pi \cdot R \\ B &= \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2R} \end{aligned}$$

Chú ý:

– Để đặc trưng cho tính chất từ của dòng điện tròn người ta đưa ra một đại lượng vật lý gọi là momen từ của dòng điện tròn được định nghĩa như sau:

$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S}$$

Trong đó: I là cường độ dòng điện.

\vec{S} là một vectơ có độ lớn bằng diện tích của hình tròn chứa vòng dây có dòng điện chạy, chiều của \vec{S} là chiều của \vec{B} tại đó.

Nếu dùng khái niệm:

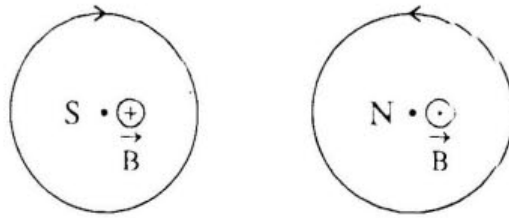
$$\vec{P}_m = I \cdot \vec{S}$$

Thì cảm ứng từ \vec{B} do dòng điện tròn gây ra tại tâm O có thể viết:

$$\vec{B}_0 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot \vec{S}}{2\pi \cdot R^3} = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{P}_m}{2\pi \cdot R^3} \quad (15.8)$$

– Để tìm chiều của vectơ cảm ứng từ gây ra đối với dòng điện tròn người ta còn dùng quy tắc kim đồng hồ như sau:

Nhìn vào vòng dây, nếu dòng điện chạy ngược chiều kim đồng hồ thì đó là cực bắc (đường sức cảm ứng từ đi ra cực bắc) nếu dòng điện chạy cùng chiều kim đồng hồ đó là cực nam.



Hình 15.7

Biết \vec{B}_0 ta có thể tính \vec{H}_0 :

$$\vec{H}_0 = \frac{B_0}{\mu \cdot \mu_0} = \frac{I \cdot S}{2\pi \cdot R^3} = \frac{\vec{P}_m}{2\pi \cdot R^3}$$

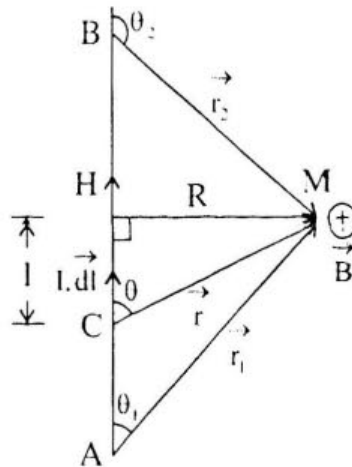
Về độ lớn:

$$H_0 = \frac{I}{2R} \quad (15.9)$$

Rõ ràng theo (15.9) trong hệ SI đơn vị của H sẽ là (A/m).

15.3.4.2. Dòng điện thẳng

Giả sử có dây điện thẳng dài AB, có cường độ I đi qua. Hãy tính cảm ứng từ \vec{B} và \vec{H} do dòng điện gây ra tại một điểm M cách dây dẫn một khoảng R (hình 15.8).



Hình 15.8

Muốn vậy trên dây dẫn tại một điểm C bất kỳ ta lấy một phần tử dòng điện $\vec{I} \cdot d\vec{l}$ thì $\vec{I} \cdot d\vec{l}$ sẽ gây ra tại M một vectơ cảm ứng từ có phương chiều xác định bằng quy tắc vụn nút chai (trong hình vẽ có phương vuông góc với mặt phẳng chứa $\vec{I} \cdot d\vec{l}$ và điểm xét, chiều đi vào).

Có độ lớn:

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot \mu}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot dl \cdot \sin \theta}{r^2}$$

Gọi $CH = l$ ta có:

$$\frac{l}{R} = \cot \theta$$

$$d(\cot \theta) = -\frac{d\theta}{\sin^2 \theta}$$

$$\Rightarrow dl = -\frac{R \cdot d\theta}{\sin^2 \theta}$$

Vì $dl > 0 \rightarrow$

$$dl = \frac{R \cdot d\theta}{\sin^2 \theta}$$

Mặt khác ta có:

$$r = \frac{R}{\sin \theta}$$

Do đó:

$$dB = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot \sin \theta \cdot d\theta$$

Ta thấy các phần tử dòng điện trên dây dẫn đều gây ra tại M các vectơ cảm ứng từ dB có cùng phương, cùng chiều. Do đó về độ lớn:

$$B = \int_{\text{cả dòng điện}} dB = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot \sin \theta \cdot d\theta$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot (-\cos \theta) \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (15.10)$$

Nếu dây dẫn dài vô hạn thì: $\theta_1 = 0$, $\theta_2 = \pi$ và (15.10) trở thành:

$$B = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot R} \cdot [1 - (-1)] = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot R}$$

Tương tự, vectơ cường độ từ trường \vec{H} do dòng điện gây ra tại M có phương, chiều cùng chiều với B.

Còn độ lớn:

$$H = \frac{I}{4\pi \cdot R} \cdot (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (15.11)$$

Và trường hợp dây dẫn dài vô hạn:

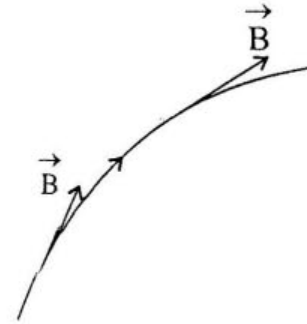
$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R} \quad (15.12)$$

15.4. TỪ THÔNG. ĐỊNH LÝ GAUSS ĐỐI VỚI TỪ TRƯỜNG

15.4.1. Đường sức cảm ứng từ

Cũng giống như điện trường, để biểu diễn từ trường, người ta dùng các đường sức gọi là đường sức cảm ứng từ.

Đường sức cảm ứng từ là những đường mà tại mọi điểm trên đường vectơ cảm ứng từ tại đó có phương tiếp tuyến với đường, chiều của \vec{B} là chiều của đường cảm ứng tại đó.

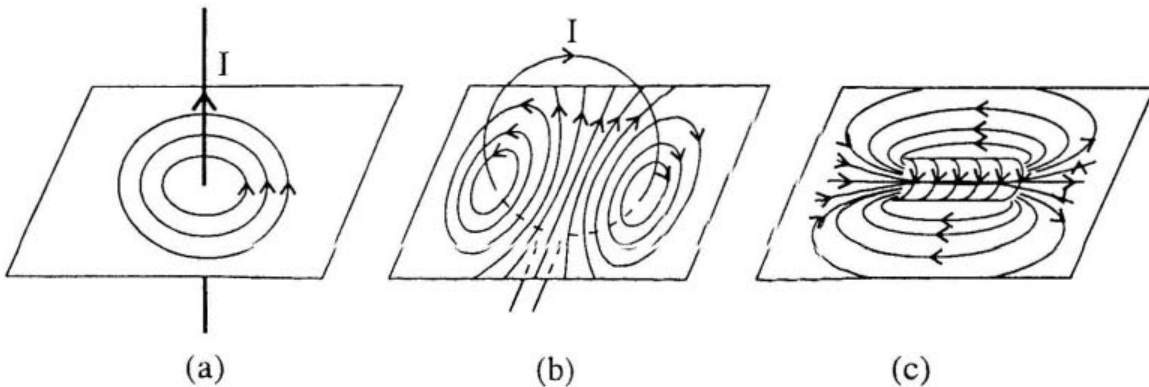


Hình 15.9

Người ta cũng quy ước chỉ vẽ qua một đơn vị diện tích vuông góc số đường sức bằng giá trị cảm ứng từ B tại đó:

$$B = \frac{d\Phi_m}{dS_n} \quad (15.13)$$

Tập hợp các đường sức của từ trường gọi là từ phổ. Ví dụ từ phổ của một số từ trường:



Hình 15.10

- a) Từ phổ của dòng điện thẳng;
- b) Từ phổ của dòng điện tròn;
- c) Từ phổ của dòng điện chạy trong ống dây.

Rõ ràng dùng từ phổ ta có thể biết một cách khái quát nhưng cũng tương đối đầy đủ sự biến đổi của từ trường từ điểm này qua điểm khác.

15.4.2. Từ thông

15.4.2.1. Định nghĩa

Từ thông qua một diện tích nào đó là số đường sức từ qua diện tích đó.

15.4.2.2. Biểu thức của từ thông

Cũng như điện thông ta có thể tính được biểu thức tổng quát của từ thông qua mặt S bất kỳ:

$$\Phi_m = \int_S d\Phi_m = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (15.14)$$

Trong đó $d\vec{S}$ là một vectơ có phương chiều là phương chiều pháp tuyến \vec{n} của mặt S, có giá trị bằng độ lớn của dS .

Trong hệ SI đơn vị của từ thông là Vêbe (Wb).

15.4.3. Tính chất xoáy các từ trường

Nghiên cứu từ phổ của từ trường, ta thấy đường sức cảm ứng từ khác với đường sức cảm ứng điện, đó là các đường sức cảm ứng từ là các đường cong khép kín. Theo định nghĩa tổng quát, một trường có đường sức khép kín được gọi là một trường xoáy.

Vậy, từ trường là một trường xoáy hay còn nói từ trường có tính chất xoáy.

15.4.4. Định lý Gauss đối với từ trường

15.4.4.1. Phát biểu

Từ thông toàn phần qua một mặt kín bất kỳ bằng không.

$$\Phi_m = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (15.15)$$

(Vòng tròn trên dấu tích phân có nghĩa là phải tích phân theo toàn bộ mặt kín S).

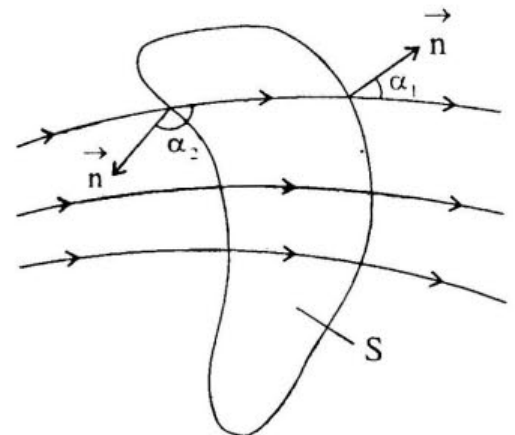
15.4.4.2. Chứng minh

Giả sử có một mặt kín S nằm trong từ trường, vì đường sức từ trường là đường cong khép kín nên có bao nhiêu đường sức đi vào mặt kín thì cũng có bấy nhiêu đường sức đi ra mặt kín.

Đối với mặt kín ta quy ước pháp tuyến \vec{n} có chiều dương hướng ra ngoài mặt, do đó nơi đường cảm ứng đi vào mặt, từ thông có giá trị âm vì $\alpha_1 > \frac{\pi}{2}$, nơi đi ra từ thông dương vì $\alpha_2 < \frac{\pi}{2}$ (hình 15.11).

Do đó:

$$\Phi_m = \Phi_{m1} + \Phi_{m2} = 0$$



Hình 15.11

15.5. TÁC DỤNG CỦA TỪ TRƯỜNG LÊN DÒNG ĐIỆN

15.5.1. Tác dụng của từ trường lên một phần tử dòng điện, lực Ampere

Từ định luật Ampere:

$$\vec{dF}_0 = (I_0 \cdot \vec{dl}_0) \wedge \vec{dB}$$

Trong đó \vec{dF}_0 là lực tác dụng của phần tử dòng điện $I \cdot \vec{dl}$, có cảm ứng từ là \vec{dB} gây ra tác dụng lên phần tử $I_0 \cdot \vec{dl}_0$. Tổng quát, nếu một từ trường có cảm ứng từ \vec{B} , thì nó sẽ tác dụng lên một phần tử dòng điện $I \cdot \vec{dl}$ bất kỳ một lực bằng:

$$\vec{dF} = (I \cdot \vec{dl}) \wedge \vec{B} \quad (15.16)$$

Biểu thức (15.16) xác định dF được gọi là lực Ampere, đó là lực của từ trường tác dụng lên một phần tử dòng điện, lực đó có:

- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa $I \cdot \vec{dl}$ và \vec{B} .
- Có chiều sao cho ba vectơ $\vec{I \cdot dl}$, \vec{B} , \vec{dF} lập thành một tam diện thuận.
- Có độ lớn:

$$dF = I \cdot dl \cdot B \cdot \sin(\angle I \cdot dl, B)$$

Chú ý: để tìm chiều lực Ampere ta có thể dùng quy tắc bàn tay trái như sau:

Đưa bàn tay trái sao cho đường sức xuyên qua lòng bàn tay, chiều dòng điện đi từ cổ tay đến ngón tay, thì chiều ngón tay cái choãi ra chỉ chiều của lực Ampere.

- Độ lớn của lực Ampere ngoài phụ thuộc vào $I \cdot dl$, B còn phụ thuộc vào góc

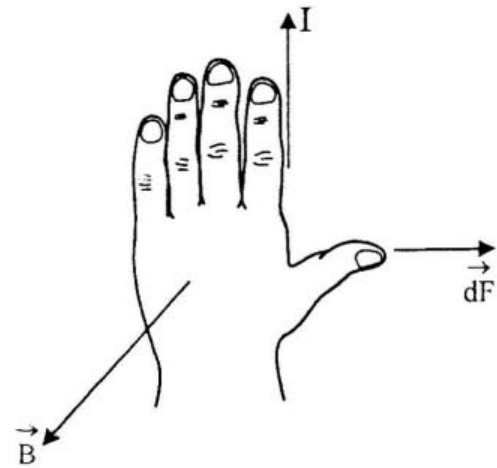
$\alpha = \angle I \cdot dl, B$. Nếu:

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow dF \text{ là lớn nhất.}$$

$$\alpha = 0 \rightarrow dF = 0$$

Nghĩa là các dây dẫn đặt song song với các đường sức từ thì khi có dòng điện chạy qua không chịu lực tác dụng của từ trường.

- Với khái niệm lực Ampere. Học sinh có thể tự giải thích tại sao hai dây dẫn



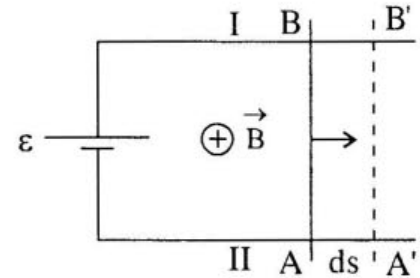
Hình 15.12

đặt song song khi có dòng điện cùng chiều thì chúng hút nhau, khi có dòng điện ngược chiều chúng đẩy nhau.

15.5.2. Công của lực điện từ

Khi có dòng điện chuyển động trong từ trường thì dưới tác dụng của từ lực lên dòng điện từ trường sẽ sinh công.

Để tính công của từ lực, ta xét một mạch điện gồm nguồn điện ε , hai thanh dẫn I, II cố định, thanh AB có chiều dài l có thể trượt trên thanh I, II. Tất cả mạch điện được đặt trong từ trường đều có cảm ứng từ \vec{B} (hình 15.13).



Hình 15.13

Lực Ampere tác dụng lên thanh có độ lớn:

$$F = I.B.l$$

Còn phương, chiều áp dụng quy tắc bàn tay trái. Dưới tác dụng của lực Ampere, thanh dịch chuyển một đoạn: $ds = AA'$.

Do đó, công của lực Ampere sinh ra:

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s} = I.B.l.ds = I.B.dS_n$$

$$dA = I.d\Phi_m.$$

Nếu thanh AB dịch chuyển từ (1) đến (2) bất kỳ:

$$A_{12} = \int_1^2 dA = \int_1^2 I.d\Phi_m = I(\Phi_{m_2} - \Phi_{m_1})$$

$$A_{12} = I.\Delta\Phi_m \quad (15.17)$$

Người ta chứng minh được công thức (15.17) trên đúng cho một mạch điện bất kỳ, dịch chuyển trong một từ trường bất kỳ. Vậy:

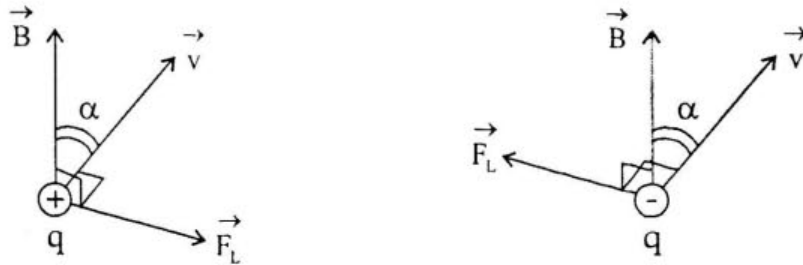
Công của từ lực trong sự dịch chuyển một mạch điện bất kỳ trong từ trường bằng tích số giữa cường độ dòng điện trong mạch và độ biến thiên từ thông qua diện tích mặt đó.

15.5.3. Tác dụng của từ trường lên một hạt điện tích chuyển động. Lực Laurent

Giả sử có một điện tích q chuyển động với vận tốc \vec{v} trong từ trường đều cảm ứng từ B (hình 15.14).

Sau một thời gian dt hạt điện tích chuyển động tương đương với sự xuất hiện một phần tử dòng điện:

$$I.dl = q.v$$



Hình 15.14

Ta biết lực Ampere tác dụng lên phần tử dòng điện:

$$d\vec{F} = (I \cdot d\vec{l}) \wedge \vec{B}$$

Vậy trong trường hợp này lực tác dụng lên hạt điện tích q sẽ là:

$$d\vec{F}_L = (q \cdot \vec{v}) \wedge \vec{B} \quad (15.18)$$

$d\vec{F}_L$ được gọi là lực Laurent.

Rõ ràng lực Laurent có:

- Phương vuông góc với mặt phẳng chứa \vec{B} và \vec{v} .
- Có chiều sao cho thứ tự ba vectơ \vec{v} , \vec{B} , $d\vec{F}_L$ lập thành tam diện thuận.
- Có độ lớn

$$dF_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\vec{v} \cdot \vec{B})$$

Chú ý: biểu thức (15.18) đúng cho cả điện tích $q > 0$ và $q < 0$.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Nêu các thí nghiệm về tương tác từ. Khái niệm về từ trường.
2. Định luật Ampere về tương tác từ.
3. Vectơ cảm ứng từ \vec{B} , vectơ cường độ từ trường \vec{H} . Tính \vec{B} và \vec{H} đối với dòng điện tròn, thẳng.
4. Từ thông. Định lý Gauss đối với từ trường.
5. Tác dụng của từ trường lên dòng điện: lực Ampere, lực Laurent.
6. So sánh điện trường và từ trường về các phương diện sau:
 - Khái niệm.
 - Định luật cơ bản về tương tác điện, tương tác từ.

- Các đại lượng đặc trưng.
- Đường sức.

Từ những so sánh trên rút ra kết luận.

- Trong ba vectơ của phương trình $\vec{F}_B = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$ cặp vectơ nào luôn vuông góc với nhau, cặp nào có thể lập với nhau một góc tùy ý.
- Một electron không bị lệch đường đi trong một miền không gian nào đó, ta có thể khẳng định không gian đó không có từ trường được không.
- Một dây dẫn kín, làm thế nào để biết có dòng điện chạy qua hay không (không được phép cắt dây dẫn ra).
- Máy bay theo hướng bắc – nam và bay theo hướng đông – tây, hướng nào dễ tích điện.

BÀI TẬP TỰ GIẢI

- Một điện tử chuyển động trong từ trường đều có cảm ứng từ \vec{B} vuông góc với phương vận tốc của điện tử $B = 2 \cdot 10^{-4} T$. Vận tốc điện tử $v = 10^8 m/s$. Xác định bán kính quỹ đạo điện tử.

Biết: $|q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.

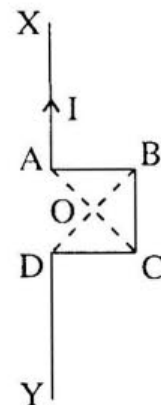
$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} kg$.

Đáp số: $R = \frac{m \cdot v}{q_e \cdot B} = 2,8 m$

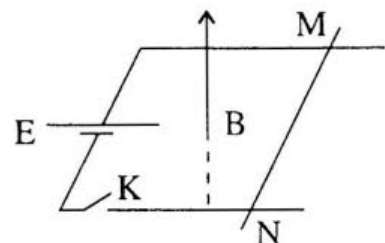
- Dây dẫn X.AB.CDY cùng nằm trên mặt phẳng và được uốn dưới dạng như (hình 15.15). X và Y ở rất xa. $AB = BC = CD = DA = a$. Cường độ dòng điện chạy qua dây dẫn là I. Tính cảm ứng từ tại tâm O của hình vuông ABCD.

Đáp số: $B_o = \frac{\mu_o \cdot \mu \cdot I \cdot (2\sqrt{2} - 1)}{\pi \cdot a}$

- Một thanh MN có chiều dài $l = 15 cm$, khối lượng $m = 51g$, điện trở $R = 6\Omega$. Đặt vuông góc với từ trường đều cảm ứng từ $|\vec{B}| = 0,1 T$. Thanh MN có thể dễ dàng trượt trên hai thanh kim loại song song điện trở không đáng kể nối với nguồn điện có suất điện động $e = 12V$, điện trở trong $r = 2\Omega$ (hình 15.16).



Hình 15.15



Hình 15.16

- a) Khi K đóng, xác định lực Ampere tác dụng lên thanh MN.
 b) Tính gia tốc ban đầu của thanh MN (bỏ qua mọi ma sát).

Đáp số: $F_{MN} = 2,25 \cdot 10^{-2} \text{N}$.
 $a = 0,45 \text{m/s}^2$.

4. Một dây dẫn đồng căng ngang, có dòng điện 28A chạy qua. Xác định phương và cường độ từ trường B để sợi dây có thể “nổi” được (nghĩa là lực từ cân bằng trọng lực). Khối lượng của một đơn vị chiều dài của sợi dây là 46,6g/m.

Đáp số: $1,6 \cdot 10^{-2} \text{T}$.

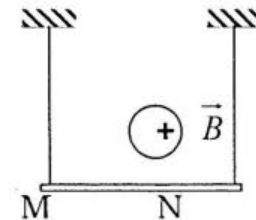
5. Một electron trong đèn hình tivi nhà bạn chuyển động với vận tốc $7,2 \cdot 10^6 \text{m/s}$ trong từ trường cường độ 83,0mT.

- a) Không cần biết chiều từ trường bạn hãy xác định lực mạnh nhất, yếu nhất mà từ trường tác dụng lên electron.
 b) Gia tốc của electron tại một điểm là $4,90 \cdot 10^{14} \text{m/s}^2$. Xác định góc giữa vectơ vận tốc của electron và từ trường.

Đáp số: a) $9,56 \cdot 10^{-14} \text{N}$;
 b) $0,267^\circ$.

6. Một dây dẫn thẳng MN chiều dài l , khối lượng của một đơn vị chiều dài là 0,04kg/m.

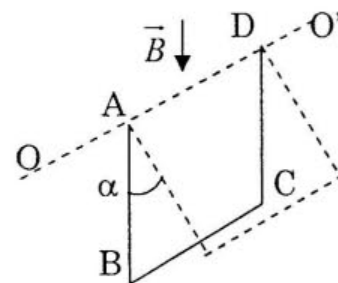
Dây được treo bằng dây mảnh, không dẫn, nhẹ và được đặt trong từ trường B. Vectơ B vuông góc với mặt phẳng dây treo và MN. Độ lớn B là 0,04T. Dòng điện I qua MN.



- a) Xác định chiều và độ lớn của I để lực căng dây treo bằng không.
 b) Cho $MN = 25 \text{cm}$, $I = 16 \text{A}$ có chiều từ N đến M. Tính lực căng của dây treo.

Đáp số: a) Chiều MN, 10A.
 b) 0,13N.

7. Dây dẫn bằng đồng, khối lượng riêng D, tiết diện S, dây dẫn uốn thành ba cạnh AB, BC, CD hình vuông cạnh a. Khung quay quanh OO' đi qua AD. Khung đặt trong từ trường B như hình vẽ. Dòng điện I chạy qua khung, khung lệch một góc α . Tính α .



Đáp số: $\alpha = \text{arctg} \left(\frac{IB}{2 \cdot D \cdot S \cdot g} \right)$

8. Hai dây dẫn thẳng song song dài vô hạn đặt cách nhau 14cm trong không khí. Dòng điện qua mỗi dây là 1,25A. Xác định vectơ cảm ứng từ tại một điểm cách các dây một khoảng 25cm, trong hai trường hợp.

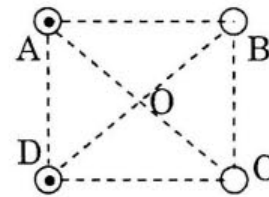
a) Dòng điện cùng chiều với nhau.

b) Dòng điện khác chiều nhau.

Đáp số: a) $1,92 \cdot 10^{-6} \text{T}$.

b) $0,56 \cdot 10^{-6} \text{T}$.

9. Bốn dây dẫn thẳng dài vô hạn đặt song song với nhau, tiết diện ngang của chúng tạo thành hình vuông cạnh $a = 20\text{cm}$. Trong mỗi dây có dòng điện 2A, chiều dòng điện theo hình bên. Tính vectơ cảm ứng từ tại tâm hình vuông.



Đáp số: $8 \cdot 10^{-6} \text{T}$.

10. Hai vòng dây tròn bán kính 10cm có tâm trùng nhau, đặt vuông góc với nhau trong không khí. Dòng điện qua mỗi dây là $\sqrt{2} \text{ A}$. Tìm vectơ cảm ứng từ tại tâm.

Đáp số: $B \approx 12,56 \cdot 10^{-6} \text{T}$; $\alpha = 45^\circ$.

Chương 16

CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

MỤC TIÊU

1. Trình bày được:

- Các thí nghiệm về cảm ứng điện từ.
- Các định luật cơ bản của cảm ứng điện từ.
- Một số hiện tượng đặc biệt của cảm ứng điện từ.

2. Giải thích được nguyên tắc của các dụng cụ, máy móc trong đời sống liên quan đến hiện tượng cảm ứng điện từ như máy phát điện, máy biến thế...

16.1. THÍ NGHIỆM VỀ HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Ta đã biết dòng điện gây ra xung quanh nó một từ trường. Vậy ngược lại từ trường có thể gây ra dòng điện không?

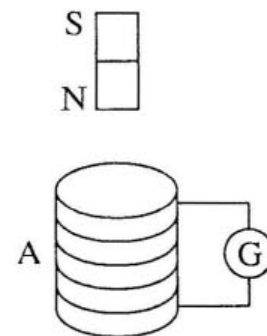
Năm 1831 nhà vật lý học người Anh, Faraday bằng thực nghiệm đã chứng tỏ khi có từ trường biến đổi đã sinh ra trong mạch kín dòng điện, gọi là dòng điện cảm ứng, hiện tượng đó gọi là hiện tượng cảm ứng điện từ.

Phát minh ra hiện tượng cảm ứng điện từ là một trong những phát minh quan trọng nhất của vật lý nói riêng và khoa học nói chung.

16.1.1. Thí nghiệm 1

Dùng một nam châm thẳng để gần đầu một ống dây A, ống dây A được nối với điện kế nhạy G (hình 16.1).

- Nếu giữ nguyên ống dây và dịch chuyển nam châm thì trong thời gian nam châm dịch chuyển, trong ống dây A có dòng điện. Độ lớn, chiều của dòng điện phụ thuộc vào tốc độ dịch chuyển của nam châm (nếu dịch chuyển thành nam châm càng nhanh thì cường độ dòng cảm ứng càng lớn. Nếu đưa cực bắc lại gần ống dây, thì dòng cảm ứng xuất hiện có chiều ngược chiều với khi đưa cực bắc ra xa ống dây).



Hình 16.1

– Nếu giữ nguyên nam châm và dịch chuyển ống dây thì hiện tượng cũng xảy ra tương tự như trên.

Vậy, *khi có sự chuyển động tương đối giữa nam châm và ống dây thì trong ống dây xuất hiện dòng cảm ứng.*

16.1.2. Thí nghiệm 2

Thay nam châm bằng một ống dây B, ống dây B được nối với nguồn điện một chiều (hình 16.2).

– Nếu đóng khoá K. Cho 2 ống dây A, B chuyển động tương đối thì trong ống dây A cũng có dòng cảm ứng như thí nghiệm 1.

– Nếu để A và B đứng yên, đóng hoặc ngắt khoá K ta cũng thấy trong ống dây A xuất hiện dòng cảm ứng. Dòng cảm ứng có chiều khi đóng K ngược chiều với dòng cảm ứng xuất hiện khi ngắt khoá K.

– Nhận xét: Qua thí nghiệm 2 ta thấy một ống dây có dòng điện một chiều chạy qua tương đương với một nam châm thẳng, ta gọi là nam châm điện. Để xác định cực của ống dây ta dùng quy tắc kim đồng hồ (15.3).

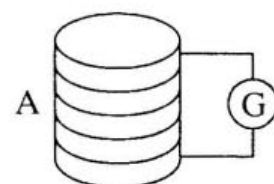
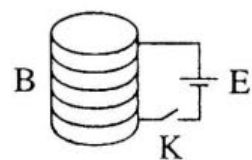
– Kết luận: Qua nhiều thí nghiệm, Faraday đã đi đến kết luận:

– Khi từ thông qua mạch kín biến đổi thì trong mạch kín xuất hiện dòng cảm ứng.

– Dòng điện cảm ứng chỉ tồn tại trong thời gian từ thông biến đổi qua mạch kín.

– Cường độ dòng cảm ứng tỷ lệ thuận với tốc độ biến thiên từ thông qua mạch kín.

– Chiều của dòng điện cảm ứng phụ thuộc vào sự biến đổi của từ thông qua mạch kín đó tăng hay giảm.



Hình 16.2

16.2. CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN VỀ CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

16.2.1. Định luật Lenz về chiều dòng cảm ứng

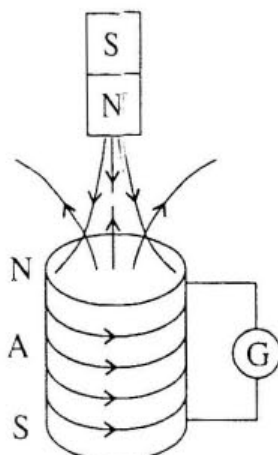
16.2.1.1. Phát biểu

Dòng cảm ứng bao giờ cũng có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra chống lại nguyên nhân sinh ra nó.

16.2.1.2. Ví dụ

Trong thí nghiệm đưa cực bắc của nam châm lại gần đầu của ống dây A. Ta thấy từ thông qua ống dây A tăng lên, theo định luật Lenz dòng cảm ứng phải có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra chống lại sự tăng từ thông đó.

Muốn vậy đường sức từ trường do dòng điện trong ống dây gây ra phải ngược chiều với đường sức từ do nam châm gây ra (hình 16.3).



Hình 16.3

Áp dụng quy tắc kim đồng hồ ta thấy đầu ống dây A ở gần nam châm phải là cực bắc.

Tương tự nếu đưa cực bắc nam châm ra xa ống dây thì đầu ống dây A ở gần nam châm sẽ phải là cực nam. Dòng điện trong ống dây lúc đó sẽ chạy theo chiều ngược lại.

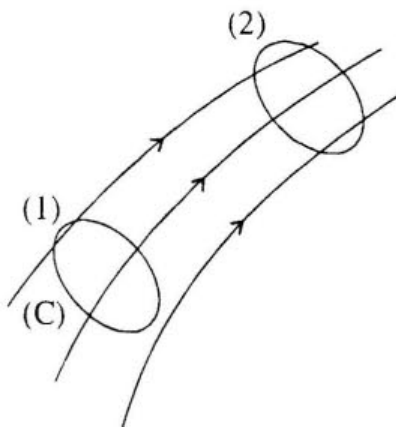
Chú ý: muốn dịch chuyển nam châm ta phải tốn năng lượng cơ học, năng lượng này đã biến thành năng lượng dòng cảm ứng, vậy định luật Lenz là biểu hiện của định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng.

16.2.2. Định luật Faraday về suất điện động cảm ứng

Sự xuất hiện dòng điện cảm ứng chứng tỏ trong mạch xuất hiện một suất điện động. Suất điện động đó gọi là suất điện động cảm ứng.

Để tính suất điện động cảm ứng ta xét một thí nghiệm tổng quát như sau:

Dịch chuyển một vòng dây kín (C) trong từ trường từ vị trí (1) đến vị trí (2) sao cho từ thông qua mạch kín đó biến đổi (hình 16.4).



Hình 16.4

Giả sử sau thời gian dt , từ thông qua mạch kín biến đổi một lượng $d\phi_m$ và cường độ dòng cảm ứng là I_C . Khi đó công từ lực tác dụng lên dòng cảm ứng theo (15.17) sẽ là:

$$dA = I_C \cdot d\phi_m$$

Theo định luật Lenz, từ lực tác dụng lên dòng điện cảm ứng phải ngăn cản sự dịch chuyển của vòng dây vì sự dịch chuyển này là nguyên nhân gây ra dòng cảm ứng nên công của từ lực tác dụng lên dòng cảm ứng phải là công cản. Vì thế để dịch chuyển vòng dây ta phải tốn một công dA' bằng công cản đó.

$$dA' = -dA = -I_C \cdot d\phi_m$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng, công dA' phải được chuyển thành năng lượng của dòng điện cảm ứng. Nếu gọi ε_C là suất điện động cảm ứng, ta phải có:

$$\varepsilon_C \cdot I_C \cdot dt = -I_C \cdot d\phi_m$$

$$\varepsilon_C = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad (16.1)$$

Biểu thức (16.1) được gọi là định luật Faraday về suất điện động cảm ứng, có thể phát biểu như sau:

Suất điện động cảm ứng luôn luôn bằng về trị số nhưng trái dấu với tốc độ biến thiên từ thông gửi qua diện tích của mạch điện.

Chú ý: theo định luật Lenz công của từ lực tác dụng dòng cảm ứng bao giờ cũng là công cản, do đó để dịch chuyển mạch điện trong từ trường ta phải tốn một công bằng về trị số nhưng trái dấu với công cản đó. Vì vậy, dấu (-) trong biểu thức (16.1) chính là biểu hiện về mặt toán học của định luật Lenz.

Vậy, định luật Faraday về suất điện động cảm ứng chính là định luật tổng quát của hiện tượng cảm ứng điện từ.

16.3. MỘT SỐ TRƯỜNG HỢP ĐẶC BIỆT CỦA CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

16.3.1. Dòng điện xoay chiều

Một trong các ứng dụng quan trọng của cảm ứng điện từ là tạo ra dòng điện xoay chiều. Dòng xoay chiều là trường hợp dòng cảm ứng xuất hiện khi có sự biến thiên từ thông tuần hoàn qua mạch kín.

Thật vậy ta hãy xét một khung dây đặt trong một từ trường đều cảm ứng từ \vec{B} . Ở thời điểm $t = 0$, \vec{B} vuông góc với mặt phẳng của khung, từ thông qua mạch là:

$$\phi_0 = B \cdot S$$

Nếu ta quay khung với vận tốc góc đều ω . Xung quanh trục OO' (hình 14.5) thì tại thời điểm t từ thông qua khung sẽ là:

$$\phi_m = \phi_0 \cdot \cos(\omega t)$$

Theo định luật cảm ứng điện từ suất điện động trong khung sẽ là:

$$\varepsilon_c = -\frac{d\phi_m}{dt} = \phi_0 \cdot \omega \cdot \sin(\omega t) \quad (16.2)$$

$$\varepsilon_c = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t) \text{ với } \varepsilon_0 = \phi_0 \cdot \omega$$

Vậy suất điện động trong trường hợp này là một suất điện động xoay chiều hình sin, nên mạch kín sẽ xuất hiện một dòng điện có cường độ dòng điện:

$$i = I_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (16.3)$$

Dòng điện đó được gọi là dòng điện xoay chiều với chu kỳ:

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega}$$

Tần số:

$$f = \frac{1}{T}$$

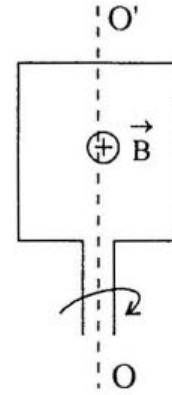
Chú ý:

– Trong kỹ thuật các máy phát điện tạo ra dòng điện xoay chiều được gọi là máy dao điện.

– Các máy dao điện tạo ra dòng điện có tần số 50Hz hoặc 60Hz.

– Nếu khung dây gồm nhiều vòng dây như nhau thì:

$$\varepsilon_0 = N \cdot \phi_0 \cdot \omega = N \cdot B \cdot S \cdot \omega$$



Hình 16.5

16.3.2. Dòng điện Foucault

Khi có một khối vật dẫn chuyển động trong từ trường, hoặc từ trường biến thiên trong khối vật dẫn thì trong khối vật dẫn đó cũng xuất hiện một dòng điện cảm ứng, trường hợp này gọi là dòng Foucault.

Cường độ của dòng Foucault là:

$$i_F = \frac{\varepsilon_F}{R}$$

Vì R rất nhỏ nên i_F rất lớn, theo định luật Joule–Lenz thì tác dụng nhiệt của dòng Foucault rất lớn. Với đặc điểm đó dòng Foucault có vai trò quan trọng trong kỹ thuật.

16.3.2.1. Tác hại của dòng Foucault

Trong các biến thế điện, máy phát điện, động cơ điện... lõi sắt của chúng sẽ xuất hiện các dòng Foucault, một phần năng lượng sẽ mất đi dưới dạng tỏa nhiệt,

đặc biệt nếu các lõi sắt đó có điện trở rất nhỏ thì tác dụng nhiệt rất lớn, có thể bị nóng chảy.

Để làm giảm tác dụng nhiệt này, các lõi người ta không dùng cả khối kim loại mà gồm nhiều lá kim loại mỏng ghép lại, các lá kim loại này được sơn cách điện với nhau.

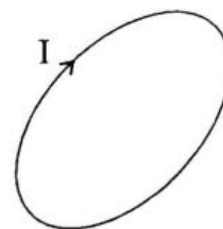
16.3.2.2. Dòng Foucault có lợi

Trong nhiều trường hợp tác dụng nhiệt của dòng Foucault lại có lợi. Ví dụ để nung chảy kim loại người ta dùng các lò cảm ứng, trong lò để các kim loại, dùng từ trường biến thiên nhanh qua lò, dưới tác dụng nhiệt làm các kim loại nóng chảy. Ưu điểm của phương pháp này so với các phương pháp nung khác là nó có thể thực hiện trong chân không.

16.3.3. Hiện tượng tự cảm

16.3.3.1. Hiện tượng

Giả sử có một mạch điện kín, trong mạch có cường độ dòng điện I chạy qua, dòng điện sẽ gây ra một vectơ cảm ứng từ \vec{B} , do đó qua mạch kín sẽ có một từ thông ϕ_m .



Hình 16.6

Nếu vì một lý do nào đó mà cường độ dòng điện I biến thiên thì \vec{B} cũng biến thiên, do vậy ϕ_m cũng biến thiên. Theo hiện tượng cảm ứng điện từ, thì trong mạch đó sẽ xuất hiện một dòng điện cảm ứng, dòng cảm ứng này gọi là dòng tự cảm. Hiện tượng này là hiện tượng tự cảm.

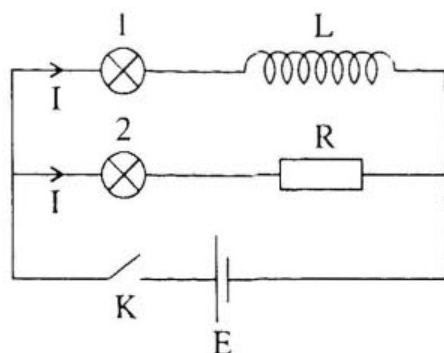
Vậy, hiện tượng tự cảm là hiện tượng xuất hiện dòng điện cảm ứng trong mạch khi cường độ dòng điện trong mạch biến thiên.

Chú ý: Đối với dòng điện không đổi thì dòng tự cảm chỉ xuất hiện khi đóng ngắt mạch hoặc thay đổi điện trở. Còn dòng xoay chiều thì luôn luôn xuất hiện hiện tượng tự cảm.

16.3.3.2. Ví dụ về hiện tượng tự cảm

Trong mạch điện (hình 16.7) hai đèn 1, 2 như nhau: nếu điều chỉnh cho điện trở của ống dây và R như nhau thì bình thường 2 đèn sáng như nhau. Nhưng:

- Khi đóng khoá đèn 2 sáng ngay, đèn 1 từ từ sáng lên.
- Khi ngắt khoá K , đèn 2 tắt ngay, đèn 1 loé lên rồi mới tắt.



Hình 16.7

Giải thích: khi đóng khoá K dòng điện qua ống dây tăng lên từ 0 đến I, do đó ngoài dòng điện I do nguồn E gây ra còn xuất hiện dòng điện tự cảm, trong trường hợp này dòng tự cảm ngược chiều với dòng điện I (theo định luật Lenz) do đó làm cho đèn 1 từ từ sáng lên.

Tương tự, khi ngắt mạch, I giảm đến 0, dòng tự cảm cùng chiều, lúc ngắt mạch cường độ dòng điện: $I' = I + I_{tc} > I$ đèn 1 loé lên rồi mới tắt.

16.3.3.3. Suất điện động tự cảm

Vì hiện tượng tự cảm chỉ là trường hợp đặc biệt của cảm ứng điện từ nên suất điện động tự cảm cũng tính theo công thức (16.1):

$$\varepsilon_{tc} = -\frac{d\phi_m}{dt}$$

Nhưng trong hiện tượng tự cảm ta thấy:

$$\phi_m \sim I$$

$$\phi_m = L.I$$

Do đó:
$$\varepsilon_{tc} = -L \cdot \frac{dI}{dt} \quad (16.4)$$

Trong đó, L là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào hình dạng, kích thước, môi trường bên trong ống dây, gọi là độ tự cảm của ống dây. Trong hệ SI đơn vị của L là Henry (H).

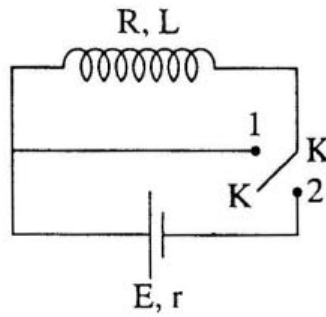
Từ (16.4) ta có thể phát biểu: *Suất điện động tự cảm tỷ lệ với tốc độ biến thiên cường độ dòng điện trong mạch.*

16.3.3.4. Tính cường độ tự cảm khi ngắt mạch

Giả sử có một mạch điện như hình vẽ (hình 16.8).

Nếu khoá K ở vị trí 2, trong ống dây có dòng điện I_0 :

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R + r}$$



Hình 16.8

Nếu chuyển K sang vị trí 1, thì trong ống dây xuất hiện một dòng tự cảm:

$$I_{tc} = \frac{\varepsilon_{tc}}{R} = -\frac{L}{R} \cdot \frac{dI_{tc}}{dt}$$

$$\frac{dI_{tc}}{I_{tc}} = -\frac{R}{L} dt$$

$$\int \frac{dI_{tc}}{I_{tc}} = \int -\frac{R}{L} dt$$

$$\ln I_{tc} = -\frac{R}{L} t + C$$

Tại thời điểm $t = 0 \rightarrow I_{tc} = I_0$

Do đó: $\ln I_0 = C$

Vậy:

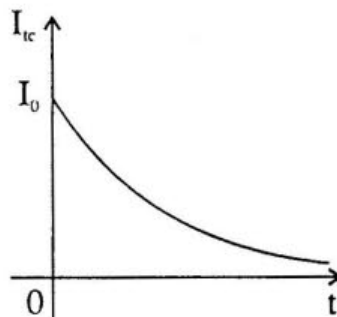
$$\ln I_{tc} = -\frac{R}{L} t + \ln I_0$$

$$I_{tc} = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} t} \quad (16.5)$$

Hình 16.9 biểu diễn sự phụ thuộc của I_{tc} theo t .

Chú ý:

- Theo (16.5) khi $t \rightarrow \infty$ thì $I_{tc} \rightarrow 0$. Thực tế tốc độ giảm của I_{tc} phụ thuộc vào tỷ số $\frac{R}{L}$. Nếu $R \gg L$ thì I giảm rất nhanh.



Hình 16.9

- Khi ngắt mạch dòng điện toàn phần trước thời điểm i bằng không sẽ là:

$$I = I_0 + I_{tc} = I_0 + I_0 e^{\frac{R}{L}t} > I_0$$

Do đó có thể gây ra hiện tượng đoản mạch. Để tránh hiện tượng đoản mạch khi ngắt mạch, trước khi ngắt điện người ta giảm I_0 trong mạch (dùng biến trở tăng điện trở của mạch).

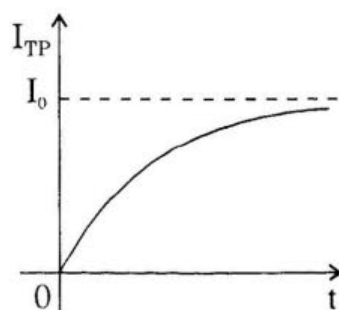
16.3.3.5. Tính cường độ tự cảm khi đóng mạch

Tương tự, khi đóng mạch ngoài cường độ dòng điện trong mạch do I_0 gây ra còn xuất hiện dòng tự cảm ngược chiều I . Do đó, tại thời điểm t cường độ dòng điện trong mạch là:

$$I = I_0 - I_0 e^{-\frac{R}{L}t} = I_0 (1 - e^{-\frac{R}{L}t}) \quad (16.6)$$

Theo (16.6) thì khi $t \rightarrow \infty$ thì $I \rightarrow I_0$ (hình 16.10).

Trong thực tế tốc độ tiến tới I_0 phụ thuộc vào tỷ số $\frac{R}{L}$.

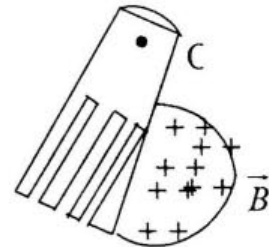


Hình 16.10

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Trình bày các thí nghiệm về cảm ứng điện từ, nêu kết luận chung về hiện tượng cảm ứng điện từ.
2. Các định luật cơ bản về hiện tượng cảm ứng điện từ.
3. Thế nào là dòng điện xoay chiều, dòng Foucault. Nêu ý nghĩa của các dòng điện đó trong đời sống, kỹ thuật.
4. Hiện tượng tự cảm: định nghĩa, ví dụ, suất điện động tự cảm, tính cường độ dòng điện tự cảm khi ngắt mạch, khi đóng mạch.
5. Nêu 3 dụng cụ ứng dụng hiện tượng cảm ứng điện từ.
6. Dòng điện tự cảm khác gì dòng điện do pin, ắc quy sinh ra.
7. Dòng điện xoay chiều qua cuộn dây có sinh ra suất điện động tự cảm hay không?

8. Giải thích bằng cách riêng của bạn sự khác nhau giữa từ trường B và từ thông Φ_m của từ trường. Chúng là những đại lượng vectơ hay vô hướng.
9. Khung dây dẫn kín hình vuông đặt trong từ trường đều B vuông góc với mặt khung. Dùng ngoại lực kéo hai cạnh bên thành hình chữ nhật. Xác định chiều dòng điện cảm ứng chạy trong khung.
10. Hãm từ: Một giải đồng được treo như một con lắc ở điểm O . Nó có thể dao động tự do trong một từ trường vuông góc với trang giấy. Nếu giải có nhiều khe thì nó dao động gần như tự do. Nếu là tấm thì nó bị hãm rất nhanh. Bạn hãy giải thích bằng định luật Lenz.



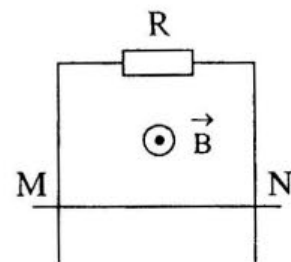
BÀI TẬP TỰ LÀM

1. Một khung dây gồm $N = 150$ vòng như nhau quay đều trong từ trường đều cảm ứng từ $B = 0,5 \text{ T}$. Chu kỳ quay của khung là $T = 3\text{s}$, diện tích mỗi vòng dây là $S = 200 \text{ cm}^2$. Ở thời điểm $t = 0$ mặt phẳng khung vuông góc với \vec{B} .
- a) Viết biểu thức suất điện động cảm ứng xuất hiện trong khung ở thời điểm t .
- b) Tính giá trị lớn nhất của suất điện động.

Đáp số: a) $e = 3,15 \cdot \sin(2,1t)$

b) $E_m = 3,15 \text{ V}$

2. Hai thanh kim loại song song thẳng đứng có điện trở không đáng kể, một đầu nối vào điện trở R . Đoạn dây MN có khối lượng m , chiều dài l tỳ vào hai thanh kim loại, tự do trượt xuống dưới (hình 16.11). Từ trường đều có phương vuông góc với mặt phẳng chứa hai thanh kim loại, có độ lớn B .



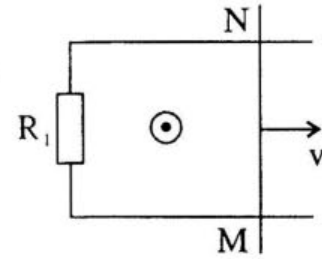
Hình 16.11

- a) Xác định chiều dòng cảm ứng.
- b) Chứng tỏ ban đầu thanh MN chuyển động nhanh dần đều, sau thời gian sẽ chuyển động đều với vận tốc v_0 , tính v_0 . Biết thanh MN có điện trở r .

Đáp số: a) $N \rightarrow M$.

b) $v_0 = \frac{m \cdot g \cdot (R + r)}{B^2 \cdot l^2}$

3. Hai thanh kim loại song song nằm ngang có điện trở không đáng kể, đều được nối với điện trở R_1 . Đoạn dây MN có độ dài l điện trở R_2 tỳ trên 2 thanh kim loại chuyển động đều với vận tốc \vec{v} ra xa R_1 (hình 16.12).



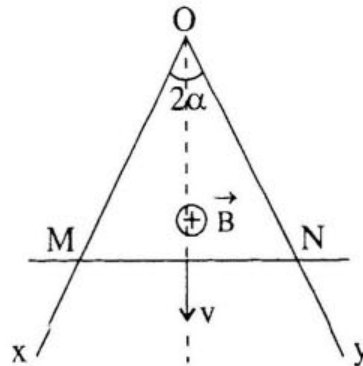
Hình 16.12

- a) Tìm chiều dòng điện trong mạch.
b) Tính U_{MN} .

Đáp số: a) $N \rightarrow M$.

$$b) U_{MN} = \frac{B.v.l.R_1}{R_1 + R_2}$$

4. Một dây dẫn thẳng vô hạn được uốn thành một góc $2\alpha = xOy$ (hình 16.13). Một đoạn dây MN trượt đều từ O xuống phía x, y với vận tốc đều v . Một từ trường đều cảm ứng từ \vec{B} có phương vuông góc với mặt phẳng xOy . Biết rằng các dây dẫn Ox, Oy, MN đều có cùng một điện trở là r trên một đơn vị dài.

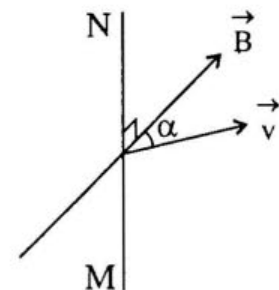


Hình 16.13

Tính cường độ dòng điện chạy trong mạch OMN tại thời điểm t .

$$\text{Đáp số: } I = \frac{B.v.\sin\alpha}{2.r.(1 + \sin\alpha)}$$

5. Thanh kim loại có chiều dài đặt vuông góc với vectơ cảm ứng từ \vec{B} (hình 16.14). Nếu ta cho thanh chuyển động tịnh tiến với vận tốc \vec{v} theo phương hợp thành một góc α với \vec{B} thì hiệu điện thế sẽ suất hiện giữa hai đầu MN.



Hình 16.14

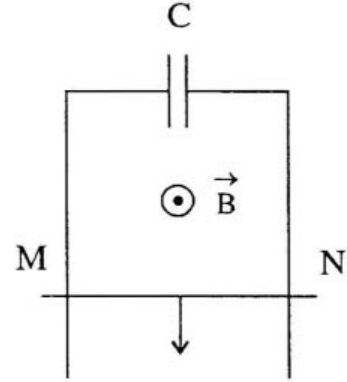
- a) Giải thích sự xuất hiện hiệu điện thế này.

- b) Tính suất điện động cảm ứng xuất hiện trong thanh MN.
 c) Áp dụng bằng số để tính E. Biết $\ell = 10\text{cm}$, $B = 0,2\text{T}$, $v = 10\text{m/s}$, $\alpha = \pi/2$.

Đáp số: b) $E = B.v.\ell.\sin\alpha$

c) $E = 0,2\text{V}$.

6. Một đoạn dây MN có chiều dài ℓ , khối lượng m trượt không ma sát và luôn tựa trên hai thanh kim loại song song thẳng đứng (hình 16.15). Đầu trên của hai thanh kim loại được nối với hai đầu của tụ điện C. Tất cả được đặt trong từ trường đều \vec{B} .



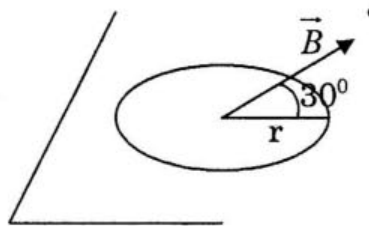
Hình 16.15

- a) Giải thích tại sao tụ điện được tích điện? Bản nào tích điện dương, bản nào tích điện âm?
 b) Xác định gia tốc a của đoạn dây MN.
 c) Thế năng của thanh đã chuyển thành những dạng năng lượng nào?

Đáp số: a) Bản nối với M tích điện dương.

b) $a = \frac{mg}{m + C.B^2.\ell^2}$.

7. Vòng dây tròn bán kính $r = 10\text{cm}$, điện trở $R = 0,2\Omega$ đặt nghiêng góc 30° đối với vectơ từ trường B , độ lớn $0,02\text{T}$. Xác định suất điện động cảm ứng, độ lớn và chiều dòng điện, tốc độ toả nhiệt của vòng dây trong thời gian $0,01\text{s}$ với từ trường:



- a) Giảm đều từ B xuống đến không.
 b) Tăng đều từ không đến B .

Đáp số: $e = 0,0314\text{V}$

$i_{\text{cu}} = 0,157\text{A}$.

$Q = 0,5\text{J/s}$

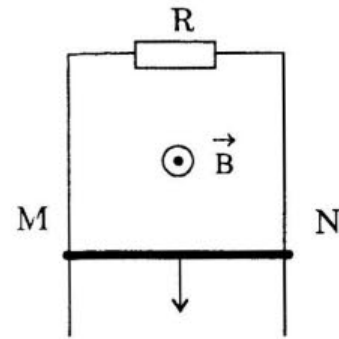
8. Thanh đồng MN khối lượng 2g , trượt đều không ma sát vận tốc 5m/s trên hai thanh đồng thẳng đứng song song cách nhau một khoảng 50cm trong từ trường $B = 0,2\text{T}$ và có chiều như hình vẽ. Bỏ qua điện trở tiếp xúc và các thanh, lấy gia tốc trọng trường $g = 10\text{m/s}^2$.

- a) Tính suất điện động cảm ứng trong thanh MN.
 b) Tính lực điện từ, chiều và độ lớn dòng điện cảm ứng.
 c) Tính điện trở R.

Đáp số: a) 0,5V

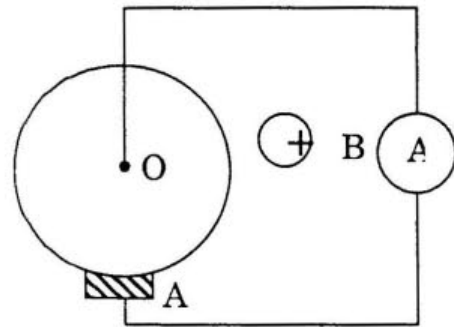
b) $2 \cdot 10^{-2} \text{N}$; 2A

c) $2,5\Omega$



9. Một đĩa kim loại bán kính r đặt vuông góc với vectơ cảm ứng từ B có chiều như hình vẽ. Đĩa quay với tần số n. Các tiếp điểm tại O và A nối đĩa với ampe kế. Tính suất điện động cảm ứng giữa O, A và chiều dòng điện cảm ứng.

Áp dụng bằng số: $r = 10\text{cm}$; $B = 0,1\text{T}$;
 $n = 3\text{vòng/s}$.



Đáp số: $e_{\text{cđ}} = n \cdot \pi \cdot r^2 \cdot B$; $9,42 \cdot 10^{-3} \text{V}$.

Chiều I từ A đến O.

Chương 17

DÒNG ĐIỆN TRÊN CƠ THỂ SINH VẬT

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. 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.

Dưới đây, 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.

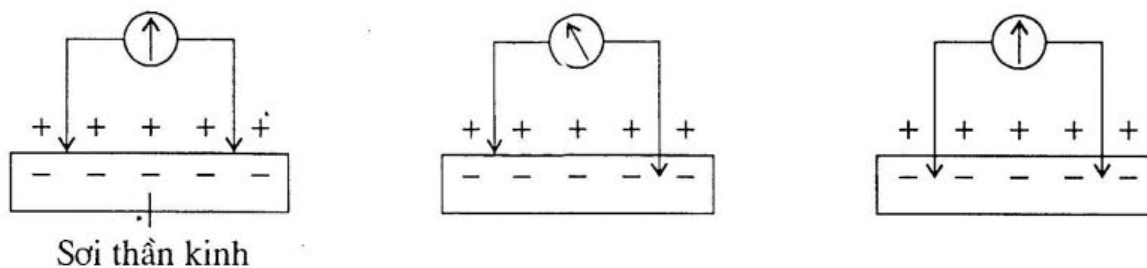
17.1. CÁC LOẠI ĐIỆN THỂ SINH VẬT CƠ BẢN

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 loài 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 sống chính là thí nghiệm nổi tiếng của bác sĩ 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 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.

17.1.1. Điện thế nghỉ

Kết quả của thí nghiệm phát hiện điện thế nghỉ mô tả trên hình 17.1 cho thấy:



Hình 17.1

– Khi hai điện cực đặt trên bề mặt của sợi thần kinh thì không có sự chênh lệch về điện thế.

– Khi chọc một điện cực qua màng vào sâu trong tế bào, và một điện cực đặt trên bề mặt sợi thần kinh, giữa hai đầu điện cực xuất hiện một hiệu điện thế.

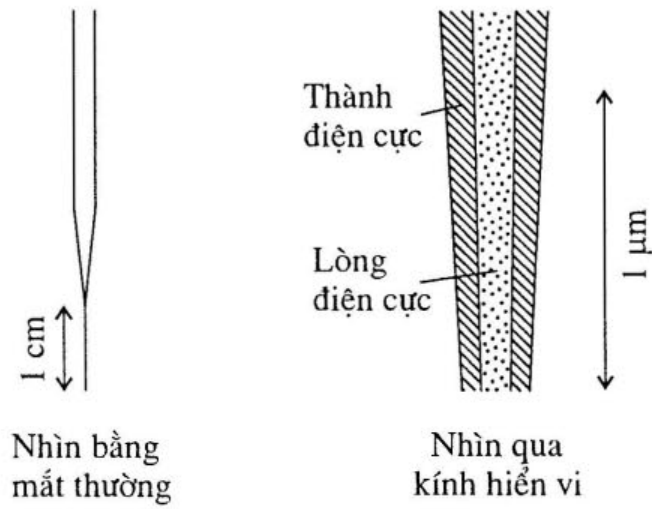
– Khi hai điện cực chọc xuyên qua màng, không có sự chênh lệch về điện thế. Như vậy giữa phần bên trong tế bào và môi trường bên ngoài luôn tồn tại một hiệu điện thế. Sự chênh lệch về điện thế này gọi là điện thế nghỉ hay điện thế tĩnh.

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.

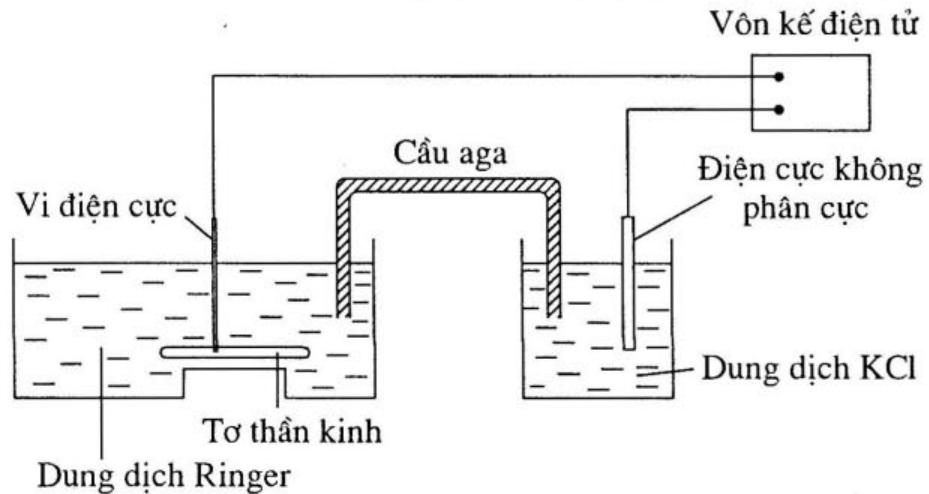
– Điện thế nghỉ có độ lớn biến đổi rất chậm theo thời gian. Nếu sử dụng kỹ thuật ghi đo tốt, ta có thể duy trì để độ lớn của điện thế nghỉ không đổi trong nhiều giờ thí nghiệm; giá trị điện thế nghỉ chỉ nhỏ đi khi hoạt động chức năng của tế bào đã bắt đầu giảm.

Để đo điện thế nghỉ 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 17.2 mô tả một loại vi điện cực kiểu Linh Giêra, chế tạo bằng thủy tinh, đường kính từ 0,1 đến 0,5 μm . 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 17.2

Hình 17.3 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 17.3

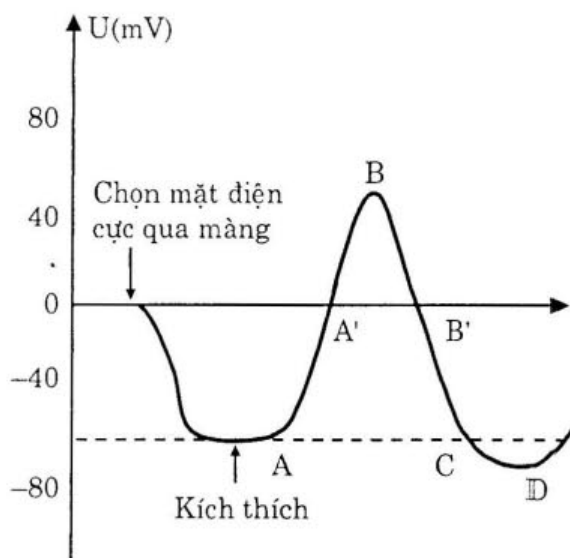
17.1.2. Điện thế hoạt động

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 nên âm hơn mặt trong. Lúc ấy xuất hiện điện thế hoạt động, đó 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: 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 17.4). 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 nhỏ khỏi giá trị 0 khoảng 50mV .

Trên hình 17.4 dựa vào sự biến đổi điện thế ở hai phía của màng ta có thể chia điện thế hoạt động làm nhiều giai đoạn sau:



Hình 17.4

- Giai đoạn khử cực (đoạn AA') 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 (giai 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 hiệu điện thế ở hai phía của màng từ giá trị 0 trở về giá trị điện thế nghỉ.

- Giai đoạn quá phân cực (đoạn CD) ứng với hiệu điện thế ở hai 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 phần dọc theo sợi thần kinh. Các kết quả thực nghiệm sau cho thấy rằng điện thế hoạt động có khả năng lan truyền.

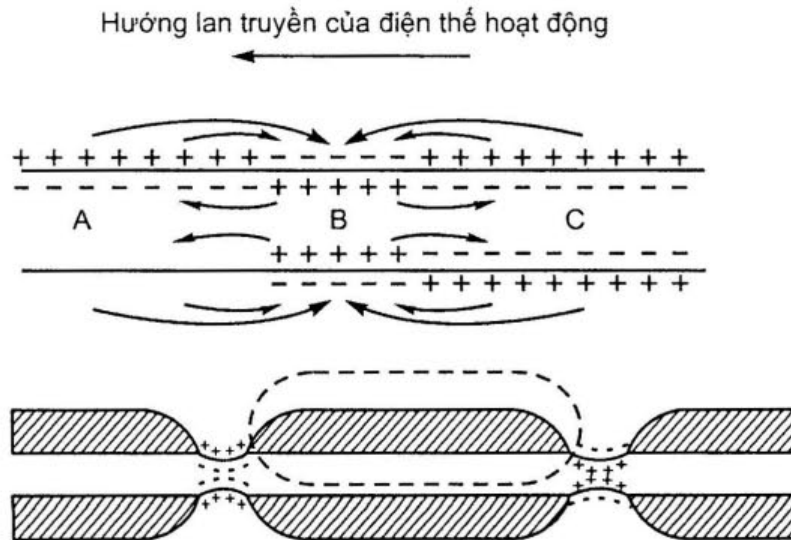
- Điện thế hoạt động ghi được càng chậm so với thời điểm kích thích sợi thần kinh khi ta đặt điện cực càng xa vị trí kích thích.

- 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 myêlin 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:

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 đang bị kích thích ở vị trí B lúc đó dấu điện tích mặt trong màng tại B sẽ (+) và màng ngoài sẽ (-), do đó sẽ xuất hiện dòng tại chỗ có chiều như trên hình 17.5 đối với sợi thần kinh không có bao myêlin. Chính dòng điện tại đây làm giảm giá trị hiệu điện thế giữa hai 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 đã chuyển sang trạng thái hưng phấn và lại xuất hiện dòng điện tại chỗ giữa 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.



Hình 17.5

Khác với trên, quá trình lan truyền trong sợi thần kinh có bao myêlin xảy ra theo lối nhảy cóc từ eo Ranvier này sang eo Ranvier khác và dòng điện tại chỗ cũng chỉ xuất hiện tại các eo này (hình 17.5), chính vì vậy mà tốc độ lan truyền nhanh hơn so với trong sợi không có bao myêlin.

17.2. 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, Hermann 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 thì còn có sự chênh lệch về nồng độ các ion ở trong tế bào và ở môi trường bên ngoài. Ví 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 ta cần khảo sát sự xuất hiện hiệu điện thế khi hai phía của một màng có các dung dịch điện ly nồng độ khác nhau.

17.2.1. Các loại hiệu điện thế

17.2.1.1. 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:

$$U = \frac{R.T}{Z.F} \cdot \frac{u^+ - u^-}{u^+ + u^-} \cdot \ln \frac{C_1}{C_2}$$

Trong đó: R: hằng số khí lý tưởng (= 2 cal/độ.mol).

F: số Faraday (= 96500 Coulomb).

T: nhiệt độ tuyệt đối của dung dịch.

Z: hoá trị của ion điện ly.

u^+ : độ linh động của cation.

u^- : độ linh động của anion.

C_1, C_2 : nồng độ của các dung dịch.

Các ion kali, natri, hydro, clo, calci, 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 rất 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.

17.2.1.2. 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 ion kim loại trong 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.

$$U_c = \frac{R.T}{Z.F} \cdot \ln \frac{C_{dc}}{C_1} - \frac{R.T}{Z.F} \cdot \ln \frac{C_{dc}}{C_2} = \frac{R.T}{Z.F} \cdot \ln \frac{C_2}{C_1}$$

Trong đó: R: hằng số khí lý tưởng.

T: nhiệt độ tuyệt đối.

Z: hoá trị của kim loại.

F: số Faraday (F = 96500 Coulomb).

C₁, C₂: nồng độ ion kim loại trong hai 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 tỷ 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.

$$U_c = \frac{0,058}{Z} \cdot \lg \frac{C_2}{C_1} \text{ (V)}$$

17.2.1.3. 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. Tùy thuộc vào kích thước của lỗ màng, diện 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 xác định 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.

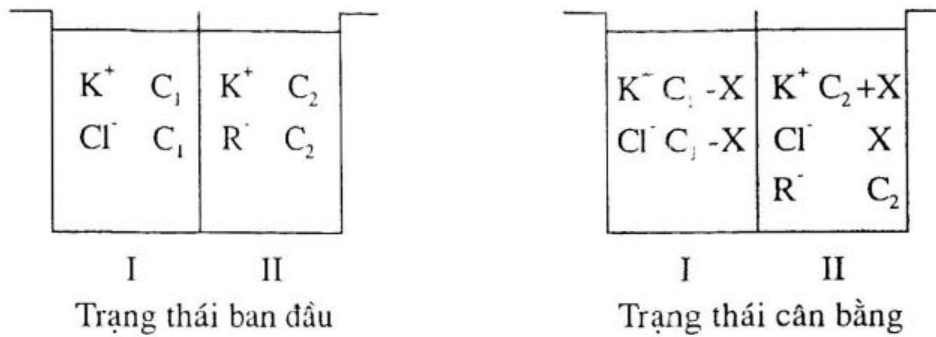
Xét hệ gồm hai phần, ngăn cách nhau bởi một màng bán thấm, ở phần I có dung dịch KCl, phần II có dung dịch muối protein của kali và màng chỉ thấm đối với K⁺ và Cl⁻ (hình 17.6). Sau một thời gian, khi trạng thái cân bằng động được thiết lập thì ở hai phía của màng có sự chênh lệch về nồng độ các ion có khả năng khuếch tán qua màng.

$$[K^+]_1 < [K^+]_2$$

$$[Cl^-]_1 > [Cl^-]_2$$

Do sự chênh lệch nồng độ này ở hai phía của màng xuất hiện hiệu điện thế nồng độ U_c:

$$U_c = \frac{R.T}{Z.F} \cdot \ln \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} = 0,058 \cdot \lg \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2}$$



Hình 17.6

Vì $\frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} = \frac{[Cl^-]_2}{[Cl^-]_1}$ (từ điều kiện về cân bằng động của hệ) do đó:

$$U_c = 0,058 \cdot \lg \frac{[K^+]_1}{[K^+]_2} = 0,058 \cdot \lg \frac{[Cl^-]_2}{[Cl^-]_1}$$

17.2.2. 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.

17.2.2.1. 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 kiên 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 17.1. 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		
	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	

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 hai 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.

$$U = 0,058 \cdot \lg \frac{[K^+]_{\text{trong}}}{[K^+]_{\text{ngoài}}} = 0,058 \cdot \lg \frac{[Cl^-]_{\text{ngoài}}}{[Cl^-]_{\text{trong}}}$$

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.

$$\frac{[K^+]_{\text{trong}}}{[K^+]_{\text{ngoài}}} = \frac{[Cl^-]_{\text{ngoài}}}{[Cl^-]_{\text{trong}}}$$

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⁺, quy 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 gradient 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:

$$U = \frac{R \cdot T}{F} \cdot \ln \frac{P_K \cdot [K^+]_{\text{trong}} + P_{Na} \cdot [Na^+]_{\text{trong}} + P_{Cl} \cdot [Cl^-]_{\text{ngoài}}}{P_K \cdot [K^+]_{\text{ngoài}} + P_{Na} \cdot [Na^+]_{\text{ngoài}} + P_{Cl} \cdot [Cl^-]_{\text{trong}}}$$

Trong đó P_K , P_{Na} , P_{Cl} là hệ số thấm của màng lần lượt đối với các ion K^+ , Na^+ , Cl^- .

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.

17.2.2.2. 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 hai phía của màng sẽ biến đổi từ giá trị điện thế nghỉ xuống giá trị 0 và như vậy điện thế hoạt động bằng điện thế nghỉ về giá trị. Giả thiết này của Bernstein tồn tại mãi cho tới khi Hodgkin, Huxley (1938), Cole và Cortis (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 Cole và Cortis 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 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 gradient 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^{2+} , 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 này 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:

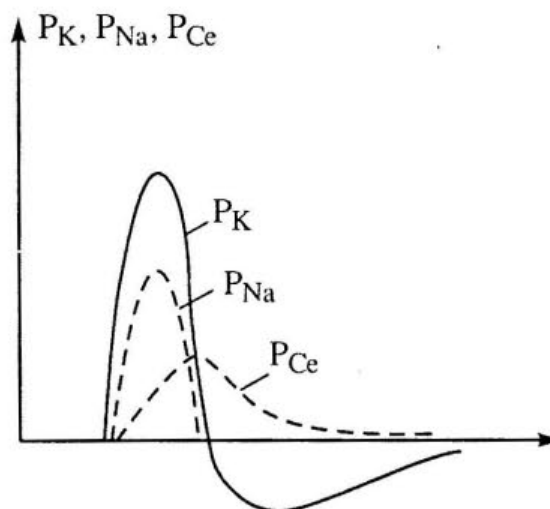
- Nếu khử cực màng ở mức độ thấp (điện áp khử cực cố định khoảng $10 \div 15\text{mV}$) thì thấy xuất hiện dòng điện do sự vận chuyển các ion từ trong tế bào ra ngoài.

- Nếu khử cực màng ở mức độ cao hơn (điện áp từ $20 \div 100\text{mV}$) thì giai đoạn đầu khoảng $2 \div 3\text{ms}$ 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^+ , 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 gradient 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 gradient nồng độ.

- Nếu khử cực màng với điện áp có giá trị cân bằng với lực do gradient nồng độ ion Na^+ tạo ra dòng điện ở giai đoạn đầu mất đi và chỉ cho 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 gradient nồng độ đi ra ngoài tế bào.

Từ các kết quả trên, 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 ($P_{\text{K}} : P_{\text{Na}} : P_{\text{Cl}} = 1 : 0,04 : 0,45$). Khi tế bào ở trạng thái hưng phấn, tính thấm chọn lọc của màng thay đổi ($P_{\text{K}} : P_{\text{Na}} : P_{\text{Cl}} = 1 : 20 : 0,45$). 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 17.7). 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.

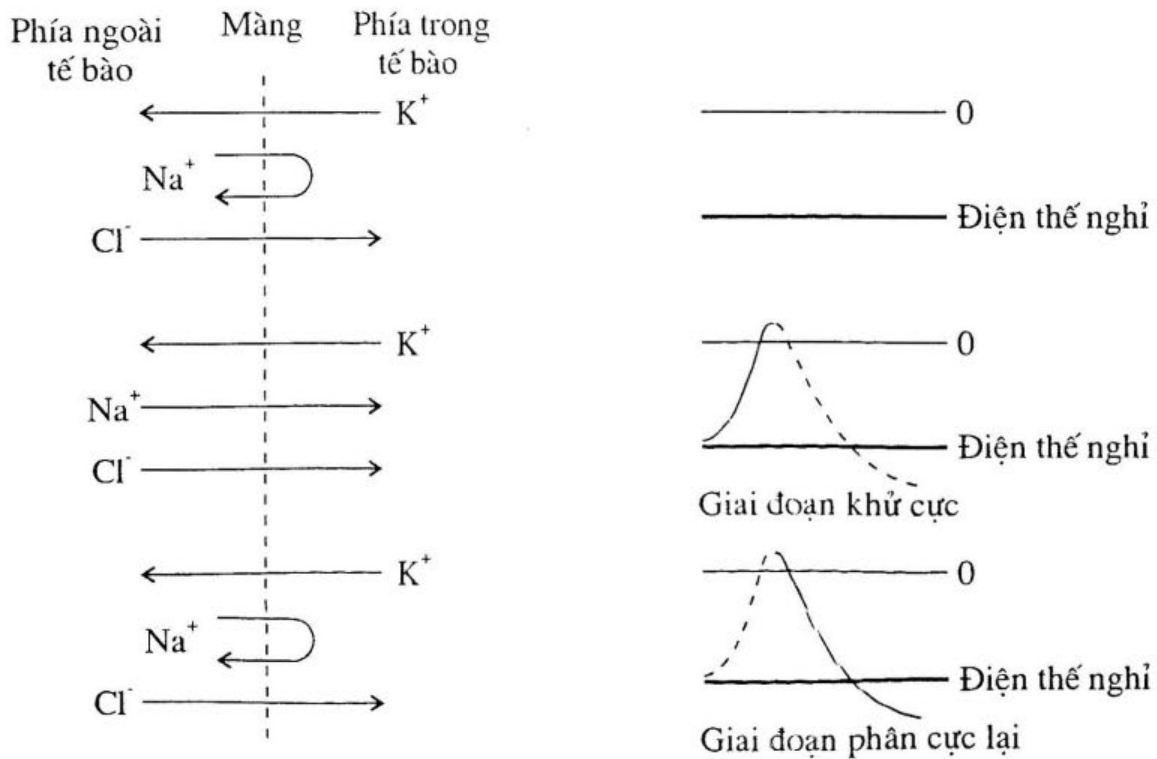


Hình 17.7

Quá trình khử cực tiếp diễn cho tới khi hiệu điện thế màng vượt quá giá trị 0, tiến tới giá trị xấp xỉ với điện thế do sự chênh lệch nồng độ ion Na^+ giữa hai phía của màng.

$$U_{\text{Na}} = \frac{R.T}{F} \cdot \ln \frac{[\text{Na}^+]_{\text{ngoài}}}{[\text{Na}^+]_{\text{trong}}}$$

Tiếp đó tính thấm của màng đối 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 gradient 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 17.8 trình bày sự biến đổi các dòng ion K^+ , Na^+ trong quá trình tạo điện thế hoạt động.



Hình 17.8

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 tích cực, ngược chiều với gradient nồng độ.

17.2.2.3. 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

nguyên 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 điện thế màng. Người ta cho rằng sự thay đổi điện thế màng sẽ gây ra 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.

- 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 hai 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 phân tử cấu tạo nên màng.

17.3. MỘT SỐ DÒNG ĐIỆN SINH VẬT GHI ĐƯỢC TRÊN CƠ THỂ NGƯỜI

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.

Ví 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.

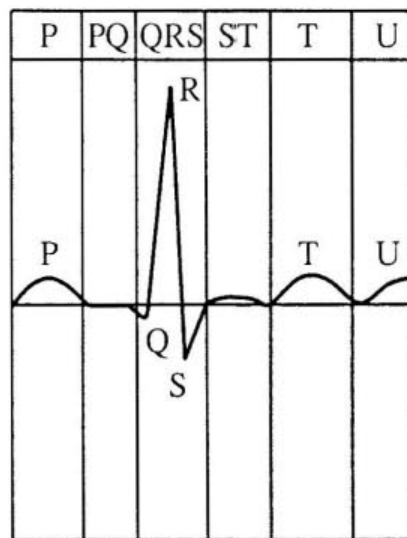
Người ta đã ghi lại được điện sinh vật của nhiều tổ chức cơ thể như tim, não, cơ, dạ dày, dạ con, đáy mắt... Về bản chất, đó là những điện thế hoạt động do các tổ chức đó của cơ thể sinh ra khi thực hiện những hoạt động sinh lý chức năng bình thường.

17.3.1. Điện tim

Sự phát sinh điện tim là do quá trình khử cực và phân cực lại xảy ra trong tim ở trạng thái hoạt động. 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 mỏm 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.

Hình 17.9 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 milivon (mV). Thời khoảng (hay thời gian kéo dài) của sóng đo bằng giây (s).



Hình 17.9

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 0,30mV 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 0,1s. Nếu lớn hơn 0,1s 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 trong bệnh thấp khớp cấp, hoặc do tổn thương thực thể của tim ở lớp giữa các cơ tim (như màng tim...).

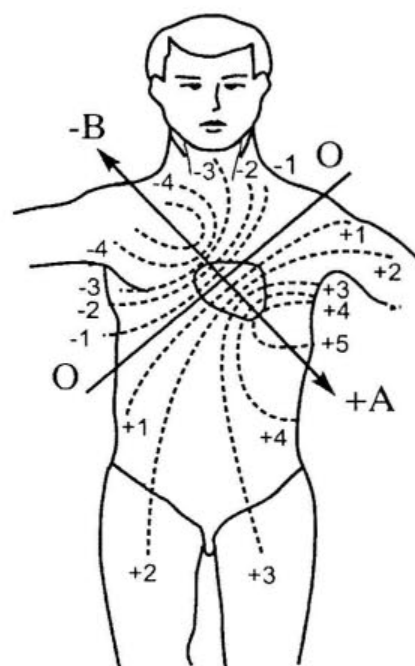
Sóng QRS biểu hiện sự kích thích của tâm thất. Biên độ của sóng R bình thường từ 0,6 đến 1,6mV, thời khoảng của QRS thường từ 0,06 đến 0,09s. Sóng T có biên độ khoảng từ 0,25 đến 0,5mV và thời khoảng cỡ 0,25s.

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 khỏe 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 cả mọi điểm trên bề mặt của cơ thể đều có sự thay đổi điện thế. Hình 17.10 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 chính của điện trường, 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.



Hình 17.10. Sơ đồ phân bố đường đẳng điện trên bề mặt cơ thể do sức điện động của tim gây nên.

Để ghi được điện tim, ta chọn những điểm cho ta điện thế lớn nhất.

Những điểm cho điện thế lớn nhất là 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.

17.3.2. Điện não

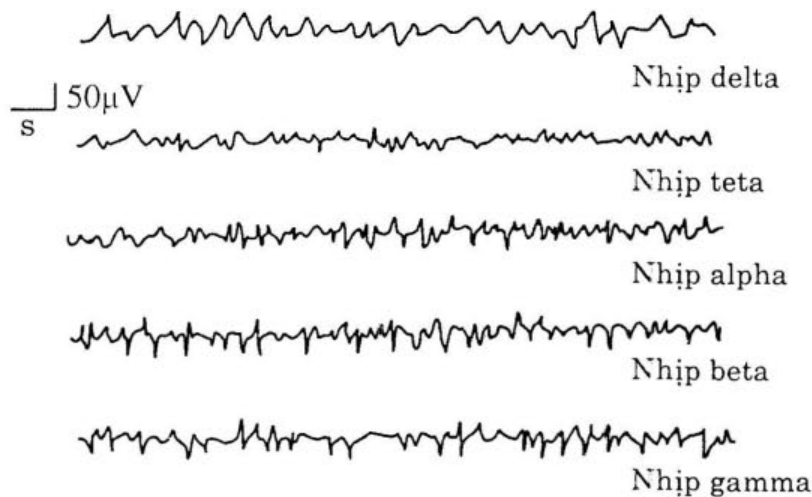
Não người có một cấu trúc phức tạp, gồm khoảng 10^{10} tế bào thần kinh (nơron). Mỗi tế bào não giống như một nguồn điện tí hon mà suất điện động luôn luôn biến đổi. Các tế bào não liên hệ chặt chẽ với nhau nên mỗi biến đổi về điện của một tế bào lại kéo theo những biến đổi về điện ở các tế bào khác. 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 17.11 vẽ các nhịp khác nhau của điện não đồ.

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 nhóm các sóng của các tác giả Liên Xô:

- + Sóng delta: $0,5 \div 3\text{Hz}$.
- + Sóng teta: $4 \div 7\text{Hz}$.
- + Sóng alpha: $8 \div 13\text{Hz}$.
- + Sóng beta: $14 \div 30\text{Hz}$.
- + Sóng gamma: $30 \div 50\text{Hz}$.



Hình 17.11. Các nhịp khác nhau của điện não đồ

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. Biên độ sóng teta vào khoảng $20 \div 50\mu\text{V}$. 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 $20 \div 100\mu\text{V}$ tùy 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 ghi được trên điện não đồ của đa số người, nhưng trên người khoẻ mạnh chỉ chiếm một tỷ lệ rất nhỏ. Tùy theo từng người, biên độ sóng beta ở trong khoảng $3 \div 5\mu\text{V}$. 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. Tùy 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 được 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).

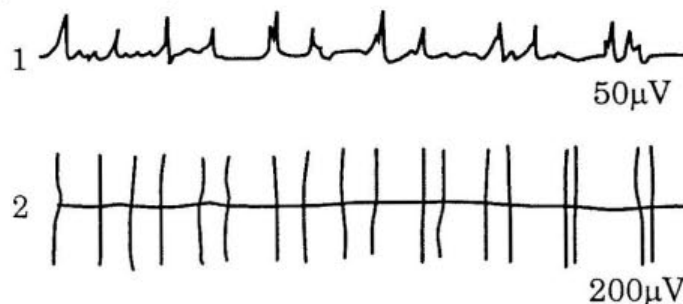
– Chuyển đạo lưỡng cực: đối với chuyển đạo lưỡng cực cả hai điện cực đều được đặt trên vùng hoạt động của não. Cả hai điện cực đều gọi là điện cực hoạt động. Điện thế thu được trong chuyển đạo lưỡng cực là tổng đại số điện thế của hai điện cực.

– 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 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 tế 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%.

17.3.3. 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 80mV. 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.

Ở người khoẻ mạnh, dùng điện cực kim loại có thể dẫn được điện thế hoạt động của một đơn vị vận động khi cơ yếu. Nó là kết quả cộng điện thế hoạt động của những sợi cơ gần điện cực kim loại 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 17.12).

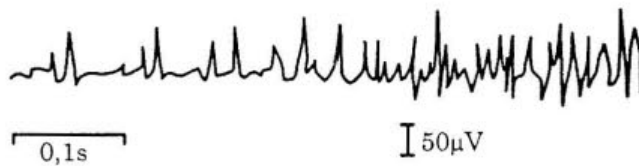


Hình 17.12. Điện thế động của đơn vị vận động.
Các xung của hai đơn vị vận động.

1. Điện cực đồng tâm; 2. Điện cực lưỡng cực.

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 cơ yếu chỉ một vài đơn vị vận động làm việc, điện thế hoạt động của nó thưa thớt; khi cơ mạnh trên điện cơ đồ thấy hình ảnh dày đặc của các điện thế hoạt động, chúng 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 17.13).



Hình 17.13. Sự chuyển từ điện thế động của các đơn vị vận động riêng biệt sang điện cơ đồ giao thoa

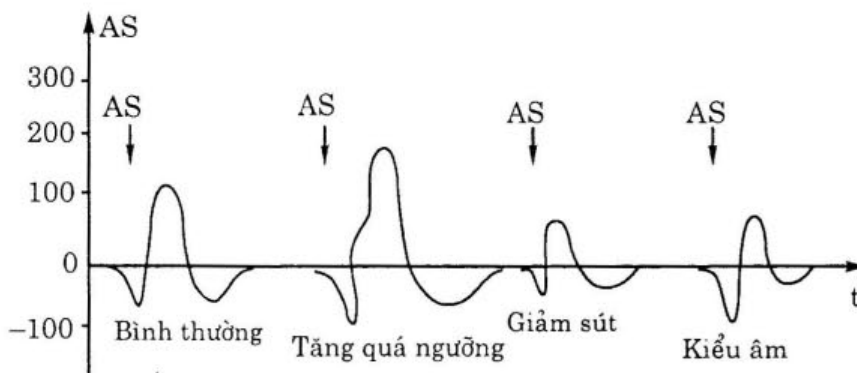
Những điện cực với tiết diện lớn, khi cơ yếu cũng có thể thu được điện cơ đồ giao thoa.

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 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.

17.3.4. Điện võng mạc

Theo Dubois Raymond bình thường giữa giác mạc và đáy mắt có một hiệu điện thế tĩnh khoảng $4 \div 10\text{mV}$. 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 17.14 cho biết hình ảnh điện võng mạc đồ bình thường và bệnh lý.



Hình 17.14. 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.

17.4. ĐẠI CƯƠNG VỀ KÍCH THÍCH CƠ VÀ THẦN KINH BẰNG DÒNG ĐIỆN

17.4.1. 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 điện 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 $1\text{M}\Omega$ 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.

$$A = R.I^2.t = R.\frac{q^2}{t^2}.t = R.\frac{q^2}{t}$$

Nếu mỗi xung điện kéo dài 1ms thì:

$$A = 10^6.\frac{10^{-20}}{10^{-3}} = 10^{-11}\text{J} \approx 0,6.10^8\text{eV} = 6.10^4\text{keV}$$

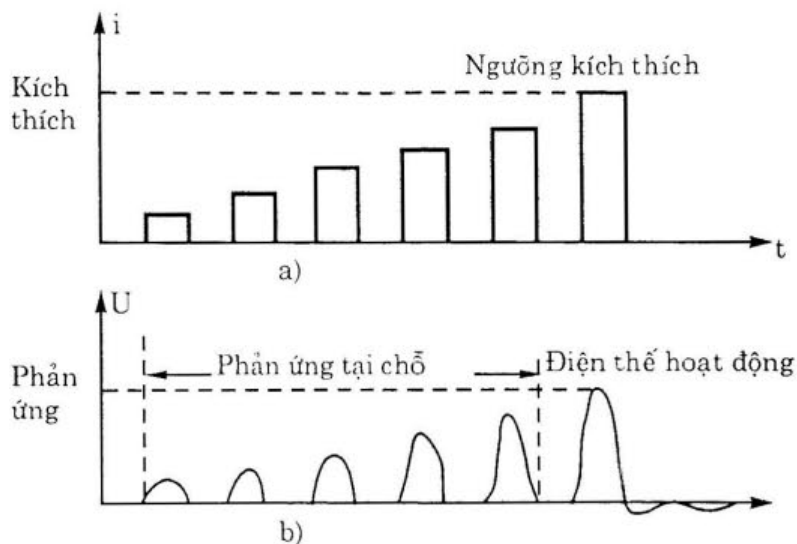
(vì $1\text{eV} = 1,6.10^{-19}\text{Joule}$).

Như vậy 10^{-11}J hay 6.10^4keV là năng lượng tối thiểu cần tác dụng vào cơ để cho nó bắt đầu phản ứng. Đối với cơ thần kinh, giá trị này nhỏ hơn, chỉ vào khoảng 6keV. Với tế bào thần kinh thị giác, chỉ cần một photon năng lượng khoảng 2eV 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 (ví dụ thông qua dây thần kinh đến vận động một cơ mà kích thích cơ đó).

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 điện thế có đặc tính là biên độ tăng dần theo cường độ của kích thích (hình 17.15a). 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 17.15b).



Hình 17.15

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 lan 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 cơ thần kinh (hay sợi cơ) trong dây thần kinh (hay bắp cơ) đều hoạt động.

17.4.2. Quan hệ giữa cường độ và thời gian kích thích

Dùng một máy phát xung có thể thay đổi được thời gian kéo dài của mỗi xung và cường độ của xung kích thích tác dụng vào cơ 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 cơ thần kinh (hay sợi cơ) đó ứng với những thời gian kéo dài khác nhau của xung, biểu diễn kết quả trên toạ độ vuông góc $I = I(t)$ ta có hình 17.16.

Từ hình 17.16 ta có khái niệm về các đại lượng sau:

a) Ngưỡng thời gian C

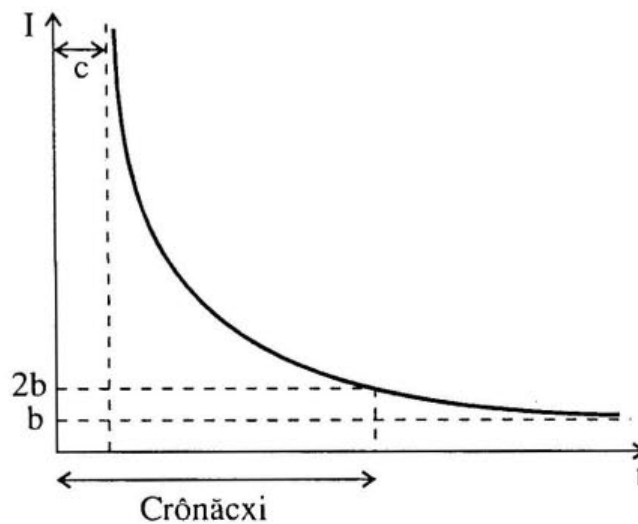
Đó là khoảng thời gian ngắn nhất mà xung điện phải kéo dài để có thể gây nên hưng phấn trên tế bào. Ở động vật có xương sống, giá trị C của tế bào thần kinh vào khoảng μs . Ta thấy rằng nếu thời gian kéo dài của xung điện ngắn hơn C thì dù xung điện có cường độ lớn đến đâu cũng không có khả năng gây nên trạng thái hưng phấn của cơ hay thần kinh.

b) Ngưỡng kích thích hay rêobazơ 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 thích nhỏ hơn b thì dù có kéo dài bao lâu xung điện cũng không thể gây hưng phấn trên cơ hay thần kinh.

c) Crônăcxi

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 được hưng phấn trên cơ hay thần kinh.



Hình 17.16

Theo hình 17.16 ta thấy khi $t \rightarrow \infty$ thì $I \rightarrow b$. 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:

d) 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).

e) Thời gian ủ, giai đoạn trơ

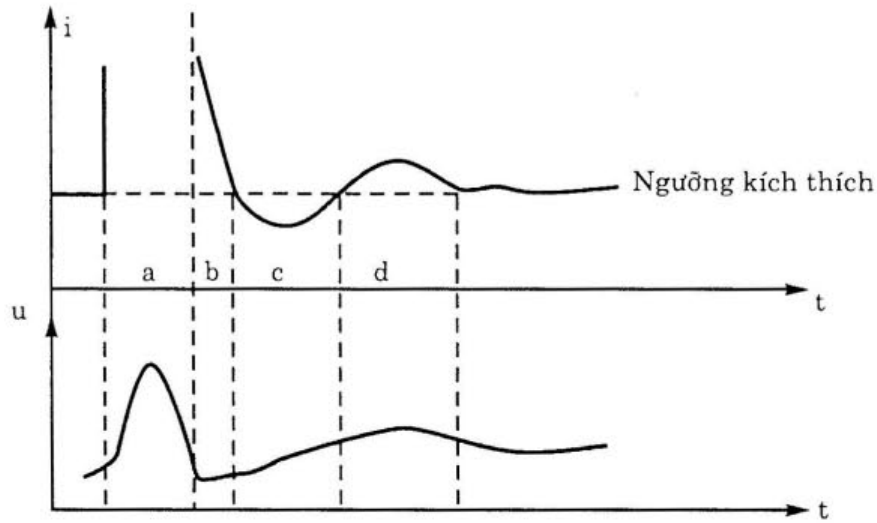
Đặc tính của cơ và thần kinh là khi bị kích thích chúng không phản ứng ngay lập tức mà chỉ sau đó một thời gian. Khoảng thời gian tính từ điểm nhận xung kích thích cho tới thời điểm bắt đầu xuất hiện điện thế hoạt động gọi là thời gian ủ. Mỗi loại tế bào có thời gian ủ khác nhau.

Năm 1953, tiến hành trên tơ thần kinh cô lập, Tasaki đã chứng minh rằng thời gian ủ τ phụ thuộc vào cường độ kích thích I như sau:

$$I = \left(1 + \frac{k}{\tau}\right).b$$

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 17.17) 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 một 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 ÷ 20 ms. 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 17.17. Ngưỡng kích thích ứng với 4 giai đoạn của điện thế hoạt động U của thần kinh hồng ếch.

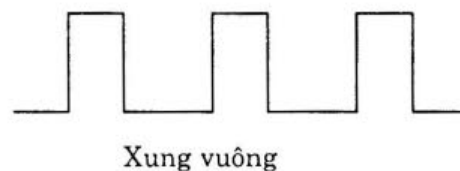
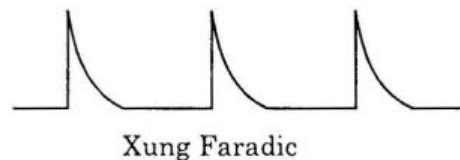
- a) Giai đoạn trơ tuyệt đối: $2 \div 3\text{ms}$.
- b) Giai đoạn trơ tương đối: $10 \div 20\text{ms}$.
- c) Giai đoạn siêu bình thường: $\sim 15\text{ms}$.
- d) Giai đoạn gần bình thường: $\sim 70\text{ms}$.

17.5. ĐẠI CƯƠNG VỀ TÁC DỤNG SINH VẬT CỦA DÒNG ĐIỆN VÀ ỨNG DỤNG CỦA DÒNG ĐIỆN TRONG ĐIỀU TRỊ

17.5.1. 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 hình vuông) (hình 17.18) với các tần số khác nhau và phân loại dòng điện theo tần số của nó như sau:



Hình 17.18

- Dòng điện hạ tần bao gồm dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều có tần số nhỏ hơn 1000Hz.

- Dòng điện trung tần là dòng điện thay đổi với tần số trong khoảng 1000Hz đến 300000Hz.

- Dòng điện cao tần là dòng điện xoay chiều với tần số trên 300000Hz. Trong loại này người ta phân biệt:

+ Sóng ngắn: bước sóng khoảng 10m, tần số khoảng 30MHz.

+ Sóng siêu ngắn: bước sóng 70cm, tần số khoảng 400MHz.

+ Sóng cực ngắn: bước sóng 10cm, tần số khoảng 2500MHz.

17.5.2 Các thông số điện của cơ thể

Việc nghiên cứu các thông số điện của tế bào và mô nhằm hai mục đích. 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 σ và điện trở R của nó. Giữa chúng có mối liên hệ đơn giản sau:

$$\sigma = \frac{1}{R}$$

Thông thường R được xác định qua công thức:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

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.

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 tùy 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 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 điện một chiều có giá trị khoảng $10^6 \div 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ hoặc cao hơn. Đối với hồng cầu giá trị này vào khoảng $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$.

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 hiệu điện thế nguồn điện bên ngoài, P là hiệu điện thế 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. 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 lũy 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 khá lớn và thường được xác định qua công thức điện dung của tụ điện phẳng:

$$C_0 = \frac{\epsilon \cdot S}{4 \cdot \pi \cdot d}$$

Trong đó ϵ là hằng số điện môi, S là diện tích bề mặt hai bản tụ điện, d là 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:

$$C_p = \frac{\int_0^t I \cdot dt}{R \cdot (I_0 - I_t)}$$

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 $0,1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ tới $10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ hoặc có thể lớn hơn. Giá trị cao nhất đo được là của các sợi dây cơ ở của bễ ($40 \mu\text{F}/\text{cm}^2$). Ở dây thần kinh giá trị đo được là $8 - 10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$.

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 các đối tượng sinh vật 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 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, được thể hiện bằng đường cong phụ thuộc điện trở vào tần số. Song trong một số trường hợp việc xác định cả đường cong cũng gặp khó khăn và mất nhiều thời gian, 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 tỷ số đó tương đối cố định khi mô hoặc tế bào ở trạng thái sinh lý bình thường.

Để đo điện trở trên các đối tượng sinh vật khác nhau chọn tần số 10^6Hz và 10^4Hz , từ đó xác định hệ số k:

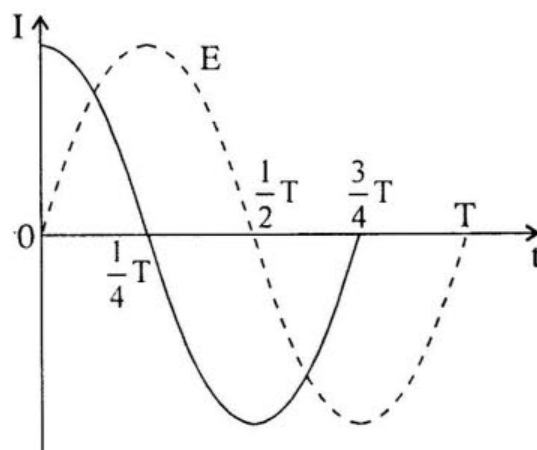
$$k = \frac{R_{10^4}}{R_{10^6}}$$

Vì 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. Ví 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 $2 \div 3$. 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 vật 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 kháng. Từ vật lý người ta biết rằng điện trở thuần hầu như không phụ thuộc vào tần số dòng điện đi qua, còn dung 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 và mô là kết quả của sự giảm điện 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 nghĩa là góc lệch pha bằng 0.



Hình 17.19

Khi dòng điện xoay chiều đi qua dung kháng thì cường độ dòng điện sẽ đạt giá trị cực đại khi giá trị của sức điện động xoay chiều bằng 0 (hình 17.19). 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.

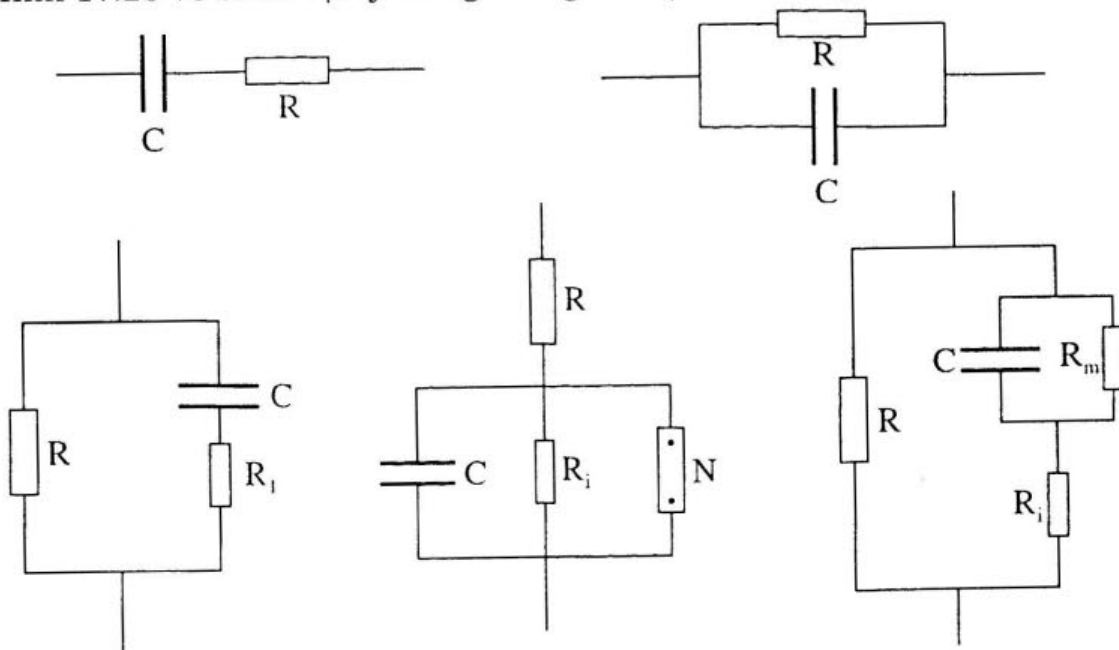
Ở các hệ sinh vật, người ta thấy đặc trưng bởi giá trị góc lệch pha rất lớn. Điều đó chứng tỏ rằng vai trò của điện dung trong các hệ này rất cao. Ví dụ ở tần số 10^3 Hz góc lệch pha của một số đối tượng thí nghiệm đo được như sau:

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 – điện dung, song điện dung không phải là điện dung tĩnh mà là điện dung phân cực. 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 dung 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 17.20 vẽ sơ đồ vật lý tương đương do một số nhà nghiên cứu đề xuất.



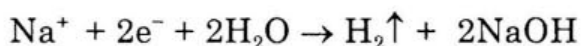
Hình 17.20.

R: Điện trở thuần của gian bào; R_m : Điện trở của màng;
 R_i : Điện trở thuần phần nội bào; C: Điện dung màng;
 N: Đèn phóng điện.

17.5.3. 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 ở các cực. Chẳng hạn với dung dịch NaCl, tại cực âm ta thấy xuất hiện hydro và NaOH theo phản ứng sau:

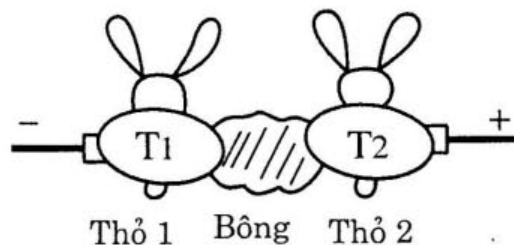


Người ta gọi đó là tác dụng điện hoá của dòng điện một chiều, được ứng dụng trong điện giải liệu pháp để điều trị bệnh. Trong phương pháp này người ta đặt các điện cực trực tiếp vào các vị trí cần điều trị. Bằng cách chọn những điện cực phân cực hoặc không phân cực khác nhau có thể tạo nên tại nơi đặt các điện cực các loại acid, bazơ hay những phức hợp hoá chất thích hợp để điều trị các bệnh tương ứng. Ví 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 tùy 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 dẫn điện của các ion, do đó tùy theo thành phần dung dịch tẩm ở điện cực và tùy theo dấu của các ion mà có thể đưa chúng vào qua da.

Thí nghiệm Leduc (hình 17.21) 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 T₁ chết, nếu tẩm cyanua kali (ion cyanua mang điện âm) thì thỏ T₂ chết.



Hình 17.21

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 những ion dùng để điều trị thường có kích thước tương đối lớn (ví dụ ion salixylat) 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).

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 ví dụ đưa ion Ca^{2+} vào trung ương thần kinh bằng cách tắm dung dịch CaCl_2 1% vào 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 dẫn 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 chuyển động tới hàng chục mA vào cơ thể và kéo dài nhiều phút.

17.5.4. 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 80Hz. 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 gập thì sự lưu thông máu cũng được tăng cường, do đó sự dinh dưỡng cơ cũng được phục hồi.

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 5000Hz 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 gập nhân tạo bằng kích thích điện xuyên qua sọ. Đây là một phương pháp điều trị rất hiệu nghiệm đối với một số

bệnh tâm 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 nhĩ thất. Trong trường hợp đau tim trường diễn, ngày nay bệnh nhân có thể mang theo trên người một máy bảo đảm nhịp tim thường xuyên; đó là máy pace maker, một loại 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.

17.5.5. 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.

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 tỷ lệ 9/1. Với sóng siêu ngắn tỷ lệ này là 1/4 hoặc 1/3, tác dụng nhiệt sâu hơn nhưng chưa đến màng xương. Với sóng cực ngắn, tỷ 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 200m 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 mperere 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 có 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.

17.5.6. Nguy hiểm do điện, đề phòng tai nạn do điện

17.5.6.1. 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 những 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 trên đoạn cơ thể này mà không xuất hiện ở đoạn cơ thể khác. Mức độ bỏng còn phụ thuộc vào độ ẩm của 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 ngoài 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 có cường độ cao. Trong các tai nạn do điện một chiều và cường độ dòng điện tới hàng chục Ampere, người bị điện giật có một cảm giác đau đớn đột ngột, có thể bị choáng thậm chí có thể ngắt 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 50Hz 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 dầu 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 hai 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 do 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.

17.5.6.2. Đề 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 đề 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 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 đề phòng và giảm bớt mức độ nguy hiểm của tai 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 rất 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 giày, dép: cần chú ý rằng giày dép bằng da cũng dẫn

điện, nhất là khi da ẩm ướt, hoặc giày dép có đóng nhiều đinh kim loại. Vì vậy, để tăng điện trở của giày dép cần giữ khô và không đóng đinh kim loại vào đế. Giày 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 dày 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 bị xâm phạm.

- Tăng cường giáo dục rộng rãi ý thức để phòng tai nạn do điện bằng các hình thức văn hoá quần chúng, thông tin tuyên truyền. Chú ý đặt các bảng tín hiệu báo 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.

PHẦN THỨ TƯ

QUANG HỌC

Quang học là môn học nghiên cứu về ánh sáng.

Phần này của giáo trình sẽ nghiên cứu các hiện tượng quang học, nhằm hiểu rõ bản chất của ánh sáng, đồng thời giáo trình sẽ cung cấp những kiến thức cần thiết về việc ứng dụng những định luật quang học trong kỹ thuật và đời sống.

Chương 18

CƠ SỞ CỦA QUANG HÌNH HỌC, CÁC ĐẠI LƯỢNG TRẮC QUANG, DỤNG CỤ QUANG HỌC

MỤC TIÊU

1. Trình bày được các định luật cơ bản của quang hình: định luật phản xạ và khúc xạ ánh sáng, định lý Malus.
2. Nắm được định nghĩa, đơn vị của các đại lượng trắc quang: quang thông, độ sáng, độ rọi.
3. Dựng được ảnh của vật qua thấu kính hội tụ, thấu kính phân kỳ, qua kính lúp và kính hiển vi.
4. Nắm được phương pháp hiển vi và ứng dụng.

18.1. CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN CỦA QUANG HÌNH HỌC

Quang hình học dựa trên bốn định luật cơ bản.

18.1.1. Định luật về sự truyền thẳng của ánh sáng

Phát biểu: Trong một môi trường trong suốt, đồng tính và đẳng hướng, ánh sáng truyền theo đường thẳng.

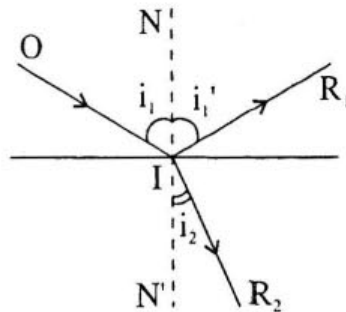
Khi nghiên cứu hiện tượng nhiễu xạ ta sẽ thấy định luật này có giới hạn ứng dụng của nó. Khi ánh sáng truyền qua những lỗ thật nhỏ hoặc gặp những chướng ngại vật kích thước nhỏ vào cỡ bước sóng ánh sáng thì định luật trên không còn đúng nữa.

18.1.2. Định luật về tác dụng độc lập của các tia sáng

Phát biểu: *Tác dụng của các chùm sáng khác nhau thì độc lập với nhau. Nghĩa là, tác dụng của một chùm sáng này không phụ thuộc vào sự có mặt hay không của các chùm sáng khác.*

18.1.3. Hai định luật của Descartes

Thực nghiệm xác nhận rằng, khi một tia sáng OI tới mặt phân cách hai môi trường trong suốt, đồng tính và đẳng hướng thì tia sáng bị tách thành hai tia: tia phản xạ IR₁ và tia khúc xạ IR₂ (hình 18.1).



Hình 18.1. Định luật phản xạ và định luật khúc xạ.

Chúng tuân theo hai định luật sau đây:

18.1.3.1. Định luật Descartes thứ nhất – định luật phản xạ

Tia phản xạ nằm trong mặt phẳng tới (tức là mặt phẳng chứa tia tới và pháp tuyến IN) và góc tới bằng góc phản xạ.

$$i_1 = i_1' \quad (18.1)$$

18.1.3.2. Định luật Descartes thứ hai – định luật khúc xạ

Tia khúc xạ nằm trong mặt phẳng tới và tỷ số giữa sin góc tới và sin góc khúc xạ là một số không đổi.

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2-1} \quad (18.2)$$

n_{2-1} là một số không đổi, phụ thuộc vào bản chất của hai môi trường, được gọi là chiết suất tỷ đối của môi trường 2 đối với môi trường 1.

Nếu $n_{2-1} > 1$ thì $i_2 < i_1$, tia khúc xạ gập lại gần pháp tuyến và môi trường 2 được gọi là chiết quang hơn môi trường 1. Ngược lại, nếu $n_{2-1} < 1$ thì $i_2 > i_1$, tia khúc xạ lệch xa pháp tuyến hơn và môi trường 2 kém chiết quang hơn môi trường 1.

18.1.3.3. Chiết suất tỷ đối và chiết suất tuyệt đối

Nếu gọi v_1 và v_2 là vận tốc ánh sáng trong môi trường 1 và 2, từ thực nghiệm chứng tỏ:

$$n_{2-1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (18.3)$$

Ngoài chiết suất tỷ đối, người ta còn định nghĩa chiết suất tuyệt đối của một môi trường như sau:

Chiết suất tuyệt đối của một môi trường là chiết suất tỷ đối của môi trường đó đối với chân không.

Nếu gọi v là vận tốc ánh sáng trong môi trường, c là vận tốc ánh sáng trong chân không và n là chiết suất tuyệt đối của môi trường thì căn cứ vào (18.3) ta có:

$$n = \frac{c}{v} \quad (18.4)$$

Đối với không khí $v \approx c$ nên $n \approx 1$.

Ta tìm mối liên hệ giữa chiết suất tỷ đối của hai môi trường và chiết suất tuyệt đối của chúng. Từ (18.3) có thể viết:

$$n_{2-1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c}{v_2} : \frac{c}{v_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad (18.5)$$

Nếu môi trường thứ nhất là không khí thì $n_1 \approx 1$ và $n_{2-1} \approx n_2$. Do đó có thể coi chiết suất tuyệt đối của một môi trường là chiết suất tỷ đối của môi trường đó đối với không khí.

18.1.3.4. Dạng đối xứng của định luật Descartes

Từ (18.2) và (18.5) có thể viết:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2-1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Hay:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2 \quad (18.6)$$

Biểu thức (18.6) là dạng đối xứng của định luật Descartes.

18.1.3.5. Hiện tượng phản xạ toàn phần

Hai điều kiện để hiện tượng phản xạ toàn phần xảy ra:

– Ánh sáng phải đi từ môi trường chiết quang mạnh sang môi trường chiết quang kém hơn, ví dụ đi từ nước ra không khí. Khi đó ta có:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

Ở đây vì $n_1 > n_2$ nên $i_1 < i_2$, tức là góc tới nhỏ hơn góc khúc xạ. Khi tăng góc tới thì góc khúc xạ cũng tăng, nhưng luôn luôn có $i_1 < i_2$. Khi góc khúc xạ $i_2 = 90^\circ$ thì góc tới đến một giá trị gọi là góc tới tới hạn (i_g).

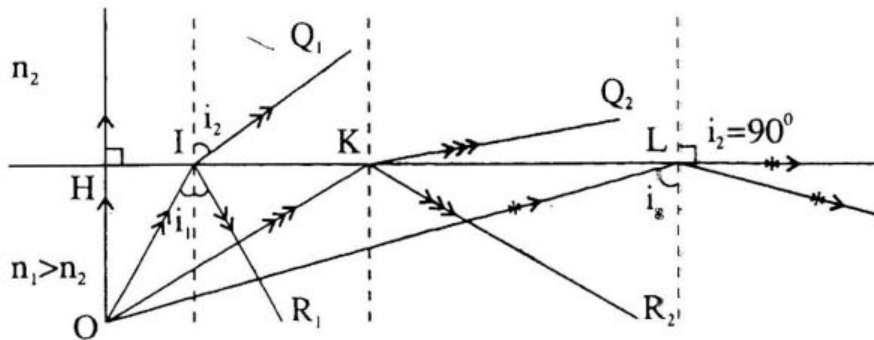
– Góc tới phải lớn hơn (hay tối thiểu là bằng) góc tới tới hạn, tức là:

$$i \geq i_g$$

Khi đó thì toàn bộ tia sáng đi tới mặt phân cách hai môi trường sẽ phản xạ trở lại môi trường thứ nhất. Hiện tượng này gọi là phản xạ toàn phần. Lúc đó ta có:

$$n_1 \cdot \sin i_g = n_2 \cdot \sin 90^\circ$$

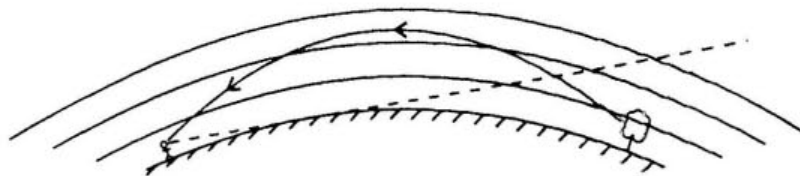
$$i_g = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (18.7)$$



Hình 18.2. Hiện tượng phản xạ toàn phần.

18.1.3.6. Ứng dụng của hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng

– Dựa vào hiện tượng khúc xạ và phản xạ toàn phần có thể giải thích được hiện tượng các ảo ảnh quan sát được ở các vùng sa mạc hay đồng cỏ (hình 18.3). Nhờ sự uốn cong của tia sáng nên một số vật ở khuất xa dưới đường chân trời sẽ được nhìn thấy và hình như ở gần người quan sát hơn.

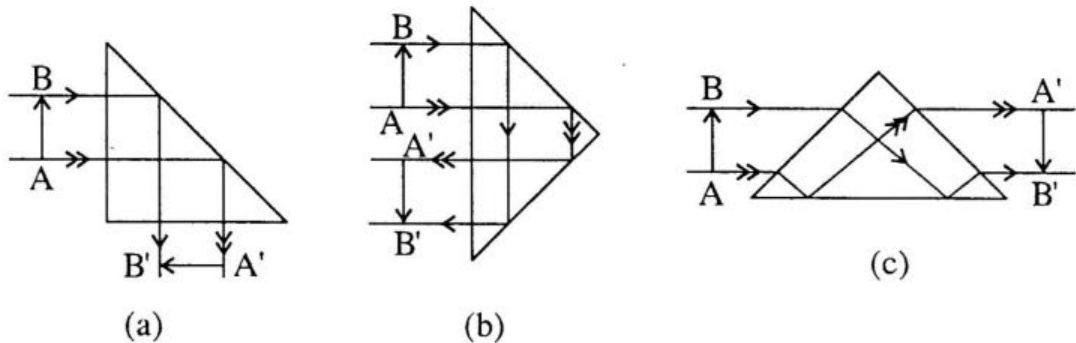


Hình 18.3. Sự tạo thành ảo ảnh.

– Dựa vào tính chất khi gương phẳng quay một góc α thì tia phản xạ quay một góc 2α , người ta gắn một gương phẳng vào khung treo của một điện kế. Khi

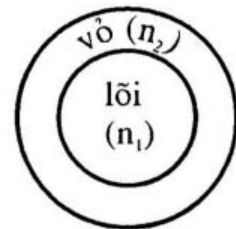
có dòng điện một chiều chạy trong khung dây, khung dây sẽ quay kéo theo cả gương cùng quay. Chiếu một chùm tia sáng vào gương, khi gương quay thì tia phản xạ sẽ quay một góc lớn gấp đôi, tức là đã tăng độ nhạy của điện kế. Đó là nguyên tắc cấu tạo của điện kế gương.

– Hiện tượng phản xạ toàn phần được ứng dụng để đổi chiều tia sáng trong các dụng cụ quang học. Chiết suất của thủy tinh vào cỡ 1,5. Vì vậy góc tới tới hạn trên biên giới thủy tinh – không khí cỡ $i_g \approx 42^\circ$, khi góc tới bằng 45° sẽ luôn luôn xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần. Hình 18.4 biểu diễn các lăng kính phản xạ toàn phần.



Hình 18.4. Lăng kính phản xạ toàn phần.

Lăng kính phản xạ toàn phần được ứng dụng nhiều trong các dụng cụ quang học như kính tiềm vọng, kính hiển vi, khúc xạ kế (xem thêm trong tài liệu thực tập). Ngày nay hiện tượng phản xạ toàn phần còn được ứng dụng trong cáp sợi quang (O.F = Optical Fibers). Sợi quang học cấu tạo gồm hai lớp (xem hình 18.5), lõi có chiết suất n_1 , vỏ có chiết suất n_2 , với điều kiện $n_1 > n_2$. Khi cho ánh



Hình 18.5. Sợi quang học (O.F).

sáng (tia laser) đi vào một đầu sợi quang (phần lõi), ánh sáng sẽ phản xạ toàn phần nhiều lần trong lõi mà không bị lọt ra lớp vỏ, như vậy không mất mát (hay mất không đáng kể) năng lượng và sẽ đi đến tận đầu kia của sợi quang.

– Dựa vào tính chất chiết suất (chỉ số khúc xạ) của các chất phụ thuộc vào bước sóng ánh sáng chiếu vào nó, người ta có thể giải thích hiện tượng tán sắc ánh sáng (ví dụ cầu vồng). Dựa trên nguyên lý này, đã chế tạo ra các dụng cụ phân tích ánh sáng đa sắc (ánh sáng tự nhiên) thành các ánh sáng đơn sắc, ví dụ như các lăng kính (bằng thủy tinh hay thạch anh) dùng trong các máy quang phổ.

Chiết suất một chất phụ thuộc vào bản chất của chất đó, vào bước sóng ánh sáng chiếu vào nó, vào nhiệt độ khi đo, và với một số dung dịch, còn phụ thuộc vào nồng độ của chất tan (xem thêm trong tài liệu thực tập). Vì vậy việc xác định chỉ số khúc xạ (chiết suất) của một chất được dùng để phân tích định tính và có thể cả định lượng chất đó.

18.2. ĐỊNH LÝ MALUS

Còn những cách phát biểu tương đương của định luật Descartes, đó là nguyên lý Fermat và định lý Malus. Trong giáo trình này chỉ trình bày định lý Malus.

Để hiểu rõ nội dung của định lý này, trước hết ta hãy xét các khái niệm về quang lộ và mặt sóng hình học.

18.2.1. Quang lộ

Định nghĩa: *Quang lộ của ánh sáng trên đoạn đường AB trong một môi trường đồng nhất là một đại lượng đo bằng tích số giữa chiết suất n của môi trường đó với độ dài l của đoạn đường AB mà ánh sáng đi được trong môi trường đó.*

Ký hiệu quang lộ bằng chữ L hay $[AB]$, theo định nghĩa trên ta có:

$$L = [AB] = n.l \quad (18.8)$$

Nếu ánh sáng đi theo đoạn đường AB qua các môi trường có chiết suất khác nhau: n_1, n_2, \dots, n_k , ứng với các đoạn đường l_1, l_2, \dots, l_k , thì quang lộ của ánh sáng trên cả đoạn đường AB sẽ bằng:

$$L = [AB] = [AM] + [MN] + \dots + [KB] = n_1 l_1 + n_2 l_2 + \dots + n_k l_k$$
$$L = [AB] = \sum_{i=1}^k n_i \cdot l_i \quad (18.9)$$

Nếu ánh sáng đi trong môi trường không đồng nhất (chiết suất thay đổi liên tục khi đi từ điểm này đến điểm khác), ta tưởng tượng chia đoạn đường AB ra thành những đoạn đường nguyên tố dl , sao cho chiết suất n của môi trường trong đoạn đường dl này xem như không đổi. Khi đó, theo (18.8) quang lộ nguyên tố dL trên đoạn đường dl của ánh sáng bằng:

$$dL = n \cdot dl$$

Vậy quang lộ của ánh sáng trên cả đoạn đường AB sẽ là:

$$L = [AB] = \int_A^B n \cdot dl \quad (18.10)$$

Để thấy rõ ý nghĩa của quang lộ, ta thay giá trị $n = \frac{c}{v}$ vào (18.10):

$$L = \int_A^B n \cdot dl = \int_A^B \frac{c}{v} \cdot dl = c \cdot \int_A^B \frac{dl}{v}$$

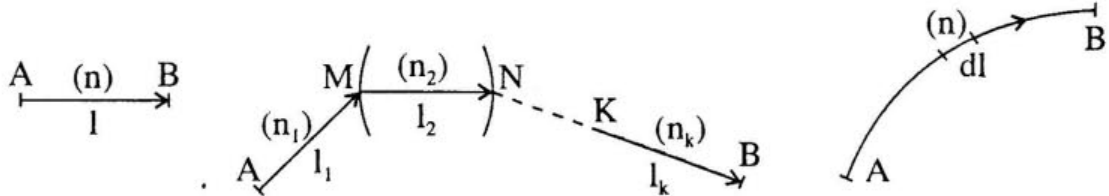
Mà $\frac{dl}{v} = d\tau$ là khoảng thời gian ánh sáng đi hết đoạn đường dl , vậy:

$$L = c \cdot \int_A^B \frac{dl}{v} = c \cdot \int_0^\tau d\tau$$

Do đó:

$$L = c \cdot \tau \quad (18.11)$$

Từ (18.11) rút ra ý nghĩa (và cũng là một cách định nghĩa khác) của quang lộ như sau: *Quang lộ L của ánh sáng đi trên đoạn đường AB qua một hay nhiều môi trường là đoạn đường mà ánh sáng sẽ đi được, nếu như nó truyền qua chân không trong cùng khoảng thời gian τ mà ánh sáng đã dùng để đi qua một hay nhiều môi trường đó.*

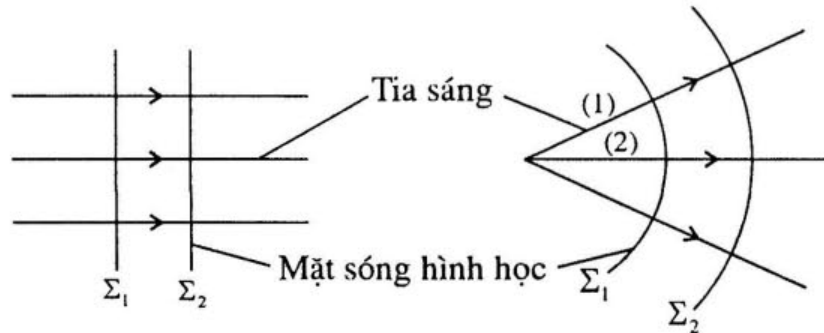


Hình 18.6. Quang lộ ánh sáng trong các môi trường.

18.2.2. Mặt sóng hình học

Mặt sóng hình học của một chùm tia sáng là tập hợp những điểm mà ánh sáng của chùm tia đó truyền đến ở cùng một thời điểm.

Về hình dạng, nếu chùm tia sáng song song (nguồn sáng ở xa vô cực) thì mặt sóng hình học là mặt phẳng. Nếu chùm tia sáng hội tụ hay phân kỳ (nguồn sáng ở gần) thì mặt sóng là mặt cầu.



Hình 18.7. Mặt sóng hình học.

18.2.3. Định lý Malus

18.2.3.1. Phát biểu

Quang lộ của các tia sáng giữa cùng hai mặt sóng hình học đều bằng nhau.

Chứng minh: giả sử ở thời điểm t các tia sáng truyền đến mặt Σ_1 nào đó, và ở thời điểm $t' = t + \tau$ các tia sáng lại truyền đến mặt Σ_2 . Theo định nghĩa thì Σ_1 và Σ_2 chính là các mặt sóng hình học tại các thời điểm đó. Ta thấy khoảng thời gian để các tia sáng truyền từ Σ_1 đến Σ_2 là đều bằng τ .

Mặt khác, theo (18.11), ta có:

L_1 là quang lộ của tia sáng (1) (hình 18.7) đi từ Σ_1 đến Σ_2 và bằng:

$$L_1 = c \cdot \tau$$

L_2 là quang lộ của tia sáng (2) đi từ Σ_1 đến Σ_2 và cũng bằng:

$$L_2 = c \cdot \tau$$

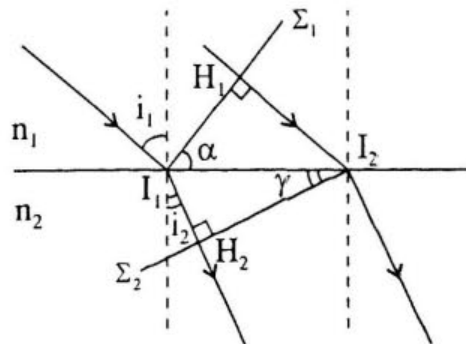
Do đó: $L_1 = L_2$

18.2.3.2. Áp dụng định lý Malus để chứng minh định luật khúc xạ ánh sáng

Giả sử có một chùm tia sáng song song chiếu tới mặt phân cách giữa hai môi trường (1) và (2), có chiết suất lần lượt là n_1 và n_2 . Qua mặt phân cách đó ta được chùm tia khúc xạ song song.

Vẽ mặt Σ_1 vuông góc với chùm tia tới song song tại I_1 và mặt Σ_2 vuông góc với chùm tia khúc xạ song song tại I_2 . Ta thấy Σ_1 và Σ_2 lần lượt là các mặt sóng hình học của chùm tia tới và tia khúc xạ. Theo định lý Malus ta có:

$$[I_2 H_1] = [I_1 H_2]$$



Hình 18.8. Chứng minh định luật khúc xạ ánh sáng.

Mặt khác:

$$[I_2 H_1] = n_1 \cdot I_2 \cdot H_1 = n_1 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \alpha$$

và:

$$[I_1 H_2] = n_2 \cdot I_1 \cdot H_2 = n_2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \gamma$$

Vậy suy ra:

$$n_1 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \sin \gamma$$

Hay:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \gamma$$

Mà $\alpha = i_1$ và $\gamma = i_2$ (góc có các cạnh tương ứng vuông góc), nên:

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$$

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2-1} \quad (18.12)$$

Biểu thức (18.12) chính là biểu thức của định luật khúc xạ ánh sáng. Qua đây ta thấy sự tương đương giữa định lý Malus và các định luật của Descartes.

18.3. CÁC ĐẠI LƯỢNG TRẮC QUANG

Các đại lượng trắc quang là các đại lượng dùng trong kỹ thuật đo lường ánh sáng. Sau đây sẽ trình bày một số các đại lượng đó.

18.3.1. Quang thông

Ta đã biết ánh sáng tự nhiên (Mặt Trời, đèn...) bao gồm các ánh sáng đơn sắc có bước sóng từ 400nm đến 760nm khi tác dụng vào mắt sẽ gây ra cảm giác sáng. Tuy nhiên mức độ nhạy cảm của mắt đối với các ánh sáng đơn sắc khác nhau cũng khác nhau. Thực nghiệm chứng tỏ mắt nhạy cảm nhất đối với ánh sáng màu vàng lục có bước sóng khoảng 550nm. Đối với ánh sáng này, người ta coi như toàn bộ năng lượng của chùm sáng đều gây ra cảm giác sáng. Đối với các ánh sáng đơn sắc khác thì chỉ có một phần năng lượng gây ra cảm giác sáng. Để đặc trưng cho phần năng lượng gây ra cảm giác sáng, người ta đưa ra khái niệm quang thông, được định nghĩa như sau:

Quang thông do một chùm sáng gửi tới diện tích dS là một đại lượng có trị số bằng phần năng lượng gây ra cảm giác sáng gửi tới dS trong một đơn vị thời gian.

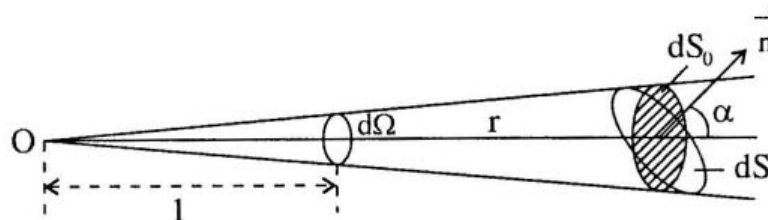
Ngoài quang thông gửi tới diện tích dS , người ta còn định nghĩa quang thông toàn phần của một nguồn sáng. Đó là phần năng lượng gây ra cảm giác sáng do nguồn phát ra theo mọi phương trong một đơn vị thời gian.

18.3.2. Độ sáng

Trước khi định nghĩa độ sáng ta xét khái niệm góc khối.

18.3.2.1. Góc khối

Góc khối nhìn thấy diện tích dS từ điểm O là phần không gian giới hạn bởi hình nón có đỉnh tại O và có các đường sinh tựa trên chu vi của dS (hình 18.9).



Hình 18.9. Góc khối.

Trị số của góc khối được đo bằng phần diện tích của mặt cầu có bán kính bằng đơn vị bị giới hạn trong hình nón. Theo hệ SI và bảng đơn vị hợp pháp, đơn vị góc khối là steradian (viết tắt là sr). Như vậy góc khối toàn phần sẽ là 4π steradian.

Ta tìm liên hệ giữa góc khối $d\Omega$ và diện tích dS . Vẽ mặt cầu tâm O và bán kính bằng đơn vị (hình 18.9). Giá trị của góc khối $d\Omega$ đúng bằng phần diện tích mặt cầu giới hạn trong hình nón. Gọi r là khoảng cách từ O đến dS , α là góc giữa pháp tuyến \vec{n} của dS và r , dS_0 là hình chiếu của dS lên mặt phẳng vuông góc với r , ta có:

$$\frac{d\Omega}{dS_0} = \left(\frac{1}{r}\right)^2$$

Biết $dS_0 = dS \cdot \cos\alpha$, rút ra:

$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos\alpha}{r^2} \tag{18.13}$$

18.3.2.2. Độ sáng

Độ sáng là đại lượng đặc trưng cho khả năng phát sáng của nguồn theo một phương. Độ sáng được định nghĩa như sau: *Độ sáng của nguồn theo một phương nào đó là một đại lượng có giá trị bằng quang thông của nguồn gửi đi trong một đơn vị góc khối theo phương đó.*

Gọi I là độ sáng, $d\phi$ là quang thông gửi đi trong góc khối $d\Omega$, ta có:

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega} \tag{18.14}$$

Nói chung độ sáng I của nguồn thay đổi theo phương phát sáng. Nếu độ sáng I theo mọi phương đều như nhau thì nguồn gọi là nguồn đẳng hướng. Với nguồn đẳng hướng, quang thông toàn phần có giá trị là:

$$\phi = \int I \cdot d\Omega = I \cdot \int d\Omega = 4\pi I \tag{18.15}$$

Trong đó: $\int d\Omega = 4\pi$ chính là góc khối toàn phần.

18.3.2.3. Đơn vị

Trong hệ SI, đơn vị độ sáng là candela (viết tắt là cd). Đó là một trong 6 đơn vị cơ bản của hệ SI. Theo định nghĩa: *Candela là độ sáng theo phương vuông góc của một diện tích nhỏ, có diện tích $1/600.000$ mét vuông, bức xạ như một vật bức xạ toàn phần, ở nhiệt độ đông đặc của platin dưới áp suất 101325 Newton trên mét vuông.*

Từ đơn vị của độ sáng có thể suy ra đơn vị của quang thông. Theo công thức (18.14), ta có:

$$d\phi = I \cdot d\Omega \quad (18.16)$$

Nếu $I = 1$ candela, $d\Omega = 1$ steradian thì:

$$d\phi = 1\text{cd} \cdot 1\text{sr} = 1\text{lumen}$$

Như vậy, lumen (viết tắt là lm) là quang thông của một nguồn sáng điểm đẳng hướng có độ sáng 1 candela gửi đi trong góc khối 1steradian.

18.3.3. Độ rọi

Quang thông và độ sáng là hai đại lượng đặc trưng cho nguồn sáng. Bây giờ, ta sẽ nghiên cứu độ rọi. Đó là một đại lượng đặc trưng cho vật được chiếu sáng.

18.3.3.1. Định nghĩa

Xét diện tích được rọi sáng dS . Gọi quang thông toàn phần gửi tới dS là $d\phi$. Người ta định nghĩa độ rọi của diện tích dS là lượng:

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (18.17)$$

Vậy: *Độ rọi E của một mặt nào đó là một đại lượng có giá trị bằng quang thông gửi tới một đơn vị diện tích của mặt đó.*

18.3.3.2. Độ rọi gây bởi nguồn điểm

Xét diện tích dS được rọi sáng bởi nguồn điểm O (hình 18.9) có độ sáng là I. Quang thông gửi tới dS là:

$$d\phi = I \cdot d\Omega = \frac{I \cdot dS \cdot \cos \alpha}{r^2}$$

Vậy độ rọi của diện tích dS là:

$$E = \frac{d\phi}{dS} = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad (18.18)$$

Như vậy, khi dùng nguồn sáng điểm, độ rọi của mặt được chiếu sáng tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách từ mặt ấy đến nguồn.

18.3.3.3. Đơn vị

Từ (18.17) ta thấy, nếu $d\phi = 1$ lumen, $dS = 1\text{m}^2$, thì $E = 1\text{lm}/\text{m}^2$. Như vậy đơn vị của độ rọi là lumen/m^2 , được gọi là lux. Vậy, có thể định nghĩa: *Lux (viết tắt là lx) là độ rọi của một mặt mà cứ 1m^2 của mặt đó nhận được một quang thông là một lumen.*

Bảng dưới đây cho ta độ rọi trong một số trường hợp:

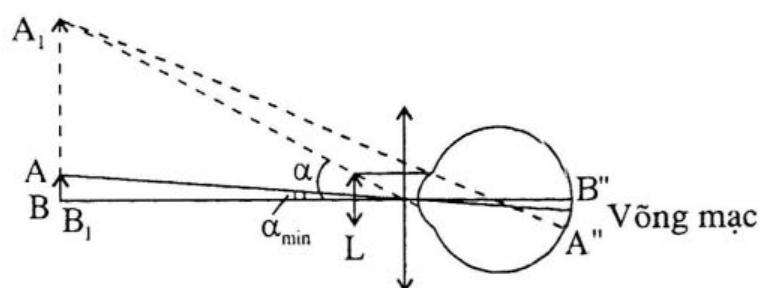
Nơi và điều kiện rọi sáng	Độ rọi (lx)
Ngoài trời ngày râm	1000
Trong phòng ban ngày	100
Đọc sách	30 ÷ 50
Từ mặt trăng rằm gửi tới	0,2
Từ bầu trời đêm không trăng	0,0003

18.4. DỤNG CỤ QUANG HỌC

Trong phần này của giáo trình chỉ trình bày về phương pháp hiển vi. Như vậy sinh viên cần phải đọc lại những nội dung đã có trong chương trình phổ thông như: gương phẳng, gương cầu, thấu kính, kính lúp, kính hiển vi.

Khi nghiên cứu, quan sát, đo đạc với góc phân ly tối thiểu của mắt bình thường là $\alpha_{\min} = 1$ phút. Ứng với giá trị của góc này, ở khoảng cách nhìn thuận lợi $l_0 = 25$ cm, còn phân biệt được 2 điểm A, B có khoảng cách $d = 7,5 \cdot 10^{-5}$ 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 sẽ không phân ly được A và B. Muốn nhìn được vật có kích thước quá bé (cỡ μm) phải dùng dụng cụ hỗ trợ cho mắt. Tác dụng của dụng cụ hỗ 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 ly của mắt.

Ví dụ, một vật AB có kích thước khá bé, đặt cách mắt một khoảng $l_0 = 25\text{cm}$ thì mắt không phân ly được A, B. 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 nằm ở khoảng cách $l_0 = 25\text{cm}$ (hình 18.10).



Hình 18.10. Nhìn vật với dụng cụ hỗ trợ mắt.

Các dụng cụ hỗ trợ cho mắt trong nghiên cứu y sinh học là các loại kính hiển vi quang học và kính hiển vi điện tử. Trước khi nghiên cứu về kính hiển vi, ta hãy xét khái niệm về năng suất phân ly của dụng cụ quang học.

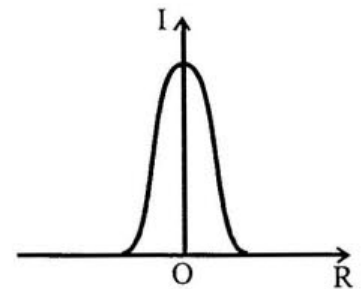
18.4.1. Năng suất phân ly của dụng cụ quang học

18.4.1.1. Định nghĩa

Năng suất phân ly của một dụng cụ quang học là một đại lượng cho biết khả năng phân biệt những chi tiết nhỏ trên vật quan sát.

Trường hợp vật quan sát ở gần, năng suất phân ly đo được bằng nghịch đảo của khoảng cách bé nhất giữa hai điểm mà ta có thể phân biệt được khi nhìn qua dụng cụ quang học. Còn vật ở xa, năng suất phân ly đo được bằng nghịch đảo của góc nhìn bé nhất giữa hai phương đến hai điểm mà mắt có thể phân biệt được khi nhìn qua dụng cụ quang học.

Theo quang hình lý thuyết, thì ảnh của một điểm qua quang hệ lý tưởng cũng phải là một điểm. Nhưng thực tế, chùm tia sáng đi từ điểm đó đến kính vật đều bị giới hạn bởi lá chắn (hay bởi khung hình tròn mang vật kính). Do hiện tượng nhiễu xạ qua một lỗ tròn (sẽ xét kỹ trong chương 21. Nhiễu xạ ánh sáng) nên ảnh của một điểm qua kính vật không phải là một điểm nữa, mà là một hệ vòng tròn nhiễu xạ (sáng, tối xen kẽ và đồng tâm). Đồ thị phân bố cường độ sáng của cực đại nhiễu xạ theo bán kính cho bởi hình 18.11 (ở đây bỏ qua các cực đại phụ).

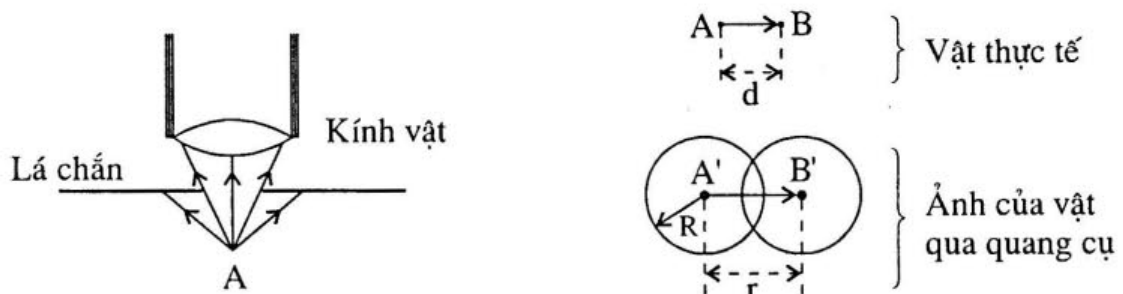


Hình 18.11. Cường độ sáng trong ảnh của một điểm.

Giả sử có hai điểm A và B, ảnh của nó qua quang cụ là hai hình nhiễu xạ có tâm là A', B' (hình 18.12). Gọi bán kính vòng tròn nhiễu xạ đầu tiên là R, khoảng cách giữa hai tâm A', B' của hai hình nhiễu xạ là r. Theo tiêu chuẩn Rayleigh: *Hai nguồn điểm vật có cường độ sáng bằng nhau, có ảnh qua vật kính còn phân biệt được, nếu bán kính của vòng tròn nhiễu xạ thứ nhất của ảnh này đi qua tâm chấm sáng của ảnh kia.*

Tức là:

$$r \geq R \quad (18.19)$$



Hình 18.12. Quan sát vật bằng quang cụ.

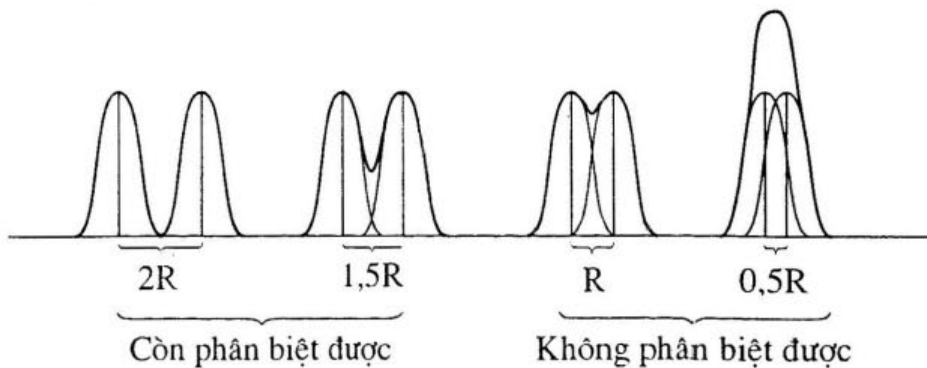
Gọi d là khoảng cách giữa hai điểm sáng mà mắt còn phân biệt được (nếu quan sát các vật ở xa thì là góc trông α). Năng suất phân ly được định nghĩa như sau:

Năng suất phân ly S của một dụng cụ quang học là một đại lượng có trị số bằng nghịch đảo của khoảng cách d_{\min} giữa hai điểm sáng mà mắt còn phân biệt được qua quang cụ (đối với kính nhìn xa, kính thiên văn thì đo bằng nghịch đảo của góc trông α_{\min} từ mắt tới hai điểm).

$$S = \frac{1}{d_{\min}} \text{ hay } S = \frac{1}{\alpha_{\min}} \quad (18.20)$$

Ta thấy khi $d = d_{\min}$ là ứng với $r = R$.

Rõ ràng nếu d hay α càng nhỏ thì năng suất phân ly càng lớn và dụng cụ quang học đó càng tốt.



Hình 18.13. Đồ thị phân bố cường độ sáng tổng hợp của hai vết sáng.

18.4.1.2. Năng suất phân ly của một vài dụng cụ quang học

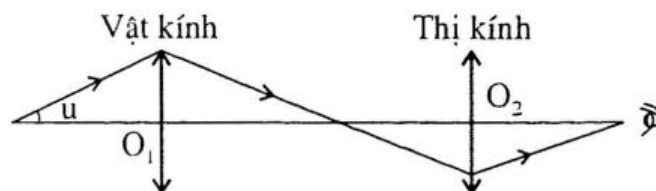
Đối với kính hiển vi, người ta chứng minh được năng suất phân ly bằng:

$$S = \frac{n \cdot \sin u}{0,61 \cdot \lambda} \quad (18.21)$$

Trong đó: n là chiết suất môi trường đặt vật quan sát.

u là góc nghiêng lớn nhất của chùm sáng chiếu vào vật kính.

λ là bước sóng của ánh sáng.



Hình 18.14. Năng suất phân ly của kính hiển vi.

Đối với kính thiên văn người ta chứng minh được:

$$S = \frac{1}{\alpha_{\min}} = \frac{d}{1,22} \quad (18.22)$$

Trong đó: d là đường kính của vật kính.

18.4.2. Kính hiển vi quang học

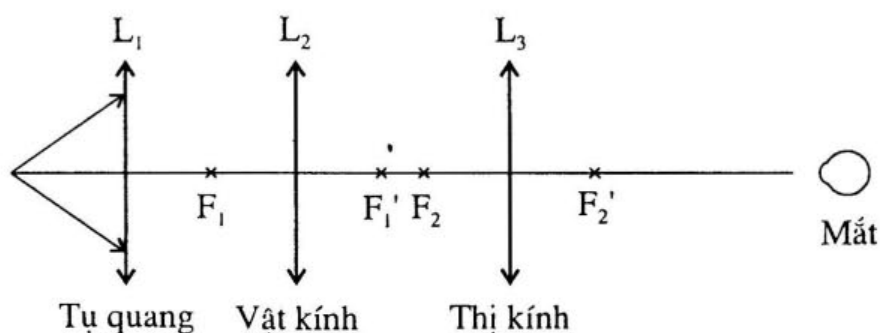
18.4.2.1. Nguyên lý và cấu tạo

Nguyên lý chung của các dụng cụ hiển vi là sử dụng các loại thấu kính có khả năng làm thay đổi phương truyền của tia sáng hoặc của chùm điện tử (với kính hiển vi điện tử). Các thấu kính sử dụng với ánh sáng nhìn thấy thường làm bằng thủy tinh Flin hoặc Crao, với ánh sáng tử ngoại làm bằng thạch anh, với chùm tia điện tử bằng thấu kính tĩnh điện hay thấu kính từ.

Hiện nay, có nhiều loại kính hiển vi quang học dùng trong nghiên cứu y sinh học. Tùy 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,...

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 quang sai và các hệ được đặt trên cùng một trục chính.

Hệ quang học gồm: kính tụ quang L_1 , vật kính L_2 (đặt gần vật quang sát), thị kính L_3 (đặt gần mắt) như hình 18.15. Ngoài ra, còn có các bộ phận khác như gương phản chiếu ánh sáng (thường một mặt phẳng và một mặt lõm), các lăng kính phản xạ toàn phần để thay đổi phương truyền của tia sáng...



Hình 18.15. Sơ đồ cấu tạo kính hiển vi.

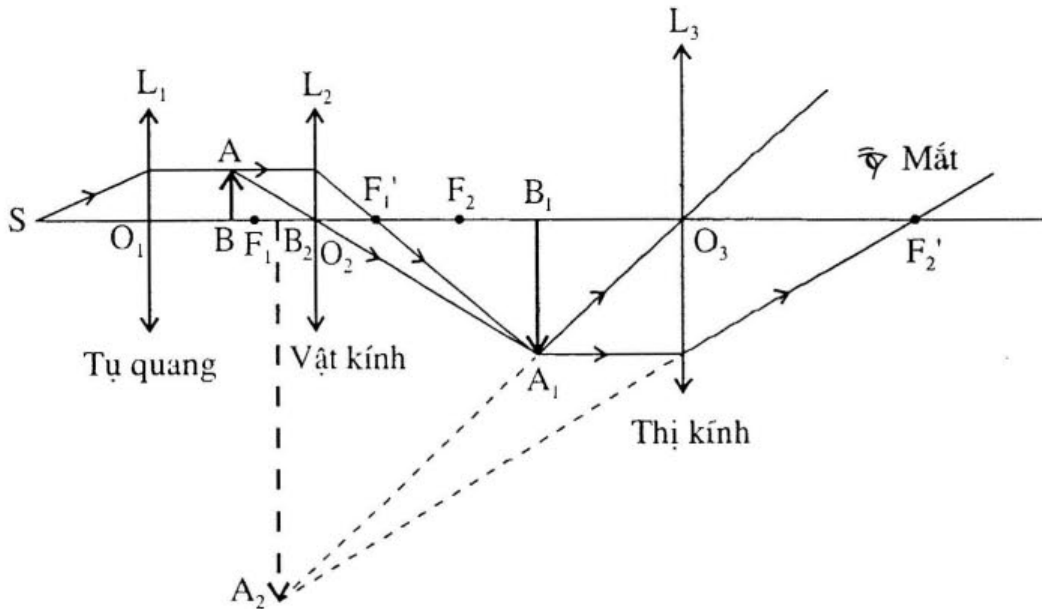
18.4.2.2. Kính hiển vi quang học trường sáng

a) Cấu tạo

S là nguồn phát ra ánh sáng trắng (ánh sáng tự nhiên, bóng đèn điện...). Các thấu kính làm bằng thủy tinh trong suốt.

b) 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 thật của vật AB qua vật kính, A_2B_2 là ảnh ảo của A_1B_1 qua thị kính. 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 lên võng mạc của mắt khi quan sát ảnh A_2B_2 của vật AB qua quang hệ. Để cho đỡ mỏi mắt khi quan sát, người ta thường phải di chuyển ống kính (chứa vật kính và thị kính) sao cho vật AB cách vật kính 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 (hình 18.16).



Hình 18.16. Dựng ảnh qua kính hiển vi.

c) 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 là tiêu cự của vật kính.

f_2 là tiêu cự của thị kính.

Người ta đã chứng minh được độ phóng đại dài của kính hiển vi xác định theo công thức sau:

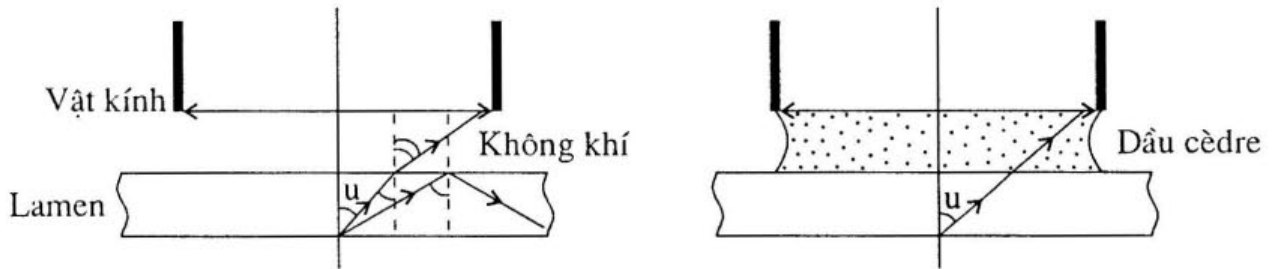
$$K = K_v \cdot K_T = \frac{\Delta \cdot l_0}{f_1 \cdot f_2} \quad (18.23)$$

Thường $l_0 = 25\text{cm}$ là khoảng nhìn rõ của mắt bình thường.

Công thức (18.23) cho thấy với Δ , l_0 cố định thì kính hiển vi 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 bởi hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng trong kính hiển vi, bởi vì với f_1 và f_2 quá bé sẽ không còn khả năng phân biệt được hai điểm sáng nằm gần nhau. Nhưng dựa vào công thức (18.21), chúng ta có thể làm tăng năng suất phân ly của kính hiển vi bằng cách tăng chiết suất (n) của môi trường chứa vật quan sát hoặc tăng góc trông (u). Việc tăng góc u cũng chỉ có một giới hạn nhất định vì góc u quá lớn sẽ làm suất hiện hiện tượng quang sai. Biện pháp tốt nhất là tăng n .

Thường vật đem soi (tiêu bản) được đặt trên một tấm kính, phía trên đây bằng một phiến kính mỏng (lamen) để bảo vệ tiêu bản. Do vậy ánh sáng từ vật phải qua lamen vào không khí rồi tới vật kính, cho nên nó bị khúc xạ ở mặt ranh giới giữa lamen và không khí (hình 18.17).



Hình 18.17. Vật kính chìm.

Ta biết rằng chiết suất thủy tinh lớn hơn chiết suất không khí ($n_{tt} > n_{kk}$), nên khi ánh sáng đi từ thủy tinh ra không khí thì góc tới luôn nhỏ hơn góc khúc xạ, khi góc tới lớn hơn góc tới giới hạn ($i > i_g$) sẽ xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần. Vậy nếu góc trông (cũng chính bằng góc tới) mà lớn hơn góc tới giới hạn ($u \geq i_g$). Thì sẽ không có ánh sáng tới vật kính, nghĩa là không nhìn thấy vật. Mặt khác, khi u nhỏ thì năng suất phân ly của kính hiển vi nhỏ và độ dọi của ảnh nhỏ, ảnh sẽ mờ khi quan sát.

Muốn tăng góc trông u (tức là tăng góc tới i), người ta thường để vật kính chìm trong môi trường có chiết suất gần bằng chiết suất của thủy tinh, ví dụ như dầu xét (cèdre) có $n \approx 1,50 = n_{tt}$ hay dầu bá hương có $n = 1,4$. Phương pháp này gọi là dùng vật kính chìm (hay vật kính dầu). Như vậy, việc dùng vật kính chìm sẽ tránh được hiện tượng phản xạ toàn phần, đồng thời độ rọi của ảnh cũng tăng và tăng năng suất phân ly của kính hiển vi. Kết quả là sẽ quan sát được những chi tiết nhỏ của vật và thấy rõ vật hơn. Biện pháp này có thể tăng năng suất phân ly của kính hiển vi lên 4,5 lần.

Mặt khác, từ công thức $d_{\min} = 0,61\lambda/(n \cdot \sin u)$, chúng ta thấy khi chiếu sáng kính hiển vi bằng ánh sáng có bước sóng λ thì chỉ có thể phân giải được các điểm cách nhau một khoảng cỡ λ . Do đó, nếu vật có kích thước nhỏ hơn λ thì dù kính hiển vi có tinh xảo đến đâu cũng không phân giải được.

d) 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 chiếu ánh sáng vào vật thì độ tương phản thể hiện ở sự hấp thụ khác nhau giữa phần cần quan sát với môi trường xung quanh. Ví dụ, muốn quan sát nhân và bào tương của tế bào thì cường độ sáng đi qua nhân và bào tương phải khác nhau. Do đặc điểm riêng của 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 nhau với môi trường xung quanh, do vậy độ tương phản của ảnh kém. Để khắc phục nhược điểm này, người ta nhuộm vật nghiên cứu bằng thuốc thử thích hợp. Kết quả là độ tương phản của ảnh tăng rõ rệt. Nhưng chú ý rằng, việc nhuộm tiêu bản sẽ làm chết tế bào nên không thể quan sát trực tiếp các hoạt động sống của tế bào.

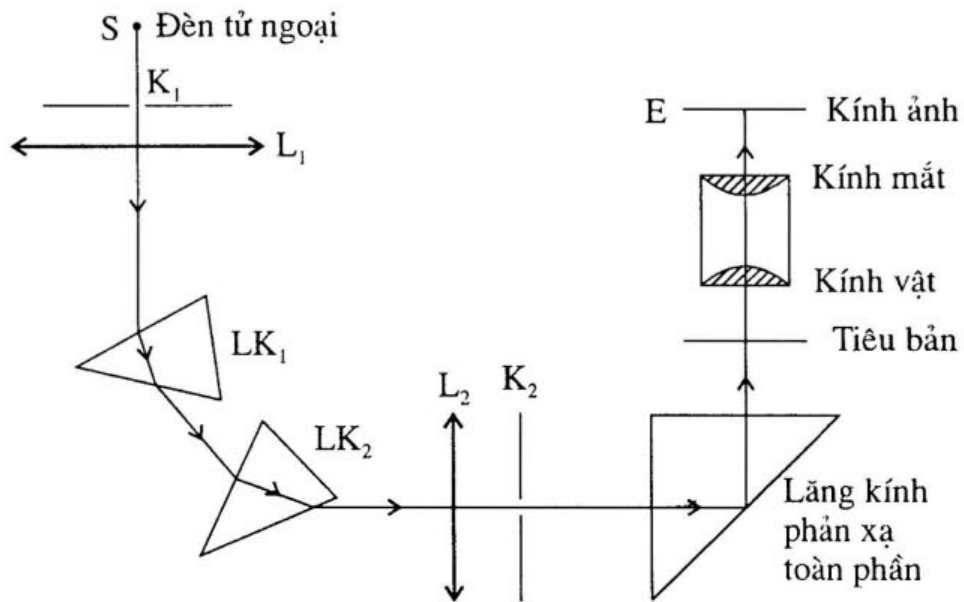
18.4.3. Các loại kính hiển vi khác

18.4.3.1. Kính hiển vi tử ngoại

Nguyên lý và cấu tạo cơ bản giống kính hiển vi trường sáng, chỉ khác :

- Soi tiêu bản bằng ánh sáng tử ngoại (đèn thủy ngân).
- Các hệ thống quang học đều làm bằng thạch anh vì thủy tinh thường hấp thụ mạnh tia tử ngoại.
- Có bộ lọc tia tử ngoại để tạo ra chùm tia đơn sắc. Hệ thống lọc này gồm lăng kính phân tích, các khe lọc, lăng kính phản xạ toàn phần (hình 18.18). Cần chú ý không quan sát trực tiếp 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 hay kính ảnh.

Ưu điểm chính của kính hiển vi tử ngoại là tia tử ngoại có bước sóng ngắn, do đó (theo công thức 18.21) làm tăng năng suất phân ly của kính (có thể tăng gấp đôi so với kính hiển vi trường sáng), đồng thời cũng làm tăng độ tương phản của ảnh, vì các thành phần cấu trúc tế bào như protein, acid nucleic hấp thụ mạnh tia tử ngoại.



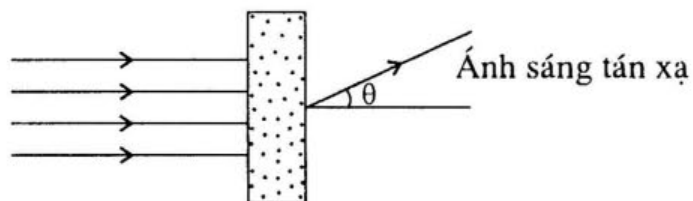
Hình 18.18. Kính hiển vi tử ngoại.

18.4.3.2. Kính hiển vi huỳnh quang

Nguyên lý của kính hiển vi huỳnh quang là dựa vào hiện tượng một số chất khi bị chiếu bởi tia tử ngoại sẽ kích thích bức xạ ra ánh sáng có bước sóng đặc trưng cho chính nó. Ví 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. Từ nguyên lý này ta thấy kính hiển vi huỳnh quang có những phần giống kính hiển vi tử ngoại, chỉ thêm một bộ phận ngăn tia tử ngoại để nó không có trong thành phần tạo 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.

18.4.3.3. Kính hiển vi trường tối

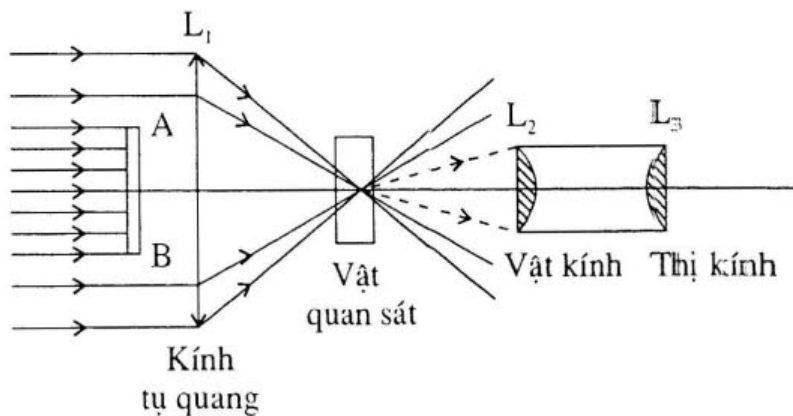
Hiện tượng tán xạ là hiện tượng các tia sáng sau khi đi qua môi trường không đồng nhất về mặt quang học sẽ bị đổi phương so với phương truyền ban đầu (hình 18.19).



Hình 18.19. Hiện tượng tán xạ ánh sáng.

Dựa vào hiện tượng tán xạ, người ta đã chế 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 xa trục chính đi qua thấu kính (hình 18.20). Các tia sáng đi qua mép kính tụ quang bị khúc xạ với góc lớn, do đó sau khi đi qua tiêu bản sẽ không tác dụng vào vật kính. Các hạt nhỏ có trong tiêu bản khi bị chiếu sáng sẽ trở thành nguồn thứ cấp phát ánh sáng truyền đi theo mọi hướng và đi vào vật kính, nhờ đó mà ta quan sát được tiêu bản.



Hình 18.20. Kính hiển vi trường tối.

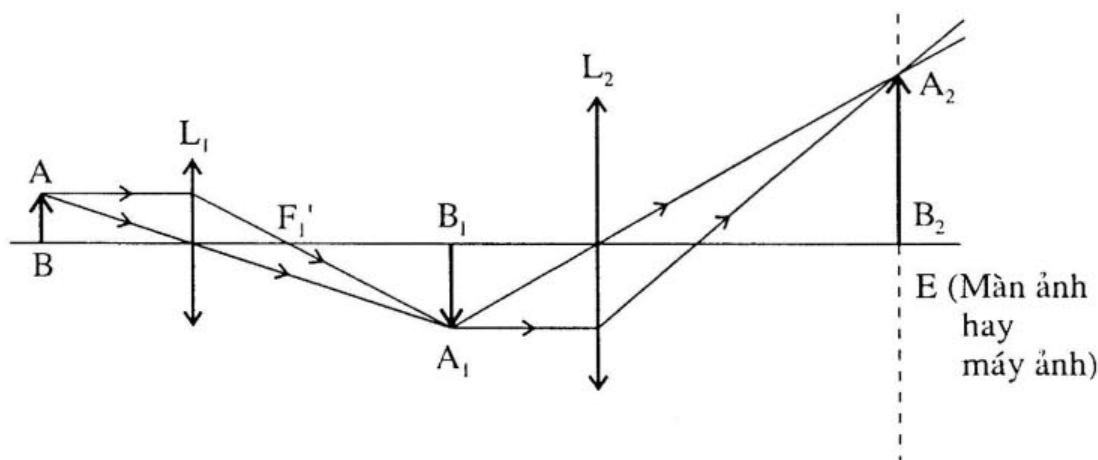
Kính hiển vi trường tối làm tăng độ tương phản nhưng lại làm giảm khả năng phân ly so với các kính hiển vi khác. Vì thế nó thường được dùng để quan sát sự di chuyển (hoạt động) của đối tượng sống, không sử dụng trong nghiên cứu cấu trúc được.

18.4.4. 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 vậy 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) vào vị trí của mắt quan sát và điều chỉnh để ảnh thật của vật hiện lên phim ảnh giống như ảnh hiện lên võng mạc của mắt khi quan sát (hình 18.21).



Hình 18.21. Chiếu (chụp) ảnh bằng kính hiển vi.

18.4.5. Kính hiển vi điện tử

Theo lý thuyết lượng tử, các chùm hạt vi mô chuyển động với vận tốc cao (xấp xỉ vận tốc ánh sáng) được gán với một sóng liên kết – sóng Broglie được xác định theo công thức:

$$\lambda = \frac{h}{m.v} \quad (18.24)$$

Trong đó: h là hằng số Planck.

m là khối lượng của vi hạt.

v là vận tốc của vi hạt.

Trong kính hiển vi điện tử vật nghiên cứu được chiếu bằng chùm tia điện tử chuyển động nhanh. Điện tử từ nguồn phát điện tử trước khi chiếu vào mẫu được gia tốc trong một điện trường rất mạnh tạo bởi một điện áp từ vài chục đến hàng trăm kV.

Chúng ta đã biết:

$$e.U = \frac{1}{2}m.v^2 \quad (18.25)$$

Từ (18.24) và (18.25) suy ra:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2.m.e.U}} \quad (18.26)$$

Trong đó: e là điện tích của điện tử.

U là điện áp tăng tốc điện tử.

Từ (18.26) ta thấy muốn làm giảm λ thì phải tăng U . Ví dụ, với $U = 60\text{kV}$ thì $\lambda = 5\text{pm}$; $U = 100\text{kV}$ thì $\lambda = 3\text{pm}$ ($1\text{pm} = 10^{-12}\text{m}$).

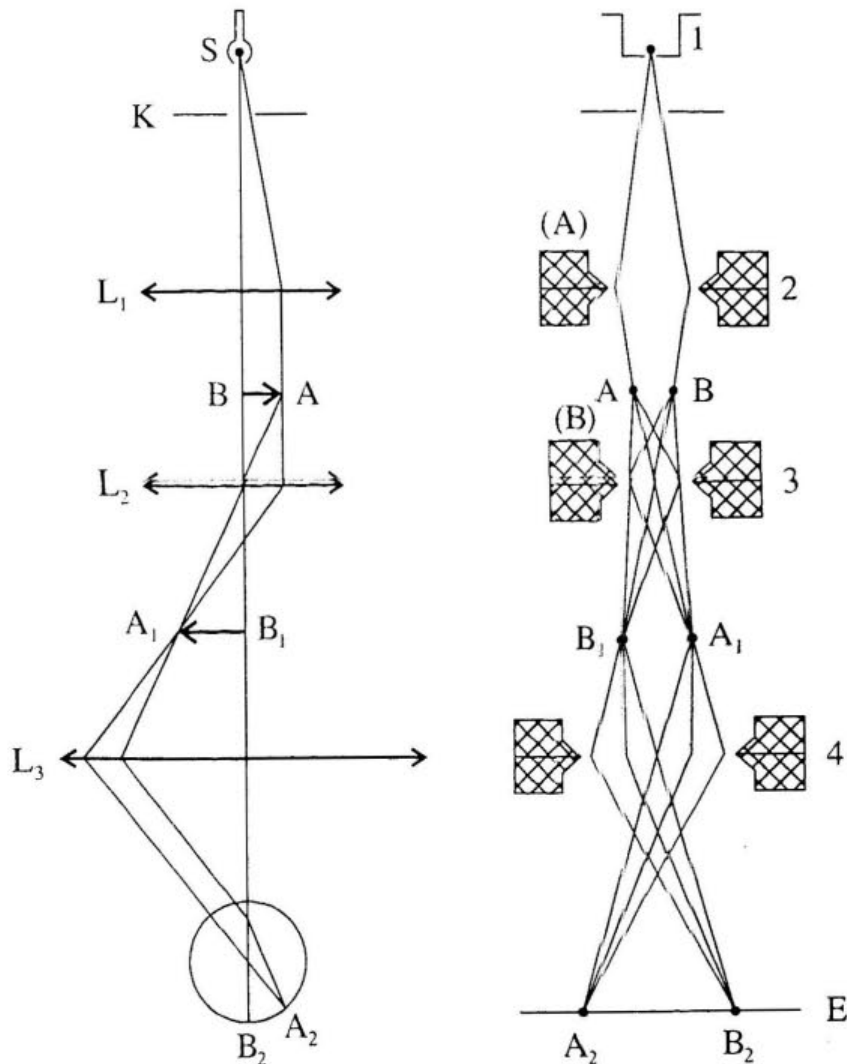
Như vậy chùm điện tử có bước sóng nhỏ hơn bước sóng của tia tử ngoại hàng trăm nghìn lần. Nghĩa là năng suất phân ly của kính hiển vi điện tử lớn hơn

năng suất phân ly của kính hiển vi quang học hàng trăm nghìn lần. Về phương diện lý thuyết dùng kính hiển vi điện tử có thể phân giải được hai điểm có khoảng cách nhỏ tới $2 \div 3\text{pm}$. Kính hiển vi điện tử có độ phóng đại từ vài trăm nghìn đến hàng triệu lần (nên nhớ rằng kính hiển vi quang học có độ phóng đại từ hàng trăm đến hàng nghìn lần). Vì thế, dùng kính hiển vi điện tử loại tốt có thể nhìn thấy kích thước vật cỡ phân tử.

18.4.5.1. 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 các thấu kính là các "thấu kính điện tử" (sẽ trình bày ở phần dưới đây). Để quan sát ảnh của vật, người ta dùng màn huỳnh quang hay phim ảnh.

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 18.22 là sơ đồ cấu tạo và nguyên tắc tạo ảnh của kính hiển vi điện tử.

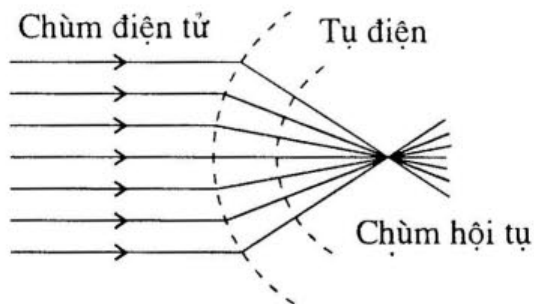


Hình 18.22. Sơ đồ cấu tạo của kính hiển vi quang học và kính hiển vi điện tử.

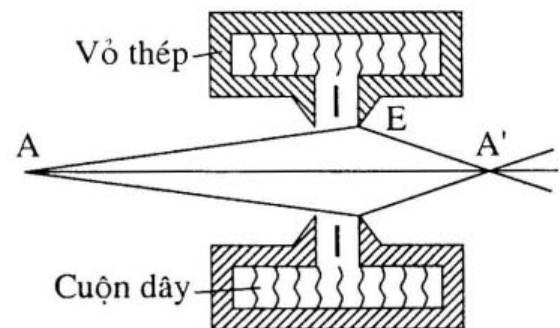
Chùm electron được phát ra từ sợi đốt (1) bằng kim loại trước khi đi vào thấu kính từ hội tụ (2) đã được gia tốc ở vùng A có điện áp $U = 60kV$. Sau khi đi qua thấu kính từ (2) chùm điện tử chiếu vào mẫu vật đặt trong chân không (B). Sau khi đi qua mẫu vật, chùm điện tử đi vào thấu kính từ (3) (có vai trò như vật kính ở kính hiển vi quang học) và tạo lên ảnh thứ nhất A_1B_1 . Thấu kính từ (4) (có vai trò như thị kính) sẽ tạo ảnh A_2B_2 của A_1B_1 . Màn huỳnh quang E sẽ ghi ảnh A_2B_2 .

18.4.5.2. 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 18.23). Điện tử sau khi xuyên qua các lỗ của lưới sẽ đi vào vùng có tác dụng của điện trường, điện trường sẽ làm thay đổi hướng truyền của điện tử làm cho tia điện tử song song trục chính sẽ hội tụ tại tiêu điểm.



Hình 18.23. Thấu kính tĩnh điện.



Hình 18.24. Thấu kính từ.

– Thấu kính từ: Đó là cuộn dây hình Solenoid được bọc trong một vỏ thép (hình 18.24). Cuộn dây có cấu tạo để 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 phát xạ điện tử A sau khi đi qua thấu kính sẽ hội tụ tại A' do tác dụng của từ trường H.

18.4.5.3. Vai trò của kính hiển vi điện tử trong nghiên cứu y sinh học

Do khả năng phân ly lớn hơn rất nhiều lần so với 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 độ tế bào mà còn ở mức phân tử như các acid nucleic, acid amin, protein... Nhờ kính hiển vi điện tử chúng ta quan sát được một số đại phân tử cấu tạo nên các tế bào như collagen trong tổ chức liên kết, một số vi rút. Kết hợp với phương pháp tự chụp hình phóng xạ, có thể nghiên cứu mối liên quan giữa cấu trúc và chức năng một số tế bào sống.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Phát biểu các định luật cơ bản của quang hình học. Nêu một số ứng dụng của hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng.
2. Phát biểu định lý Malus và chứng minh sự tương đương với các định luật quang hình.
3. Trình bày: định nghĩa, đơn vị đo của các đại lượng trắc quang sau: quang thông, độ sáng, độ rọi.
4. Trình bày: nguyên lý và cấu tạo, ứng dụng của kính hiển vi quang học và kính hiển vi điện tử.
5. Nếu ta chuyển động thẳng về phía trước gương phẳng với vận tốc v , hỏi vận tốc ảnh của ta di chuyển về phía ta.
 - a) Nếu lấy ta làm hệ quy chiếu.
 - b) Nếu lấy gương làm hệ quy chiếu.
6. Năng lượng chùm sáng Mặt Trời phản xạ trên gương phẳng không đạt 100%. Tuy nhiên khi trời nắng chùm sáng Mặt Trời phản xạ từ gương lại làm ta chói mắt, không thể nhìn được các vật như khi không có gương? Tại sao?
7. Chùm ánh sáng phản xạ từ gương, nhưng trong miền thị trường của kính hiển vi bạn lại có cảm giác “cường độ sáng” sáng hơn rất nhiều ánh sáng trong phòng, tại sao?
8. Hãy giải thích sự tạo cầu vồng đôi diện với Mặt Trời sau cơn mưa, khi ánh sáng chiếu qua các giọt nước.
9. Tại sao trong kính hiển vi và một số dụng cụ quang học người ta lại thường bố trí nhiều lăng kính.
10. Tại sao trong kính hiển vi điện tử các mẫu đo phải thật khô, không có hơi nước.

BÀI TẬP TỰ GIẢI

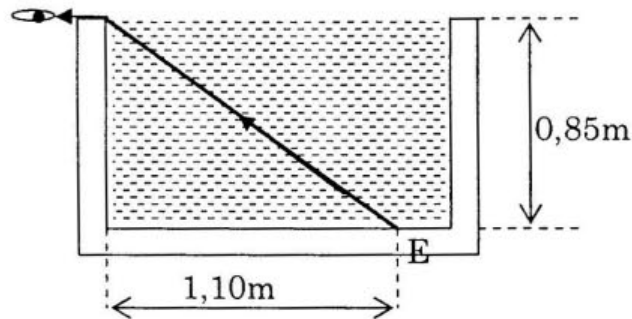
1. Bước sóng của ánh sáng vàng Natri trong không khí là 589nm. Hãy tính:
 - a) Tần số của nó.
 - b) Bước sóng của nó trong thủy tinh có chiết suất là 1,52.
 - c) Vận tốc của nó trong thủy tinh trên.

Đáp số: a) $5,09 \cdot 10^{14} \text{Hz}$

b) 388nm

c) $1,97 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

2. Một chiếc thùng hình chữ nhật bằng kim loại được đổ đầy tràn một chất lỏng. Khi ta quan sát để mắt ngang tầm với mặt thùng. Tia sáng coi như từ E tới mắt ta như hình vẽ. Hãy tìm chiết suất của chất lỏng trong thùng.



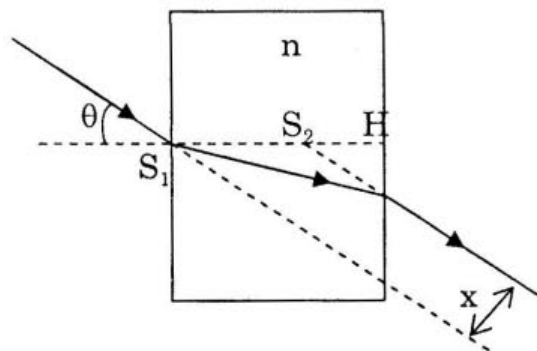
Đáp số: $n = 1,26$

3. Một cái cột thẳng đứng dài 2,00m, được dựng từ đáy một bể bơi và nhô cao hơn mặt nước 50,0cm. Ánh sáng Mặt Trời chiếu xuống dưới góc tới 55° so với phương ngang. Hỏi chiều dài của bóng các cột ở đáy của bể bơi.

Đáp số: 1,07m

4. Chứng minh rằng một tia sáng tới đập trên một tấm kính thuỷ tinh phẳng có chiều dày t đi ra khỏi mặt đối diện song song với phương ban đầu nhưng dịch ngang một khoảng x . Chứng minh rằng với góc tới θ nhỏ độ dịch chuyển thoả mãn: $x = t \cdot \theta \cdot \frac{n-1}{n}$ với n chiết suất của thuỷ tinh, θ đo bằng radian.

(Gợi ý: áp dụng định lý Malus $n \cdot HS_2 = HS_1$)



5. Một chùm ánh sáng tới đập trên mặt phẳng bóng của một tảng thạch anh nóng chảy, tạo một góc $31,25^\circ$ đối với pháp tuyến. Chùm sáng gồm ánh sáng của hai bước sóng 407,7nm và 508,6nm. Chiết suất của thạch anh tương ứng với hai bước sóng trên là 1,4697 và 1,4619. Chiết suất của không khí là 1,0003 đối với cả hai bước sóng. Hỏi góc giữa hai tia khúc xạ?

Đáp số: 6,9 phút.

6. Cho một lăng kính tam giác vuông bằng thủy tinh đặt trong không khí. Một tia tới vuông góc với một mặt bên, được phản xạ toàn phần ở mặt đáy của lăng kính. Nếu góc tới $\theta_1 = 45^\circ$ thì có thể nói gì về chiết suất n của thủy tinh?

Đáp số: $n > 1,4$

7. Một người cao 1,76m. Hỏi cần một gương phẳng đặt thẳng đứng cao bao nhiêu để cho người đó có thể thấy toàn bộ độ cao của mình?

Đáp số: 88 cm.

8. Một gương lồi có bán kính chính khúc 22cm. Nếu đặt vật cách gương 14cm thì ảnh ở đâu? Độ phóng đại dài bằng bao nhiêu?

Đáp số: $d' \approx -6,2\text{cm}$; $k \approx 0,44$

9. Có thể có thấu kính mà đặt trong môi trường này thì nó là thấu kính hội tụ, còn trong môi trường khác nó lại là thấu kính phân kỳ?

Đáp số: Có thể, tùy theo n_{tk}/n_{mt} .

10. Tiêu cự của vật kính hiển vi $F_1 = 0,5\text{cm}$. Khoảng cách giữa vật kính và thị kính là $l = 16\text{cm}$. Độ phóng đại của kính hiển vi đối với mắt bình thường là $k = 200$. Xác định độ phóng đại của thị kính, cho biết khoảng cách nhìn rõ nhất đối với mắt thường là $D_0 = 25\text{cm}$.

Đáp số: 8,0cm.

Chương 19

PHÂN CỰC ÁNH SÁNG

MỤC TIÊU

1. Phân biệt được ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực.
2. Chứng minh được và hiểu rõ ý nghĩa của định luật Malus về phân cực ánh sáng.
3. Hiểu được định luật Bio về phân cực quay và ứng dụng trong phân cực nghiệm.

19.1. ÁNH SÁNG TỰ NHIÊN VÀ ÁNH SÁNG PHÂN CỰC

Ánh sáng tự nhiên là ánh sáng trong đó vectơ cường độ điện trường dao động một cách đều đặn theo tất cả mọi phương vuông góc với tia sáng.

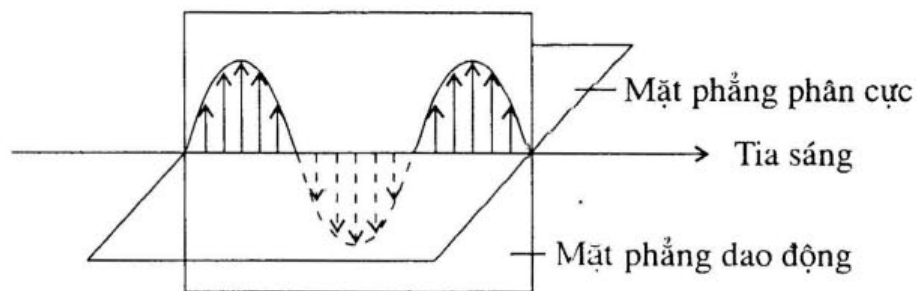
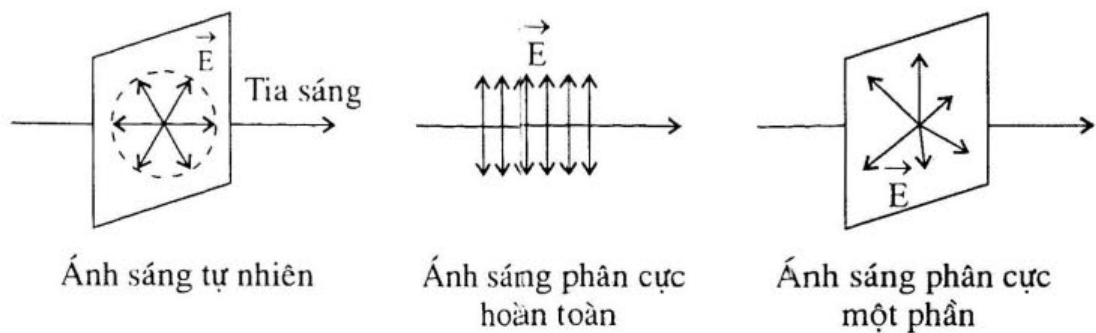
Thực nghiệm chứng tỏ rằng, khi cho ánh sáng tự nhiên đi qua một môi trường bất đẳng hướng về quang học (tinh thể Turmalin – silicoborat aluminium, tinh thể đá Băng lan – CaCO_3 hình thoi 6 mặt, tinh thể thạch anh...) thì trong những điều kiện nhất định, tác động của môi trường lên ánh sáng có thể làm cho \vec{E} chỉ dao động theo một phương xác định.

Ánh sáng trong đó vectơ cường độ điện trường \vec{E} chỉ dao động theo một phương xác định được gọi là ánh sáng phân cực thẳng hay ánh sáng phân cực toàn phần.

Ánh sáng trong đó vectơ \vec{E} dao động theo tất cả mọi phương vuông góc với tia sáng, nhưng có phương mạnh, phương yếu, gọi là ánh sáng phân cực một phần.

Hiện tượng biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực gọi là hiện tượng phân cực ánh sáng. Trong đó định nghĩa:

- Mặt phẳng dao động: mặt phẳng chứa tia sáng và phương của \vec{E} .
- Mặt phẳng phân cực: mặt phẳng chứa tia sáng và vuông góc với mặt phẳng dao động.



Hình 19.1

19.2. SỰ PHÂN CỰC ÁNH SÁNG DO TRUYỀN QUA BẢN TURMALIN DÀY – ĐỊNH LUẬT MALUS

19.2.1. Hiện tượng phân cực ánh sáng khi truyền qua bản Tuamalin dày

Tinh thể Tuamalin (hợp chất silicoborat aluminium) có tính chất là biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực.

Giả sử có bản Tuamalin dày ($> 1 \text{ mm}$), có các mặt song song với nhau và song song với một phương đặc biệt Δ_1 ở trong bản gọi là quang trục – Quang trục là một phương nào đó trong tinh thể mà \vec{E} dao động theo phương đó thì truyền qua hoàn toàn. Cho một tia sáng tự nhiên chiếu vuông góc với mặt bên của bản T_1 .

Các \vec{E} dao động theo mọi phương xung quanh tia sáng và vuông góc với tia sáng.

Những \vec{E} nào dao động theo phương song song với Δ_1 thì qua hoàn toàn bản T_1 .

Những \vec{E} làm với Δ_1 một góc nào đó thì ta phân tích làm hai thành phần:

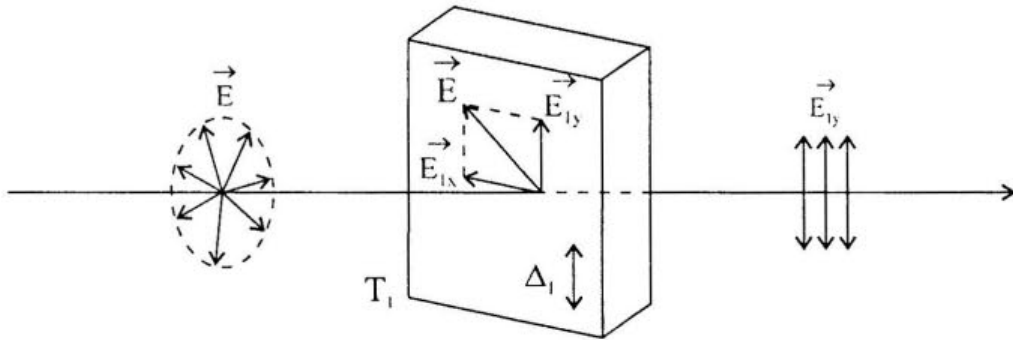
Thành phần $E_{1y} // \Delta_1$ thì qua được T_1 .

Thành phần $E_{1x} \perp \Delta_1$ thì bị T_1 hấp thụ hết nên không qua được.

Kết quả là, phía sau T_1 ta chỉ nhận được ánh sáng có \vec{E} dao động theo phương Δ_1 , nghĩa là nhận được ánh sáng phân cực toàn phần.

Một cách trung bình, thì cường độ I_1 của ánh sáng phân cực toàn phần phía sau T_1 sẽ bằng $1/2$ cường độ I_0 của ánh sáng tự nhiên ở phía trước bản T_1 :

$$I_1 = \frac{I_0}{2} \quad (19.1)$$



Hình 19.2

19.2.2. Định luật Malus

Để xác nhận ánh sáng đi qua bản T_1 là ánh sáng phân cực toàn phần, người ta đặt sau T_1 một bản T_2 giống hệt bản T_1 , có quang trục Δ_2 hợp với Δ_1 một góc α nào đó. Ánh sáng sau khi đi qua T_2 có \vec{E} dao động theo phương $\vec{E}_{2y} // \Delta_2$.

Gọi a_1 là biên độ dao động sáng của \vec{E}_{1y} và a_2 là biên độ dao động sáng của \vec{E}_{2y} , ta có:

$$a_2 = a_1 \cdot \cos \alpha$$

Vậy:

$$I_2 = a_2^2 = a_1^2 \cdot \cos^2 \alpha$$

Hay:

$$I_2 = I_1 \cdot \cos^2 \alpha \quad (19.2)$$

Công thức trên chính là nội dung của định luật Malus:

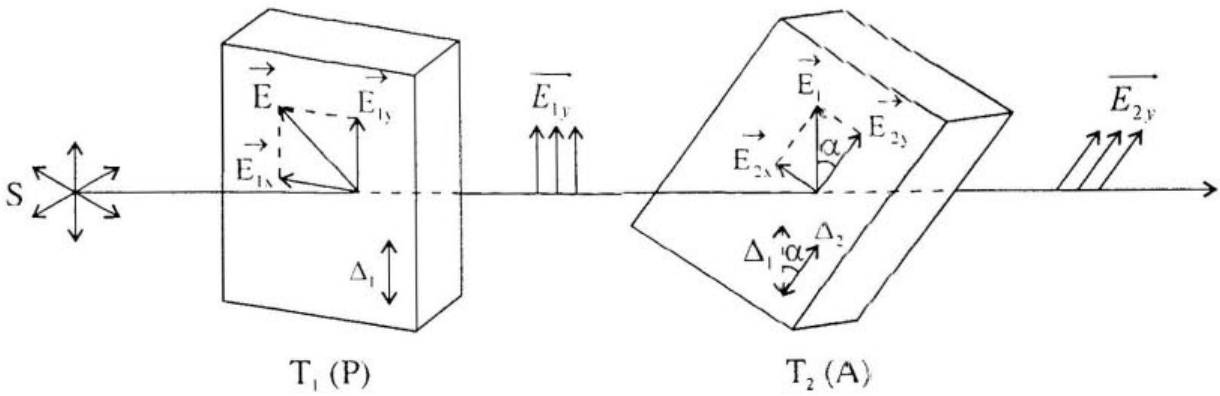
Khi chiếu một chùm ánh sáng tự nhiên truyền qua hai bản Tuamalin dày, có các quang trục Δ_1 và Δ_2 hợp với nhau một góc α , thì cường độ của ánh sáng nhận được sau hai bản đó sẽ tỷ lệ thuận với $\cos^2 \alpha$.

Công thức (19.2) chứng tỏ: nếu ta giữ cố định bản T_1 , quay bản T_2 xung quanh tia sáng thì cường độ ánh sáng I_2 ở phía sau bản T_2 sẽ thay đổi phụ thuộc vào $\cos^2 \alpha$. Đặc biệt, nếu:

– $\alpha = 0$, nghĩa là $\Delta_1 // \Delta_2$ thì $I_{2\max} = I_1$, sau T_2 sẽ thấy sáng nhất.

– $\alpha = 90^\circ$, nghĩa là $\Delta_1 \perp \Delta_2$, thì $I_{2\min} = 0$, sau T_2 sẽ thấy tối hoàn toàn. Trường hợp này còn gọi là hai bản T_1 và T_2 bắt chéo nhau.

Bản T_1 biến ánh sáng tự nhiên thành ánh sáng phân cực nên gọi là bản phân cực ánh sáng – Bản P (Polaroit). Bản T_2 phân tích cho biết ánh sáng truyền tới nó là ánh sáng tự nhiên hay phân cực (bằng cách nghiên cứu cường độ ánh sáng truyền qua nó) gọi là bản phân tích ánh sáng – Bản A (Analyse).



Hình 19.3

19.3. PHÂN CỰC VÌ PHẢN XẠ. ĐỊNH LUẬT BREWSTER

Thực nghiệm cho thấy, tia phản xạ xiên góc trên mặt ngăn cách giữa hai môi trường không phải kim loại, thì chùm tia phản xạ bị phân cực. Thật vậy, nếu quan sát tia phản xạ sau bản T_2 và quay T_2 quanh phương truyền của tia phản xạ ta cũng thấy cường độ chùm sáng thay đổi một cách tuần hoàn nhưng không triệt tiêu hoàn toàn. Như vậy tia phản xạ bị phân cực một phần.

Nếu chùm sáng tới mặt phân cách với góc tới i_B , sao cho:

$$\operatorname{tg} i_B = n \quad (19.3)$$

(trong đó n là chiết suất tỷ đối của hai môi trường) thì tia phản xạ sẽ bị phân cực hoàn toàn. Công thức (19.3) gọi là định luật Brewster. Góc i_B gọi là góc Brewster. Ví dụ, với thủy tinh có $n = 1,53$ thì $i_B = 56^\circ 50'$. Thực nghiệm thấy rằng tia phản xạ dưới góc i_B và tia khúc xạ hợp với nhau thành góc $\pi/2$.

Ta có thể chứng minh như sau: khi ánh sáng phản xạ phân cực hoàn toàn thì ta có:

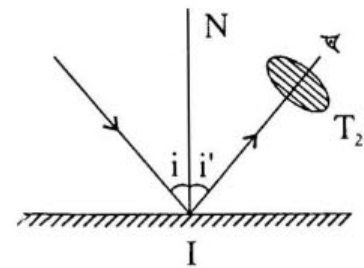
$$\operatorname{tg} i_B = \frac{\sin i_B}{\cos i_B} = \frac{n_2}{n_1}$$

Theo định luật khúc xạ ánh sáng ta có:

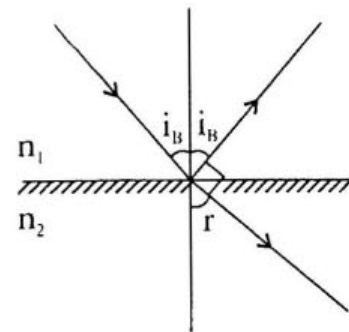
$$\frac{\sin i_B}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Vậy (1) = (2) $\Rightarrow \cos i_B = \sin r$.

Do đó $i_B + r = 90^\circ$, nghĩa là tia khúc xạ và tia phản xạ hợp với nhau một góc 90° .



Hình 19.4

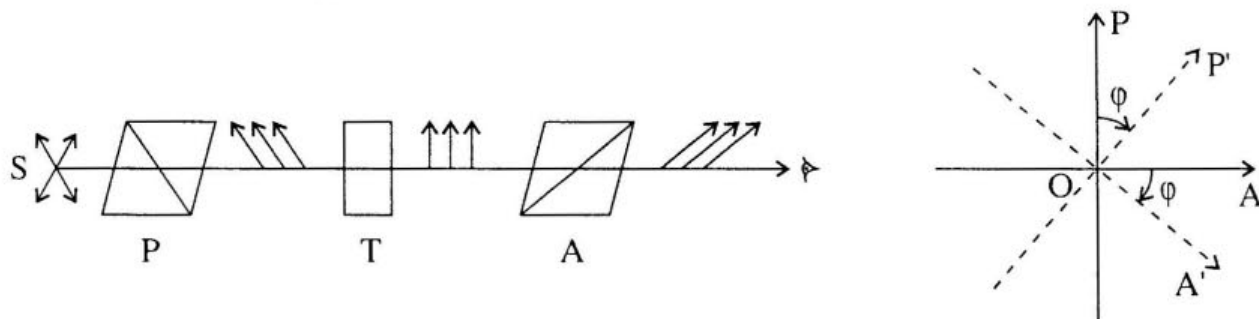


Hình 19.5

19.4. PHÂN CỰC QUAY – ỨNG DỤNG

19.4.1. Hiện tượng phân cực quay

Cho một chùm tia sáng đơn sắc đi qua hai bản T_1 (P) và T_2 (A) đặt chéo nhau ($\Delta_1 \perp \Delta_2$), sau A ta thấy tối hoàn toàn.



Hình 19.6

Đặt một bản thạch anh T ở giữa P và A, sau A ta lại thấy sáng. Quay A đi một góc nào đó (về bên phải hay bên trái tùy theo loại thạch anh) thì đến một lúc nào đó ta lại thấy tối hoàn toàn. Điều đó chứng tỏ ánh sáng sau khi ra khỏi bản T vẫn là ánh sáng phân cực hoàn toàn, nhưng phương dao động của chùm sáng không còn song song với phương ban đầu mà đã quay đi một góc φ bằng góc ta phải quay kính phân tích (A) để lại làm tắt ánh sáng.

Ta nói bản thạch anh đã làm quay mặt phẳng dao động của ánh sáng phân cực, gọi hiện tượng này là hiện tượng phân cực quay.

Sau này người ta thấy có nhiều chất (ở thể rắn, lỏng hay dung dịch và cả khí nữa) cũng có tính chất tương tự như thạch anh. Ví dụ: đường chaccarose, glucose, long não, bạc hà... Những chất này gọi chung là các chất quang hoạt.

Chất quang hoạt thường tồn tại dưới hai dạng: chất quay phải (hữu truyền, ký hiệu: D hay (+)), là những chất làm quay mặt phẳng dao động về bên phải (hoặc theo chiều kim đồng hồ) người quan sát đặt mắt sau kính phân tích. Chất quay trái (tả truyền, ký hiệu: L hay (-)).

19.4.2. Định luật Bio

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, đối với một ánh sáng đơn sắc nhất định, góc quay φ của mặt phẳng phân cực tỷ lệ với chiều dài d của chất đó mà ánh sáng phân cực đi qua, tỷ lệ với khối lượng riêng ρ (đối với tinh thể hay chất lỏng nguyên chất) và với nồng độ C (đối với dung dịch) của chất đó. Ta có:

Đối với tinh thể và chất lỏng:

$$\varphi = [\alpha].\rho.d \quad (19.4)$$

Đối với dung dịch:

$$\varphi = [\alpha].C.d \quad (19.5)$$

Hệ số $[\alpha]$ gọi là góc quay cực riêng hay còn gọi là năng suất quay cực.

$[\alpha]$ phụ thuộc vào bản chất của chất hoạt quang, phụ thuộc vào nhiệt độ và phụ thuộc vào bước sóng λ của ánh sáng chiếu vào (thường $[\alpha]$ tăng khi λ giảm). Như vậy ta thấy hiện tượng phân cực quay có tính chất tán sắc ánh sáng.

Được điển Việt Nam I quy định: Năng suất quay cực của một chất lỏng là góc quay cực quan sát được bằng chiếu tia sáng màu vàng D (589,3nm), chất đó có tỷ trọng quy về đơn vị, có nhiệt độ 25°C và soi qua một lớp dày là 1 decimet. Đối với một số chất có thể dùng tia sáng màu lục (546,1nm) của đèn thủy ngân.

Với chất lỏng:

$$[\alpha]_D^{25} = \frac{\varphi}{d.\rho} \quad (19.6)$$

Với dung dịch:

$$[\alpha]_D^{25} = \frac{\varphi.100}{d.C} \quad (19.7)$$

Khi đó $[\alpha]$ đo trực tiếp bằng độ ($^{\circ}$).

Có thể suy rộng định luật Bio cho dung dịch gồm nhiều chất tan nhưng chúng không tương tác với nhau. Khi đó, ta có:

$$\varphi = \{[\alpha_1]C_1 + [\alpha_2]C_2 + \dots + [\alpha_n]C_n\}.d \quad (19.8)$$

Trong đó: $[\alpha_1], [\alpha_2], \dots, [\alpha_n]$ là năng suất quay cực của các chất tan.

$[C_1], [C_2], \dots, [C_n]$ là nồng độ tương ứng của từng thành phần trong dung dịch.

Lấy dấu (+) cho những chất quay phải và dấu (-) cho những chất quay trái.

Người ta cũng thấy rằng định luật Bio chỉ gần đúng và áp dụng tốt cho dung dịch loãng.

19.4.3. Phân cực nghiệm. Ứng dụng

Phân cực nghiệm là phương pháp phân tích dựa vào việc nghiên cứu sự quay mặt phẳng phân cực của chất khảo sát, chủ yếu được áp dụng vào hai mục đích:

- Định tính, tức là xác định và nhận biết một chất. Như đã biết, với một chất, trong điều kiện đo nhất định (về nhiệt độ và bước sóng) thì $[\alpha]$ của nó là một hằng số. Vì thế việc xác định $[\alpha]$ giúp nhận biết được chất đó (tất nhiên phải kết hợp với những phương pháp hoá, lý khác) cũng như mức độ tinh khiết của nó.

- Định lượng, dựa vào định luật Bio, khi đã biết chiều dài d của ống đo và năng suất quay cực $[\alpha]$, đo góc quay cực φ của dung dịch, từ đó sẽ xác định được nồng độ C của dung dịch đó:

$$C = \frac{\varphi}{[\alpha]d} \quad (19.9)$$

Ưu điểm của phương pháp này là nhanh chóng, thuận tiện và chính xác, vì thế đã được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp đường, long não... hay định lượng đường glucose (dextrôse) trong huyết thanh ngọt...

– Ngoài ra trong hoá học hữu cơ, việc nghiên cứu góc quay cực của một chất giúp cho việc xác định đồng phân quang học. Điều này có ý nghĩa trong nghiên cứu hoá học lập thể.

– Dược lực học: tác dụng sinh học của các thuốc có đồng phân quang học nhiều khi rất khác nhau giữa các dạng D (+), L (-) hay đồng phân racemic (là hợp của hai đồng phân quang học D(+) và L(-) bằng nhau). Vì thế, việc phân biệt chúng rất quan trọng trong thực tiễn điều trị.

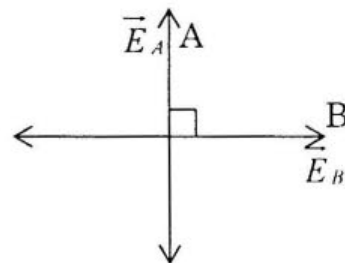
+ Dung dịch tiêm truyền đường glucose đó là đồng phân D (+). Nó có tác dụng trợ lực trong trường hợp mất nhiều máu, nước, truy tim mạch. Còn có tác dụng lợi tiểu, giải độc trong bệnh nhiễm khuẩn. Dung dịch đẳng trương 5%. Dung dịch ưu trương $\geq 10\%$.

+ Đường levulosa (fructose) là đồng phân L (-). Chế phẩm dược dụng là dung dịch 20% và 40%. Có tác dụng tăng dự trữ glycogen ở gan, tăng dịch dưỡng ở cơ tim và lợi tiểu. Dùng trong bệnh viêm cơ tim, suy tim, viêm gan...

+ Fugacar (mebendazol – vermoz) dạng đồng phân quang học có tác dụng diệt giun mạnh gấp nhiều lần dạng racemic.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Hãy phân biệt ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực.
2. Trình bày sự phân cực ánh sáng khi ánh sáng truyền qua bản Tuamalin dày.
3. Chứng minh định luật Malus về phân cực ánh sáng.
4. Trình bày hiện tượng phân cực quay.
5. Trình bày định luật Bio và những ứng dụng của phương pháp phân cực nghiệm.
6. Sau khi tạo được ánh sáng phân cực có phương dao động của \vec{E} là A, qua chất rắn hoặc dung dịch chất hoạt quang có phương dao động của \vec{E} bây giờ là B. Hỏi phải làm thế nào để biết chất đó là tả truyền hay hữu truyền.



7. Có nguồn sáng S, làm cách nào để kiểm tra nó là ánh sáng tự nhiên hay phân cực toàn phần, ánh sáng phân cực một phần.
8. Có một chất C, làm cách nào để kiểm tra nó là chất hoạt quang, chất hoạt quang tả truyền hay hữu truyền.
9. Giải thích tại sao sự phân cực do phản xạ xảy ra khi ánh sáng tới mặt phân cách từ phía có chiết suất lớn hơn (ví dụ từ thủy tinh qua không khí).
10. Sự phân cực ánh sáng phụ thuộc vào thuộc tính hạt hay phụ thuộc tính chất sóng của ánh sáng.
11. Sóng điện từ dùng cho điện thoại có phải là sóng phân cực hay không. Nếu đúng, hãy chứng minh.
12. Sóng âm không phân cực, tại sao?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Ánh sáng đi qua nước có chiết suất 1,33 và đập vào bản thủy tinh có chiết suất 1,53. Hỏi góc tới là bao nhiêu để ánh sáng phản xạ hoàn toàn phân cực.

Đáp số: 49° .

2. Ánh sáng đỏ trong chân không đến đập vào bản thủy tinh dưới một góc Brewster trên một phiến thủy tinh nào đó, góc khúc xạ lúc đó là $32,0^\circ$. Hỏi:
 - a) Chiết suất của thủy tinh.
 - b) Góc Brewster

Đáp số: a) 1,6 b) 58° .

3. Ba kính phân cực được chồng trên nhau. Kính thứ nhất và kính thứ hai được đặt chéo (vuông góc), còn kính ở giữa có phương phân cực làm thành một góc 45° so với phương phân cực của hai kính kia. Hỏi phần cường độ của chùm ánh sáng ban đầu không phân cực được truyền qua chồng kính phân cực.

Đáp số: 1/8.

4. Góc tới phải bằng bao nhiêu để ánh sáng phản xạ từ mặt nước là hoàn toàn phân cực? Góc này có phụ thuộc bước sóng ánh sáng không?

Đáp số: 53° ; có vì r phụ thuộc λ .

5. Một chùm ánh sáng phân cực được chiếu qua hai kính phân cực. Phương phân cực của kính thứ nhất làm một góc θ với phương dao động của ánh sáng; phương phân cực của kính thứ hai thì vuông góc với phương dao động của ánh sáng. Nếu 0,10 cường độ ánh sáng tới được hai kính cho truyền qua thì góc θ là bao nhiêu?

Đáp số: $\approx 20^\circ$; $\approx 70^\circ$.

6. Một chùm sáng tự nhiên sau khi truyền qua cặp kính phân cực và kính phân tích, cường độ sáng bị giảm đi 4 lần, coi phần ánh sáng bị hấp thụ không đáng kể.

Hãy xác định góc hợp bởi tiết diện chính của hai kính trên.

$$\text{Đáp số: } \alpha = \pm 45^\circ \text{ hay } \pm 135^\circ.$$

7. Một bản thạch anh có bề dày $d_1 = 2\text{mm}$ được đặt vuông góc với quang trục và ở giữa hai kính phân cực và kính phân tích. Giả sử lúc đầu (khi chưa đặt bản thạch anh) quang trục của kính phân cực và kính phân tích song song với nhau. Khi đặt bản thạch anh thì mặt phẳng phân cực bị quay đi một góc $\theta_1 = 53^\circ$.

Hỏi chiều dày của bản thạch anh phải bằng bao nhiêu để ánh sáng đơn sắc không qua được kính phân tích.

$$\text{Đáp số: } d_2 \approx 3,4\text{mm}$$

8. Các phương trình của từ trường sóng ánh sáng trong chân không là:

$$B_x = B \cdot \sin(\omega t + ky)$$

$$B_y = B_z = 0$$

với $k = \frac{\omega}{v}$, v vận tốc truyền sóng. Cho biết:

- Phương truyền sóng.
- Phương trình của điện trường E .
- Sóng ánh sáng có phân cực không? Nếu có theo phương nào?

GIAO THOA ÁNH SÁNG

MỤC TIÊU

1. Hiểu được nguyên lý Huyghens – Fresnel, vận dụng nguyên lý để giải thích hiện tượng giao thoa ánh sáng.
2. Nắm được lý thuyết chung về giao thoa ánh sáng, vận dụng để giải thích hiện tượng giao thoa của hai chùm tia sáng.
3. Trình bày được nguyên tắc cấu tạo, vận hành và ứng dụng của giao thoa kế Reyleigh.

Trong thực tế có nhiều hiện tượng nếu chỉ dựa vào các định luật của quang hình học sẽ không giải thích được, ví dụ như các hiện tượng giao thoa, nhiễu xạ... Phải xét đến bản chất sóng của ánh sáng mới giải thích được các hiện tượng này. Đó chính là nội dung của quang học sóng.

20.1. NGUYÊN LÝ HUYGHENS – FRESNEL

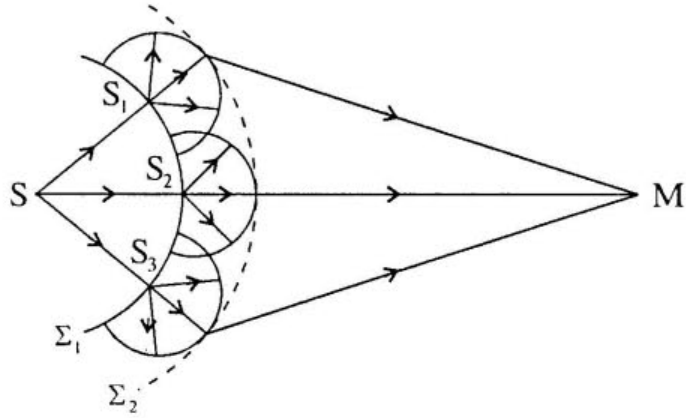
Nguyên lý Huyghens – Fresnel được phát biểu như sau:

Trong một môi trường trong suốt, đồng nhất, đẳng hướng, ánh sáng từ một nguồn sáng điểm sẽ lan truyền theo mọi phương với cùng một vận tốc. Tại mỗi điểm của môi trường mà sóng sáng truyền tới, đều được coi là một trung tâm phát sóng mới (gọi là sóng thứ cấp). Sóng thứ cấp hình bán cầu, lan truyền về phía trước với vận tốc không đổi. Bao hình của các sóng nguyên tố thứ cấp tại một thời điểm nào đấy là mặt sóng hình học tại thời điểm đó.

Biên độ và pha của nguồn thứ cấp là biên độ và pha do nguồn sáng thực (nguồn sơ cấp) gây ra tại vị trí của nguồn thứ cấp.

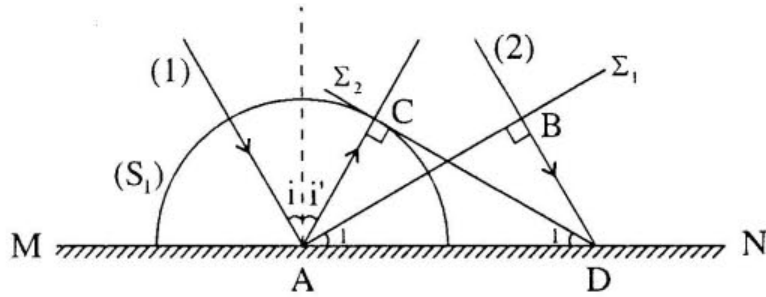
Các sóng thứ cấp là những sóng kết hợp, chúng có thể giao thoa với nhau. Dao động sóng tại một điểm nào đó sẽ bằng tổng hợp các dao động sóng từ các nguồn sóng thứ cấp truyền đến.

Có thể dùng nguyên lý Huyghens – Fresnel để chứng minh các định luật phản xạ và khúc xạ ánh sáng.



Hình 20.1. Minh họa nguyên lý Huyghens – Fresnel.

Giả sử có chùm tia sáng song song, giới hạn bởi hai tia biên (1) và (2) (hình 20.2), chiếu tới mặt phản xạ MN dưới một góc tới i với điều kiện $i \neq 0^\circ$ và $i \neq 90^\circ$.



Hình 20.2. Chứng minh định luật phản xạ ánh sáng.

Tại thời điểm t_1 tia (1) đi tới điểm A trên mặt MN, tia (2) đi tới điểm B (xác định điểm B bằng cách từ A vẽ mặt phẳng Σ_1 vuông góc với chùm tia (1) và (2), mặt Σ_1 cắt tia (2) tại B). Như vậy Σ_1 là mặt sóng hình học của chùm tia (1) và (2) tại thời điểm t_1 .

Đến thời điểm t_2 , khi đó tia (2) đi tới điểm D trên mặt MN và tia (1) phản xạ trở lại, tạo nên mặt sóng phản xạ S_1 (theo nguyên lý Huyghens – Fresnel, lúc này coi A là tâm phát sóng thứ cấp, phát đi các sóng bán cầu thứ cấp về phía trước). Từ D vẽ mặt phẳng Σ_2 tiếp xúc với mặt bán cầu S_1 tại C. Nối AC, ta thấy AC vuông góc với DC, vậy AC là tia phản xạ và Σ_2 là mặt sóng hình học của chùm tia phản xạ tại thời điểm t_2 . Góc i' là góc phản xạ.

Xét hai tam giác vuông $ACD = ABD$ vì:

+ Có cạnh AD chung.

+ $AC = BD$ (vì theo định lý Malus ta có: $[AC] = [BD]$ hay $n.AC = n.BD$, nên $AC = BD$).

Vậy $\widehat{A}_1 = \widehat{D}_1$ mà $\widehat{A}_1 = i$ và $\widehat{D}_1 = i'$. Do đó:

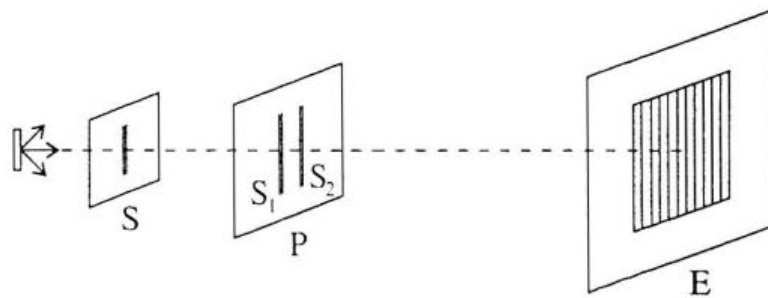
$$i = i'$$

Như vậy, định luật phản xạ ánh sáng đã được chứng minh.

20.2. LÝ THUYẾT CHUNG VỀ HIỆN TƯỢNG GIAO THOA ÁNH SÁNG

20.2.1. Thí nghiệm Young

Chiếu sáng một khe hẹp S bằng nguồn sáng đơn sắc. Khe S trở thành một nguồn sáng. Phía sau khe S đặt màn chắn P có khoét hai khe hẹp gần nhau và song song với nhau S_1 và S_2 . Đặt sao cho ba khe S, S_1 và S_2 song song với nhau và khe S cách đều hai khe S_1 và S_2 . Đặt màn ảnh E ở phía sau P, ta thấy xuất hiện trên màn ảnh E những vân sáng và vân tối xen kẽ nhau và ở chính giữa là một vân sáng (hình 20.3).



Hình 20.3. Thí nghiệm Young.

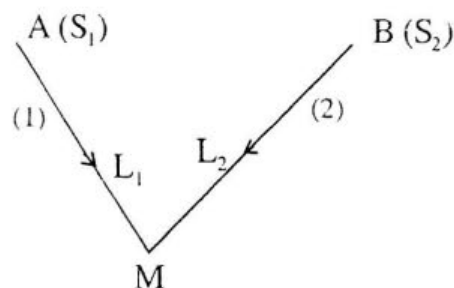
Hiện tượng xuất hiện các vân sáng, tối ở màn E gọi là hiện tượng giao thoa. Các vân sáng và vân tối gọi là các vân giao thoa. Vậy:

Hiện tượng hai hay nhiều sóng sáng giao nhau, tạo nên trong không gian những miền sáng và tối gọi là hiện tượng giao thoa ánh sáng.

20.2.2. Điều kiện để có giao thoa ánh sáng. Nguồn kết hợp

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, không phải trong bất kỳ trường hợp nào các sóng sáng giao nhau cũng đều gây nên hiện tượng giao thoa. Ví dụ, hai ngọn đèn treo trong phòng bao giờ cũng làm cho phòng sáng hơn khi chỉ có một bóng đèn. Vì thế phải xét xem trong trường hợp nào sẽ xảy ra hiện tượng giao thoa ánh sáng?

Ta hãy xét dao động sáng tổng hợp do hai nguồn sáng A và B gây ra tại M (hình 20.4). Giả sử hai nguồn đó phát ra hai sóng sáng có cùng chu kỳ T, cùng phương dao động. Phương trình của hai sóng sáng đó tại M ở thời điểm t là:



Hình 20.4. Điều kiện để có giao thoa ánh sáng.

$$x_1 = a_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_1\right) \quad (20.1)$$

$$x_2 = a_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_2\right) \quad (20.2)$$

Dùng phương pháp tổng hợp vectơ biên độ quay của hai sóng dao động cùng phương, cùng chu kỳ đã rút ra kết luận là dao động sóng tổng hợp cũng là một dao động điều hoà có cùng chu kỳ và cùng phương với các dao động thành phần. Phương trình dao động của sóng tổng hợp có dạng:

$$x = a \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi\right) \quad (20.3)$$

Trong đó, biên độ a được tính theo công thức:

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} \quad (20.4)$$

$(\varphi_1 - \varphi_2)$ là hiệu pha ban đầu của hai dao động. Pha ban đầu φ của dao động sóng tổng hợp x được tính theo công thức:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{a_1 \cdot \sin \varphi_1 + a_2 \cdot \sin \varphi_2}{a_1 \cdot \cos \varphi_1 + a_2 \cdot \cos \varphi_2} \quad (20.5)$$

Ta đã biết cường độ sáng tỷ lệ với bình phương của biên độ:

$$I \sim a^2$$

Hay $I = k \cdot a^2$

Vậy cường độ của sóng sáng tổng hợp tại M bằng (xem $k = 1$):

$$I = a^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (20.6)$$

Nhìn vào (20.6) ta thấy cường độ sáng I tại M phụ thuộc vào hiệu pha ban đầu $(\varphi_1 - \varphi_2)$ của hai sóng sáng giao nhau tại M. Có thể xảy ra hai trường hợp.

20.2.2.1. Hiệu pha ban đầu $(\varphi_1 - \varphi_2)$ luôn thay đổi theo thời gian

Khi đó $\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$ có thể lấy mọi giá trị từ -1 đến $+1$. Giá trị trung bình của $\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$ tính theo thời gian sẽ bằng 0.

$$\overline{\cos(\varphi_1 - \varphi_2)} = 0$$

Do đó giá trị trung bình cường độ sáng I tại M sẽ bằng:

$$\bar{I} = \overline{a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)} = a_1^2 + a_2^2 \quad (20.7)$$

Như vậy tại mọi điểm khác nhau trong không gian cường độ sáng đều như nhau và đều bằng \bar{I} , nghĩa là không có hiện tượng giao thoa.

20.2.2.2. Hiệu pha ban đầu $(\varphi_1 - \varphi_2)$ không thay đổi theo thời gian

Tại M ta luôn có $(\varphi_1 - \varphi_2) = \text{const.}$

Khi đó cường độ sáng I tại M sẽ có giá trị hoàn toàn xác định và không thay đổi theo thời gian.

Tại những điểm khác nhau, cường độ sáng I tùy thuộc vào hiệu pha $(\varphi_1 - \varphi_2)$ ở tại điểm đó, nó có thể lớn hơn hay nhỏ hơn so với nhau. Do đó, trong không gian sẽ có những điểm sáng hơn hay tối hơn. Nghĩa là có hiện tượng giao thoa ánh sáng.

20.2.2.3. Kết luận

Điều kiện cần và đủ để có giao thoa ánh sáng là hai sóng sáng giao nhau phải có cùng chu kỳ (hay cùng tần số), có hiệu pha ban đầu không đổi theo thời gian và cùng phương dao động.

Hai sóng sáng có cùng chu kỳ, có hiệu pha ban đầu không đổi gọi là hai sóng kết hợp. Nguồn phát ra các sóng kết hợp gọi là nguồn kết hợp.

Vậy có thể nói theo cách khác là các sóng muốn giao thoa với nhau phải là các sóng kết hợp và có cùng phương dao động.

Ta biết rằng ánh sáng là do các nguyên tử của nguồn phát ra. Thực nghiệm chứng tỏ nguyên tử phát sóng không liên tục, chúng phát ra từng đoàn sóng một, các đoàn sóng này độc lập với nhau, nên pha ban đầu của chúng khác nhau.

Nếu ta xét ánh sáng phát ra từ hai nguồn riêng biệt, thì tại một điểm nào đó sẽ nhận được các cặp đoàn sóng do hai nguồn gửi tới, mỗi cặp đoàn sóng này sẽ có một hiệu pha nào đó. Hiệu pha này luôn luôn thay đổi theo thời gian. Kết quả là sóng do hai nguồn riêng biệt phát ra là hai sóng không kết hợp.

Tuy nhiên bằng cách nào đó, ta tách sóng phát ra từ một nguồn duy nhất thành hai sóng, sau đó lại cho chúng gặp nhau, thì hiệu pha của hai sóng sẽ không phụ thuộc thời gian. Lúc đó ta có hai sóng kết hợp. Như vậy nguyên tắc tạo ra hai sóng kết hợp là từ một sóng duy nhất tách ra thành hai sóng riêng biệt.

Khe Young hay gương Fresnel là những dụng cụ tạo ra những nguồn kết hợp.

20.2.3. Bài toán tổng quát về giao thoa ánh sáng. Cực đại và cực tiểu giao thoa

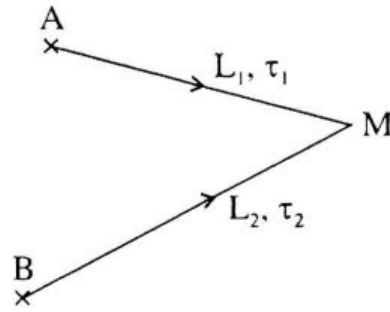
Giả sử có hai nguồn sáng đơn sắc A và B là những nguồn kết hợp, có cùng phương dao động và có phương trình dao động là:

$$x_A = x_B = a_0 \cdot \cos \omega t = a_0 \cdot \cos \frac{2\pi}{T} \cdot t \quad (20.8)$$

Hãy tìm dao động sóng tổng hợp tại M . Gọi L_1, L_2 là quang lộ của tia AM và BM . Thời gian để sóng sáng đi từ A tới M là $T_1 = \frac{L_1}{C}$. Thời gian để sóng sáng đi từ

B tới M là $T_2 = \frac{L_2}{C}$. Vậy phương trình dao động sóng tại M ở thời điểm t do nguồn

A truyền tới sẽ giống như phương trình dao động sóng tại A ở thời điểm $(t - T_1)$:



Hình 20.5

$$x_1 = a_1 \cdot \cos \frac{2\pi}{T} \cdot (t - T_1) = a_1 \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L_1}{\lambda} \right)$$

Với $a_1 < a_0$ và $\lambda = C.T$.

Tương tự, phương trình dao động sóng tại M ở thời điểm t do nguồn sáng B gửi tới là:

$$x_2 = a_2 \cdot \cos \frac{2\pi}{T} \cdot (t - T_2) = a_2 \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{L_2}{\lambda} \right)$$

Với $a_2 < a_0$.

Vậy dao động sóng tổng hợp tại M do hai nguồn kết hợp A và B gửi tới ở thời điểm t là:

$$x = x_1 + x_2 = a \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi \right) \quad (20.9)$$

Trong đó, a và φ được tính theo (20.4) và (20.5). Cường độ sóng tổng hợp I tại M phụ thuộc vào hiệu pha ban đầu $(\varphi_1 - \varphi_2)$ của hai dao động x_1 và x_2 :

$$I = a_1^2 + a_2^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Ở đây ta có hiệu pha ban đầu:

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = 2\pi \left(-\frac{L_1}{\lambda} \right) - 2\pi \left(-\frac{L_2}{\lambda} \right)$$

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = 2\pi \cdot \frac{L_2 - L_1}{\lambda} \quad (20.10)$$

Như vậy cường độ I sẽ phụ thuộc vào hiệu quang lộ $(L_2 - L_1)$ của hai tia sáng. Có hai trường hợp xảy ra:

20.2.3.1. Hai sóng sáng giao nhau cùng pha

Tức hiệu pha $(\varphi_1 - \varphi_2)$ bằng một số chẵn lần của π :

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{2\pi}{\lambda} (L_2 - L_1) = 2k\pi \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Hay:

$$L_2 - L_1 = k\lambda = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (20.11)$$

Khi đó $\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = 1$ và I đạt cực đại:

$$I_{\max} = (a_1 + a_2)^2 \quad (20.12)$$

Đặc biệt khi $L_1 \cong L_2$ thì có thể xem $a_1 \cong a_2$, vậy:

$$I_{\max} = 4a_1^2 \quad (20.13)$$

Tức là tại M ta có một điểm sáng nhất.

Vậy: *Những điểm có cường độ sáng cực đại (sáng nhất) là những điểm tại đó hiệu quang lộ của hai sóng sáng giao nhau bằng một số nguyên lần bước sóng (hay bằng một số chẵn lần nửa bước sóng). Những điểm này gọi là các cực đại giao thoa.*

20.2.3.2. Hai sóng sáng giao nhau ngược pha

Tức hiệu pha $(\varphi_1 - \varphi_2)$ bằng một số lẻ lần π :

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{2\pi}{\lambda}(L_2 - L_1) = (2k + 1)\pi$$

Hay:

$$\begin{aligned} L_2 - L_1 &= (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \\ &= \left(k + \frac{1}{2}\right) \lambda \end{aligned} \quad (20.14)$$

Khi đó $\cos(\varphi_1 - \varphi_2) = -1$ và I có giá trị cực tiểu:

$$I_{\min} = (a_1 - a_2)^2 \quad (20.15)$$

Đặc biệt khi $a_1 \cong a_2$ (tức là $L_1 \cong L_2$) thì:

$$I_{\min} = 0 \quad (20.16)$$

Tại M là điểm tối hoàn toàn.

Vậy: *Những điểm có cường độ sáng cực tiểu (tối nhất) là những điểm tại đó hiệu quang lộ của hai sóng sáng giao nhau bằng một số lẻ lần nửa bước sóng. Những điểm này gọi là cực tiểu giao thoa.*

20.2.3.3. Kết luận

Từ những kết luận ở trên, ta rút ra phương pháp tổng quát để nghiên cứu ảnh giao thoa:

Trong những trường hợp cụ thể, muốn xác định hình dạng và vị trí vân giao thoa, ta phải tính hiệu quang lộ $(L_2 - L_1)$ của hai sóng kết hợp tại một giao điểm

M bất kỳ của chúng. Sau đó áp dụng điều kiện cho cực đại (20.11) và cực tiểu (20.14) giao thoa, rồi cho k những giá trị $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ta sẽ được một tập hợp những cực đại giao thoa (điểm sáng nhất) hoặc những cực tiểu giao thoa (điểm tối nhất).

Dưới đây sẽ áp dụng phương pháp này để khảo sát một vài hiện tượng giao thoa điển hình.

20.2.3.4. Chú ý

Khi hai sóng xuất phát từ một nguồn, đi theo những đường đi khác nhau (hay qua những môi trường có chiết suất khác nhau), rồi qua cùng một điểm để xảy ra hiện tượng giao thoa, thì để xác định hiệu số pha của hai sóng (cũng chính là hiệu quang lộ của hai sóng), người ta sẽ xác định hiệu số bước sóng đã đi được qua hai lộ trình đó.

Ta đã biết giữa chiết suất của môi trường và bước sóng ánh sáng có mối liên quan:

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n} \quad (20.17)$$

Trong đó: λ_n là bước sóng ánh sáng trong môi trường có chiết suất là n .

λ là bước sóng ánh sáng trong chân không (không khí).

n là chiết suất của môi trường ánh sáng đi qua.

Hai sóng có bước sóng λ lúc đầu cùng pha, một sóng đi qua môi trường có chiết suất n_1 , sóng kia đi qua môi trường có chiết suất n_2 , giả sử quãng đường đi hình học của hai sóng đều bằng nhau và bằng l . Do chiết suất của hai môi trường khác nhau nên bước sóng trong hai môi trường cũng khác nhau. Vì vậy, khi đi ra khỏi môi trường hai sóng không còn cùng pha nữa.

Hãy tính hiệu số pha mới theo bước sóng.

Gọi N_1 là số bước sóng chứa trong quãng đường l ở môi trường có chiết suất n_1 là:

$$N_1 = \frac{l}{\lambda_{n_1}} = \frac{l \cdot n_1}{\lambda} \quad (20.18)$$

Tương tự ta có N_2 là số bước sóng chứa trong quãng đường l ở môi trường có chiết suất n_2 là:

$$N_2 = \frac{l}{\lambda_{n_2}} = \frac{l \cdot n_2}{\lambda} \quad (20.19)$$

Giả sử $n_2 > n_1$, thì hiệu số bước sóng giữa hai môi trường là:

$$N_2 - N_1 = \frac{l}{\lambda} \cdot (n_2 - n_1) = \frac{L_2 - L_1}{\lambda} \quad (20.20)$$

Vậy:

$$L_2 - L_1 = (N_2 - N_1) \cdot \lambda \quad (20.21)$$

Ví dụ: nếu $N_2 - N_1 = 27,6\lambda$ thì điều đó tương đương với việc lấy các sóng ban đầu cùng pha với nhau, rồi dịch chuyển một trong hai sóng đi một quãng đường bằng $27,6\lambda$. Do việc chuyển một số nguyên lần bước sóng (ở đây là 27) làm cho hai sóng trở lại cùng pha với nhau, nên chỉ phần lẻ (cụ thể ở đây là 0,6) của λ là quan trọng. Như vậy hiệu số pha của $27,6\lambda$ tương đương với hiệu số pha $0,6\lambda$. Ta biết rằng, hiệu số pha bằng $0,5\lambda$ làm cho hai sóng ngược pha nhau, nên tại điểm giao nhau sẽ là cực tiểu giao thoa (điểm tối). Ở đây hai sóng lệch pha nhau $0,6\lambda$, vì nó gần với điểm tối nên tại đó sẽ là một điểm mờ.

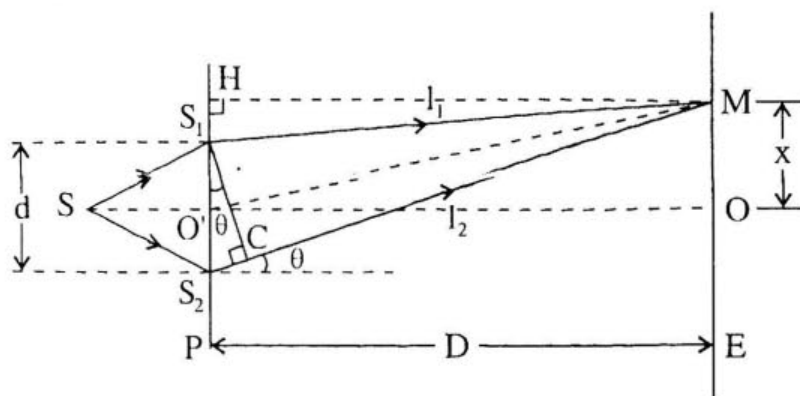
20.3. GIAO THOA CỦA HAI CHÙM TIA SÁNG

Ta hãy khảo sát hiện tượng giao thoa trong thí nghiệm Young.

Lúc này hai khe hẹp S_1 và S_2 xem như là hai nguồn kết hợp phát sóng thứ cấp truyền về phía trước nó. Trên màn ảnh E ta hứng được ảnh giao thoa qua hai khe S_1 và S_2 (hình 20.6).

20.3.1. Hình dạng vân giao thoa

Ta hãy xét xem với điều kiện nào thì tại điểm M nằm trên màn E sẽ ứng với cực đại hay cực tiểu giao thoa.



Hình 20.6. Thí nghiệm Young.

Giả sử thí nghiệm Young làm trong không khí ($n \approx 1$) khi đó quang lộ của các tia sáng là:

$$L_1 = [S_1M] = n \cdot l_1 = l_1$$

$$L_2 = [S_2M] = n \cdot l_2 = l_2$$

Ở đây l_1 và l_2 là độ dài hình học của các tia S_1M và S_2M .

Áp dụng công thức cho điều kiện cực đại và cực tiểu giao thoa ta có:

- Điều kiện cho cực đại giao thoa tại điểm M là:

$$L_2 - L_1 = l_2 - l_1 = d \cdot \sin\theta = k \cdot \lambda = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (20.22)$$

- Điều kiện cho cực tiểu giao thoa tại điểm M là:

$$L_2 - L_1 = l_2 - l_1 = d \cdot \sin\theta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (20.23)$$

Theo hình giải tích: Quỹ tích của những điểm trong không gian có hiệu số khoảng cách tính từ chúng đến hai điểm cố định cho trước bằng một số không đổi là một mặt hyperbolloit (hyperbol tròn xoay) có hai tiêu điểm là hai điểm cố định đó.

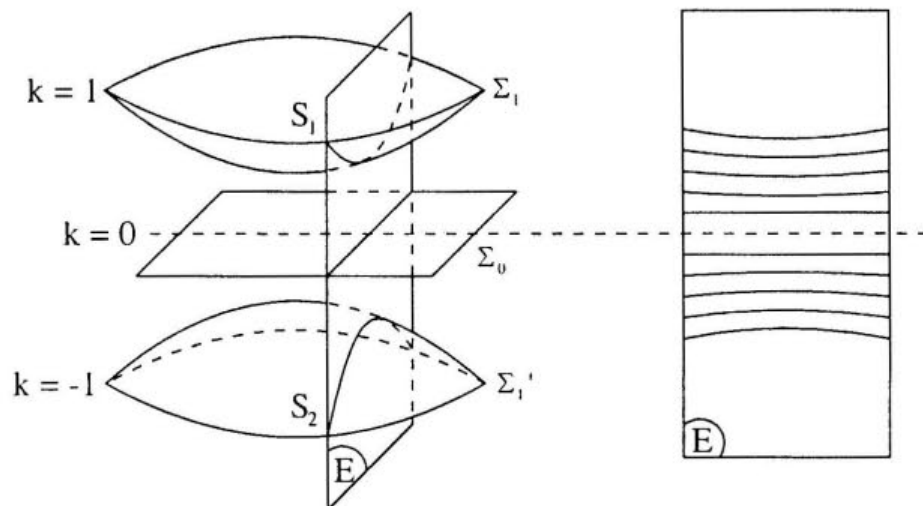
Từ đây rút ra kết luận:

- Tập hợp các cực đại giao thoa xác định bởi công thức (20.22) sẽ nằm trên một họ mặt hyperbol $\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_1', \Sigma_2' \dots$ (ứng với những giá trị khác nhau của k) nhận S_1, S_2 làm tiêu điểm. Các mặt hyperbolloit này nằm đối xứng với nhau qua mặt phẳng trung trực Σ_0 . Mặt Σ_0 ứng với $k = 0$ (hình 20.7).

- Tập hợp các cực tiểu giao thoa xác định bởi công thức (20.23) sẽ nằm trên một họ mặt hyperbolloit khác nằm xen vào giữa họ mặt hyperbolloit của những cực đại giao thoa.

- Màn ảnh E cắt mặt phẳng Σ_0 theo một đường thẳng, cắt các mặt hyperbolloit theo những đường hyperbol. Vì khoảng cách $S_1 S_2$ rất nhỏ, bước sóng λ lại càng nhỏ hơn, nên các mặt hyperbolloit rất dẹt. Do vậy các đường hyperbol trên màn E có độ cong rất nhỏ, xem như là những đoạn thẳng.

- Kết quả là trên màn ảnh E ta thấy các đường thẳng sáng, tối xen kẽ với nhau. Ở giữa là một vân sáng. Đó chính là hình ảnh giao thoa qua hai khe ta thu được trên màn E.



Hình 20.7. Hình ảnh giao thoa qua hai khe.

20.3.2. Vị trí của các vân giao thoa

Gọi khoảng cách giữa S_1 và S_2 là d , khoảng cách giữa màn chắn P và màn ảnh E là D . Để xác định vị trí các vân giao thoa, ta hãy tính khoảng cách x từ điểm giữa O đến điểm M tại đó ta quan sát vân giao thoa (hình 20.6).

Xét tam giác vuông S_1HM và S_2HM ta có:

$$l_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$l_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

Rút ra:

$$l_2^2 - l_1^2 = 2.x.d$$

Hay:

$$l_2 - l_1 = \frac{2.x.d}{l_2 + l_1}$$

Do $D \gg d$ và điểm M ở gần điểm giữa O nên hai tia S_1M và S_2M nghiêng rất ít so với phương nằm ngang OO' , vì thế có thể xem:

$$l_1 + l_2 \cong 2D$$

Vậy:

$$l_2 - l_1 = \frac{d}{D}.x \quad (20.24)$$

Do đó các cực đại giao thoa sẽ nằm cách điểm giữa O một khoảng x_{\max} thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{d}{D}.x_{\max} = k.\lambda$$

Hay:

$$x_{\max} = k.\frac{\lambda.D}{d}, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)(20.25)$$

Các cực tiểu giao thoa sẽ nằm cách điểm O một khoảng x_{\min} thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{d}{D}.x_{\min} = (2k + 1).\frac{\lambda}{2}$$

Hay:

$$x_{\min} = \left(k + \frac{1}{2}\right).\frac{\lambda.D}{d}, \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (20.26)$$

Rõ ràng khi $k = 0$ thì $x_{\max} = 0$, tức là tại điểm giữa O ta có một vân sáng, gọi là vân sáng giữa.

Từ (20.25) và (20.26), ta suy ra khoảng cách giữa hai vân sáng (hoặc hai vân tối) liên tiếp bằng:

$$i = x_{(k+1)} - x_k = \frac{\lambda D}{d} \quad (20.27)$$

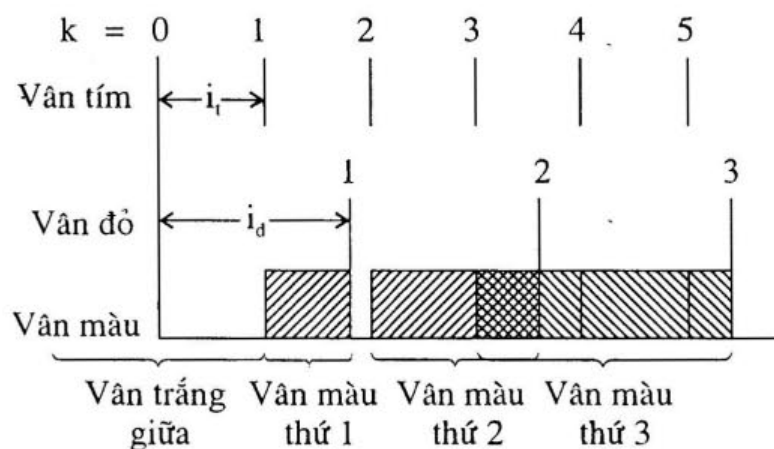
Từ (20.27) ta thấy, nếu biết D và d, đo được khoảng cách i thì sẽ xác định được bước sóng λ do nguồn phát ra:

$$\lambda = \frac{d \cdot i}{D} \quad (20.28)$$

Đây là phương pháp đo bước sóng ánh sáng chính xác tới khoảng $0,001 \mu\text{m}$. Cũng từ (20.27) ta thấy, muốn quan sát ảnh giao thoa được dễ dàng thì i phải lớn, tức là d phải nhỏ và D phải lớn. Do đó trong thí nghiệm Young, hai khe S_1 và S_2 phải rất sát nhau ($d \approx 0,5 \text{ mm}$) và màn E đặt khá xa hai khe ($D \approx 1 \text{ m}$). Tuy vậy trên thực tế hệ vân vẫn rất sát nhau. Cho nên muốn quan sát được dễ dàng phải dùng một thị kính đặt ở vị trí của màn E và nhìn qua thị kính đó.

20.3.3. Ảnh giao thoa khi dùng ánh sáng trắng

Theo công thức (20.27) ta thấy khoảng cách i giữa hai vân sáng (hoặc hai vân tối) liên tiếp sẽ có giá trị khác nhau đối với những ánh sáng có bước sóng λ khác nhau. Vì thế khi ánh sáng từ nguồn S_1 và S_2 phát ra là ánh sáng trắng có $\lambda = 400 \div 800\text{nm}$, thì mỗi ánh sáng đơn sắc trong ánh sáng trắng sẽ cho một hệ thống vân giao thoa có màu sắc khác nhau. Những vân màu khác nhau ứng với cùng một giá trị k sẽ hợp thành một vân sáng nhiều màu gọi là vân màu (giống màu cầu vồng, phía trong tím ngoài đỏ). Ở giữa là một vân sáng trắng, vì tại đó có sự chồng chất của tất cả các vân sáng có màu khác nhau (đều ứng với $k = 0$) (hình 20.8).



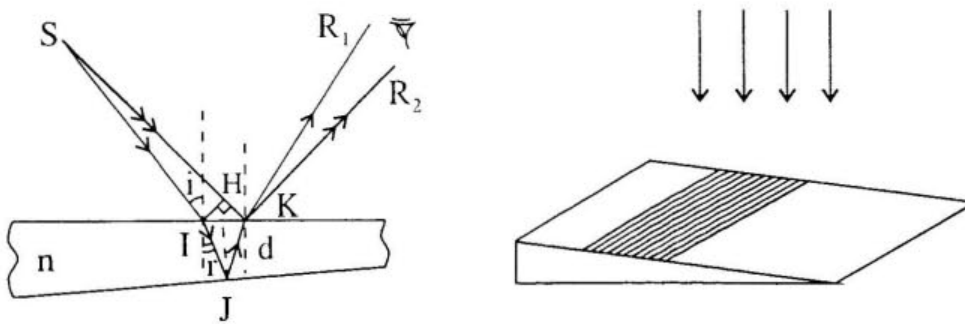
Hình 20.8. Giao thoa khi dùng ánh sáng trắng.

20.4. GIAO THOA GÂY BỞI CÁC BẢN MỎNG

Bản mỏng là những bản trong suốt có độ dày khoảng vài phần trăm milimet (màng xà phòng, váng dầu...) giới hạn bởi hai mặt (có thể là phẳng hoặc không phẳng).

20.4.1. Bản mỏng có bề dày thay đổi – vân cùng độ dày

Giả sử có bản mỏng có bề dày thay đổi, có chiết suất là n . Ánh sáng đơn sắc từ nguồn S chiếu tới mặt bản. Mỗi tia sáng đơn sắc chiếu lên mặt bản đều cho hai tia phản xạ, một tại mặt trên, một tại mặt dưới. Ta hãy điều tiết để mắt nhìn rõ mặt màng, như vậy mắt sẽ đón nhận các tia phản xạ này (hình 20.9).



Hình 20.9. Vân cùng độ dày.

Ta xét cặp tia phản xạ từ mỗi điểm trên mặt màng. Tia KR_2 do tia tới SK phản xạ từ mặt trên, tia KR_1 do tia tới SI phản xạ từ mặt dưới của màng. Cặp tia KR_1 và KR_2 là hai sóng kết hợp nên chúng giao thoa với nhau. Tùy theo hiệu quang lộ của chúng mà điểm K có thể là cực đại (điểm sáng) hay cực tiểu (điểm tối). Hãy tính hiệu quang lộ này.

Kẻ $IH \perp SK$. Vì nguồn sáng rộng và ở rất xa bản nên có thể xem $IS \cong SH$, do vậy hiệu quang lộ của hai tia:

$$\begin{aligned}
 [SIJK] - [SK] &= [IJK] - [HK] \\
 [IJK] - [HK] &= n.(IJ + JK) - (HK + \frac{\lambda}{2}) \quad (20.29)
 \end{aligned}$$

Số hạng $\frac{\lambda}{2}$ xuất hiện do tia SK phản xạ tại mặt trên ở điểm K (thực nghiệm đã chứng tỏ rằng, khi tia sáng phản xạ trên mặt giới hạn của môi trường có tính chiết quang mạnh hơn môi trường chứa tia tới thì quang lộ của nó sẽ dài thêm một đoạn là $\frac{\lambda}{2}$).

Sau một vài biến đổi lượng giác ta rút ra:

$$[IJK] - [HK] = 2n.d.\cos r - \frac{\lambda}{2} \quad (20.30)$$

Từ (20.30) ta thấy rằng tại K giá trị hiệu quang lộ phụ thuộc vào bề dày d của màng tại điểm đó, vào góc khúc xạ r (cũng tức là vào góc tới i). Nhưng do nguồn sáng S rộng và ở rất xa màn nên có thể xem các tia tới có góc tới i như nhau, nghĩa là góc r cũng như nhau, đối với mọi điểm của màng. Do đó những chỗ màng có cùng bề dày d thoả mãn điều kiện:

$$[IJK] - [HK] = L_2 - L_1 = 2n.d.\cos r - \frac{\lambda}{2} = k.\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \dots) \quad (20.31)$$

Thì tại đó ứng với cực đại giao thoa – vân sáng.

Những điểm có bề dày sao cho:

$$[IJK] - [HK] = L_2 - L_1 = 2n.d.\cos r - \frac{\lambda}{2} = (k + \frac{1}{2}).\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \dots) \quad (20.32)$$

Thì tại đó ứng với cực tiểu giao thoa – vân tối.

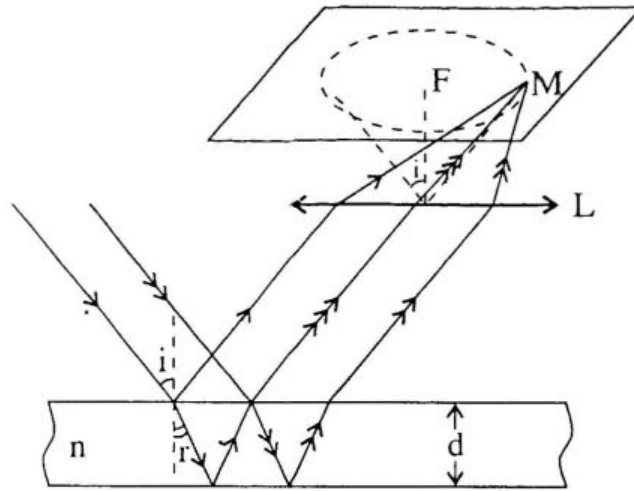
Vì lẽ đó các vân sáng, tối trên màng có tên là vân cùng độ dày.

Thông thường bản mỏng được chiếu bằng ánh sáng trắng (ngoài trời) ta thấy sẽ xảy ra hiện tượng sau. Tại các điểm có bề dày ứng với cực đại (điểm sáng) của bước sóng này, nhưng lại có thể là cực tiểu (điểm tối) của bước sóng kia. Nói cách khác, những vân tối với màu này thì lại sáng với màu khác. Nhờ thế bản mỏng có màu sắc rực rỡ của cầu vồng. Các vân cùng màu ứng với các vị trí của màng có cùng độ dày. Màng xà phòng, váng dầu là những ví dụ về vân cùng độ dày.

20.4.2. Bản mỏng có bề dày không đổi – vân cùng độ nghiêng

Xét một bản mỏng có bề dày không đổi d, chiết suất n (hình 20.10). Rọi sáng bản bằng một nguồn sáng rộng. Xét một chùm sáng song song đập lên bản dưới góc tới là i. Mỗi tia của chùm khi đập lên bản sẽ tách thành hai: một phần phản xạ ở ngay mặt trên, một phần đi vào bản mỏng, phản xạ ở mặt dưới, đi lên trên và ló ra ngoài. Ra ngoài không khí hai tia phản xạ này song song với nhau. Vì từ một tia tách ra nên hai tia đó là hai tia kết hợp, chúng sẽ giao thoa với nhau ở vô cực hay tại mặt phẳng tiêu của thấu kính hội tụ.

Hiệu quang lộ của hai tia được xác định theo công thức (20.30). Vì d không đổi, do đó hiệu quang lộ chỉ phụ thuộc vào góc nghiêng i (cũng chính là vào góc khúc xạ r). Nếu góc nghiêng i có giá trị sao cho: $L_2 - L_1 = k\lambda$ thì M là điểm sáng, còn nếu góc nghiêng i thoả mãn điều kiện: $L_2 - L_1 = (k + \frac{1}{2})\lambda$ thì M là điểm tối.



Hình 20.10. Vân cùng độ nghiêng.

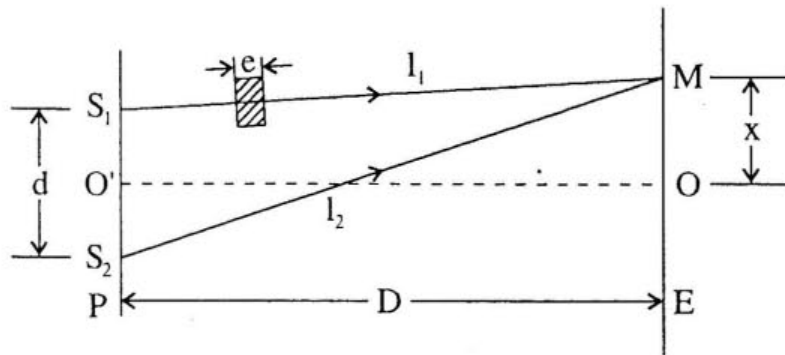
Do bản được chiếu bằng nguồn sáng rộng, cho nên có nhiều chùm sáng đập lên bản với cùng góc tới i . Xét các chùm sáng có cùng góc tới i và nằm xung quanh trục của thấu kính. Các chùm sáng này sẽ hội tụ tại các điểm nằm trên một đường tròn có tâm tại F . Cường độ sáng tại các điểm trên đường tròn đều bằng nhau và đường tròn đó chính là vân giao thoa. Với các góc nghiêng khác nhau ta được các vân giao thoa khác nhau. Các vân giao thoa đó là những đường tròn đồng tâm và được gọi là vân giao thoa cùng độ nghiêng.

20.5. ỨNG DỤNG HIỆN TƯỢNG GIAO THOA

20.5.1. Đo chiết suất chất lỏng và chất khí – Giao thoa kế Rayleigh

20.5.1.1. Nguyên tắc

Trên đường đi của tia sáng S_1M ta đặt một bản trong suốt có chiết suất n và bề dày e (hình 20.11).



Hình 20.11. Nguyên tắc cấu tạo giao thoa kế Rayleigh.

Trong trường hợp này hiệu quang lộ sẽ bằng:

$$L_2 - L_1 = l_2 - [(l_1 - e) + ne] = (l_2 - l_1) - (n - 1).e$$

Thay giá trị $l_2 - l_1 = \frac{d}{D}x$ vào công thức trên ta sẽ xác định được vị trí các vân sáng:

$$\frac{d}{D}x_{\max} - (n-1)e = k\lambda$$

$$x_{\max} = (n-1)\frac{eD}{d} + k\frac{\lambda D}{d} \quad (20.33)$$

Công thức (20.33) chứng tỏ khoảng cách giữa các vân sáng (hoặc vân tối) nằm kế nhau vẫn bằng $i = \frac{\lambda D}{d}$. Còn vân sáng ở giữa O_1 (ứng với $k = 0$) sẽ nằm cách vân sáng giữa cũ O một khoảng:

$$x_0 = (n-1)\frac{eD}{d} \quad (20.34)$$

Vì $n > 1$ nên $x_0 > 0$, nghĩa là O_1 sẽ dịch chuyển về phía có đặt bản mỏng.

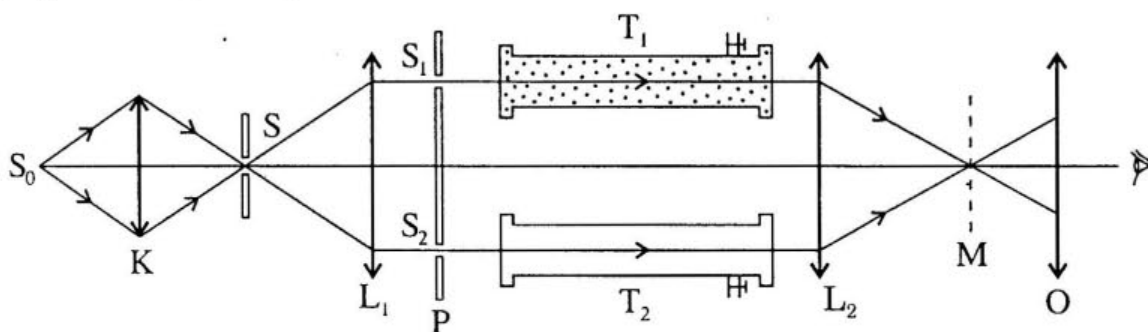
Nhìn vào (20.34) ta thấy, nếu biết e, D, d đo được độ dịch chuyển của vân sáng giữa x_0 thì ta có thể xác định được chiết suất n của chất cần đo.

Đó chính là nguyên tắc hoạt động của giao thoa kế Rayleigh.

20.5.1.2. Cấu tạo, vận hành

Sơ đồ cấu tạo trình bày trên hình 20.12.

Ánh sáng (ánh sáng trắng) từ nguồn S_0 nhờ thấu kính K hội tụ trên khe S đặt ở tiêu điểm của thấu kính L_1 . Sau L_1 là màn chắn P có hai khe hẹp S_1 và S_2 . Hai chùm tia sáng song song từ S_1 và S_2 sau khi đi qua hai ống như nhau T_1 và T_2 sẽ hội tụ tại mặt phẳng tiêu của thấu kính L_2 . Hệ vân giao thoa trên màn ảnh M được quan sát qua thị kính O .



Hình 20.12. Sơ đồ cấu tạo giao thoa kế Rayleigh.

Giả sử lúc đầu T_1 và T_2 đều chứa chất cần đo có chiết suất n . Khi đó vân sáng trung tâm sẽ ở chính giữa thị trường. Sau đó rút hết chất ra khỏi một ống (ví dụ ống T_2) thì vân trung tâm sẽ dịch chuyển về phía ngắn kia (dịch chuyển lên trên

phía ống T_1). Nhờ một thiết bị đo ta xác định được độ dịch chuyển x_0 này. Các giá trị D , d , e của máy đã biết trước. Dựa vào công thức (20.34) sẽ tính được chiết suất n của chất cần đo.

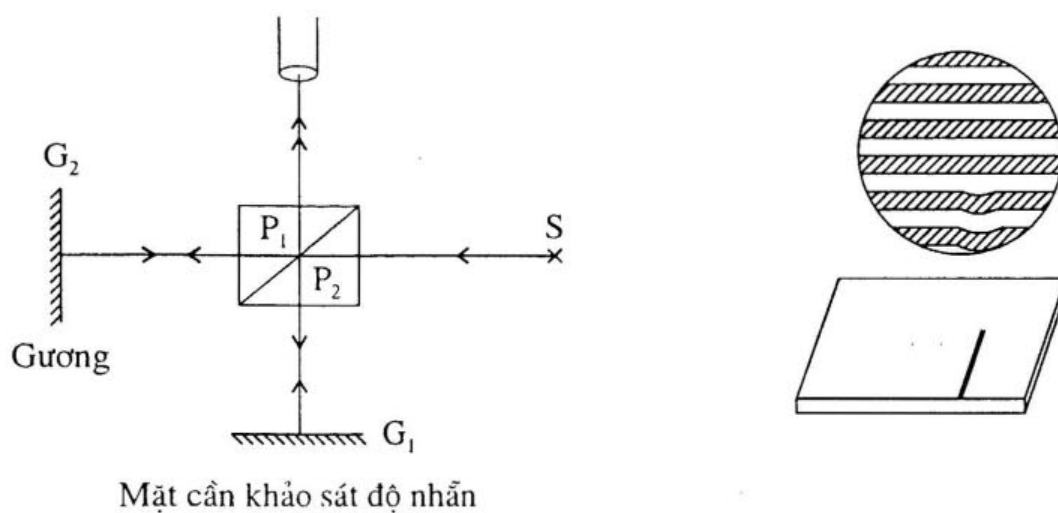
Phương pháp này có ưu điểm là đơn giản, nhanh, chính xác nên thường được dùng để đo chiết suất của các chất khí (trong nghiên cứu về môi trường).

20.5.2. Khảo sát độ nhẵn của bề mặt – Giao thoa kế Michelson

Cấu tạo cơ bản của giao thoa kế Michelson gồm nguồn sáng đơn sắc S , hai lăng kính P_1 , P_2 có mặt đáy dán vào nhau và được mạ một lớp bạc mỏng – lớp bán mạ (vừa cho ánh sáng đi qua, vừa phản xạ ánh sáng), hai gương phẳng G_1 , G_2 và một kính hiển vi để quan sát ảnh giao thoa (hình 20.13).

Tia sáng từ nguồn S tới lớp bán mạ của lăng kính P_1 và P_2 bị tách làm hai tia. Một tia đi thẳng tới gương G_2 và phản xạ trở lại P_1 và P_2 , rồi phản xạ tiếp đến kính hiển vi. Một tia phản xạ tới gương G_1 , rồi phản xạ trở lại, đi xuyên qua P_1 và P_2 tới kính hiển vi. Như vậy hai tia sáng tới kính hiển vi đều xuất phát từ một tia đi từ nguồn S , nó là các tia sáng kết hợp nên chúng giao thoa với nhau và ảnh giao thoa được quan sát trên kính hiển vi.

Giả sử thay một trong hai gương (G_1 hoặc G_2) bằng mặt kim loại cần khảo sát độ nhẵn. Ta thấy rằng, nếu mặt kim loại hoàn toàn nhẵn bóng như gương thì ảnh giao thoa sẽ là các vân sáng, tối song song, cách đều nhau. Nếu mặt kim loại có những rãnh nhỏ (có thể tới $0,01\mu\text{m}$) thì trên ảnh giao thoa sẽ xuất hiện những vết nhẵn. Nhờ phương pháp này có thể kiểm tra được những mặt kim loại phẳng rất nhẵn.



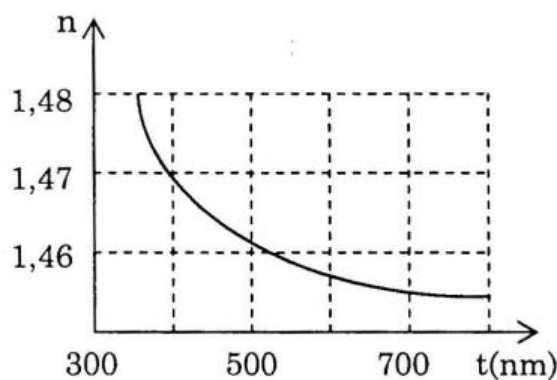
Hình 20.13. Sơ đồ cấu tạo giao thoa kế Michelson.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Phát biểu nguyên lý Huyghens – Fresnel và áp dụng để chứng minh định luật phản xạ ánh sáng.
2. Giao thoa ánh sáng là gì? Điều kiện để có giao thoa ánh sáng?
3. Trình bày bài toán tổng quát về giao thoa ánh sáng.
4. Trình bày thí nghiệm và giải thích hiện tượng giao thoa ánh sáng trong thí nghiệm Young.
5. Trình bày giao thoa kế Rayleigh: nguyên tắc, cấu tạo, vận hành, ứng dụng.
6. Cho biết những thay đổi của hình ảnh hệ vân giao thoa Young khi hệ được đặt trong nước?
7. Hình ảnh giao thoa trong giao thoa Young thế nào nếu thay hai khe hẹp bằng hai lỗ tròn nhỏ.
8. Một trong hai khe hẹp trong giao thoa Young được đặt bản Polaroid tạo ánh sáng phân cực thì hình ảnh cường độ trên màn như thế nào?
9. Hai pha đèn ô tô được chiếu chồng lên nhau, có hiện tượng giao thoa ánh sáng không?
10. Hãy giải thích một màng xà phòng lại có chỗ tối, chỗ sáng, đám màu xen kẽ nhau?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Chiết suất của thạch anh nóng chảy phụ thuộc vào bước sóng λ được biểu diễn trên hình vẽ. Hỏi vận tốc của ánh sáng có bước sóng 550nm trong thạch anh nóng chảy là bao nhiêu?



Đáp số: $2,1 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

2. Ánh sáng đơn sắc màu xanh có bước sóng 550nm chiếu qua hai khe hẹp song song cách nhau $7,70\mu\text{m}$. Tính góc lệch θ ứng với vân sáng bậc ba ra độ và radian.

Đáp số: $12,4^\circ$ và $0,216\text{rad}$.

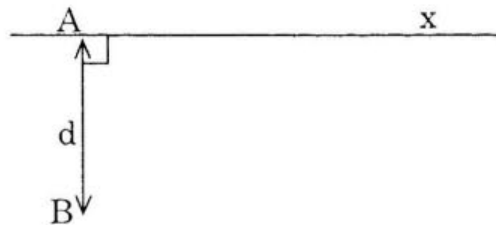
3. Khoảng cách d giữa hai khe trong thí nghiệm Young tăng gấp hai. Khoảng cách D tới màn quan sát thay đổi thế nào để giữ nguyên khoảng vân.

Đáp số: Tăng hai lần.

4. Trong thí nghiệm Young với hai khe dùng ánh sáng vàng Na (589nm), khoảng cách các vân là $0,20^\circ$. Hỏi khoảng cách góc của các vân nếu thí nghiệm ngâm trong nước ($n = 1,33$).

Đáp số: $0,15^\circ$.

5. Hình bên A và B hai nguồn phát sóng giống nhau, cùng pha, cùng bước sóng λ . Các nguồn cách nhau một khoảng $d = 3,00\lambda$. Tìm khoảng cách lớn nhất từ A dọc theo trục x để xảy ra sự giao thoa triệt tiêu hoàn toàn, biểu diễn khoảng cách ấy theo λ .



Đáp số: $8,75\lambda$.

6. Hai sóng sáng có bước sóng 550nm trước khi đi vào môi trường 1 và 2. Môi trường 1 có chiết suất $n_1 = 1$, môi trường 2 có chiết suất $n_2 = 1,6$. Bề dày của hai môi trường bằng nhau và bằng $L = 240\mu\text{m}$.

a) Hỏi hiệu số pha của các sóng khi đi ra khỏi môi trường, tính bằng bước sóng.

b) Nếu như các tia của sóng hơi nghiêng với nhau một góc sao cho hai sóng gặp nhau tại cùng một điểm trên màn quan sát. Hãy cho biết hình ảnh giao thoa thu được trên màn.

c) Tính hiệu số pha bằng radian hoặc bằng độ.

Đáp số: $261,8\lambda$; $\approx 5\text{radian} = 300^\circ$.

7. Tính khoảng cách giữa hai cực đại giao thoa liên tiếp trên màn trong thí nghiệm Young, nếu bước sóng ánh sáng $\lambda = 546\text{nm}$, khoảng cách giữa hai khe bằng $0,12\text{mm}$, khoảng cách D giữa khe và màn là 55cm .

Đáp số: $\approx 2,5\text{mm}$.

8. Ánh sáng trắng có cường độ đều cho cả vùng khả kiến có bước sóng $430 \div 690\text{nm}$ đến đập vuông góc trên một bản mỏng nước có chiết suất $n = 1,33$ và độ dày $d = 320\text{nm}$ lơ lửng trong không khí. Hỏi với bước sóng λ nào thì ánh sáng phản xạ từ bản mỏng là sáng nhất đối với người quan sát.

Đáp số: $\lambda = 567\text{nm}$.

9. Một chùm ánh sáng trắng chiếu vuông góc vào một bản thủy tinh mỏng có hai mặt song song và có bề dày là $0,4\mu\text{m}$, chiết suất thủy tinh $n = 1,5$. Hỏi trong phạm vi của quang phổ nhìn thấy thì tia phản xạ có bước sóng bằng bao nhiêu được tăng cường.

Đáp số: $\lambda = 0,480 \mu\text{m}$.

10. Một nguồn sáng đơn sắc có bước sóng $0,6\mu\text{m}$, chiếu vuông góc vào một mặt phẳng có hai khe hở, hẹp, song song, cách nhau 1mm và cách đều nguồn sáng. Đặt một màn ảnh song song và cách mặt phẳng chứa hai khe 1m .

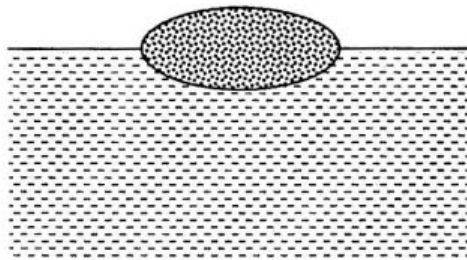
- a) Tính khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp trên màn ảnh.
 b) Xác định vị trí của 3 vân tối đầu tiên.
 c) Đặt phía trước một trong hai khe một bản thủy tinh phẳng hai mặt song song, có chiết suất $n = 1,5$, và bề dày $e = 12\mu\text{m}$. Tính độ dịch chuyển của hệ thống vân.

Đáp số: a) $i = 0,6\text{mm}$.

b) $0,3; 0,9; 1,5\text{mm}$.

c) $x_0 = 6\text{mm}$.

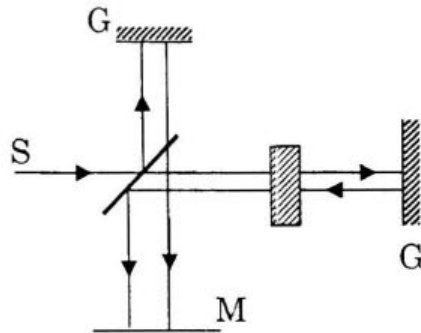
11. Một giọt dầu ($n = 1,2$) nổi trên mặt nước ($n = 1,33$) và được quan sát từ trên xuống nhờ ánh sáng phản xạ.



- a) Vùng ngoài cùng giọt dầu sáng hay tối.
 b) Vùng có màu xanh da trời ($\lambda = 550\text{nm}$) có bề dày khoảng bao nhiêu?
 c) Tại sao mất màu khi giọt dầu càng dày.

Đáp số: b) $\sim 0,11 \cdot 10^{-3}\text{mm}$.

12. Một bản mỏng có chiết suất $n = 1,40$ được đặt ở một nhánh của giao thoa kế Michelson, vuông góc với đường đi của ánh sáng. Nếu điều đó gây ra sự dịch chuyển đi 7 vân do ánh sáng có bước sóng 589nm gây ra thì độ dày của bản mỏng là bao nhiêu?



Đáp số: $5,2\mu\text{m}$.

Chương 21

NHIỄU XẠ ÁNH SÁNG

MỤC TIÊU

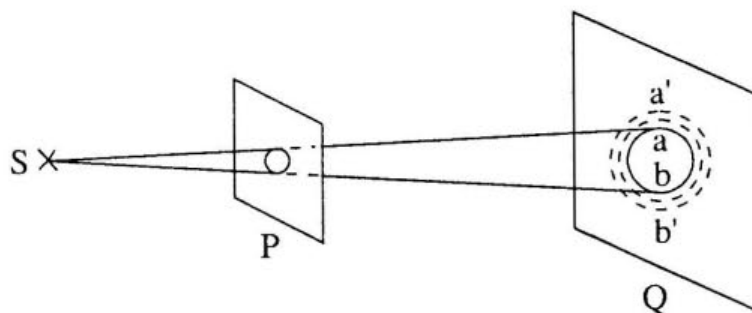
1. Trình bày được phương pháp đo cầu Fresnel.
2. Giải thích được hiện tượng nhiễu xạ của sóng cầu qua một lỗ tròn.
3. Trình bày được hiện tượng nhiễu xạ gây bởi các sóng phẳng.
4. Trình bày được cách tử nhiễu xạ và ứng dụng của nó.

21.1. LÝ THUYẾT CHUNG VỀ NHIỄU XẠ ÁNH SÁNG

21.1.1. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng

Cho ánh sáng từ nguồn sáng điểm đơn sắc S truyền qua lỗ tròn nhỏ trên màn chắn P. Bình thường trên màn ảnh Q ở phía sau P sẽ thu được một hình tròn sáng có đường kính ab theo đúng tính chất truyền thẳng của ánh sáng. Nhưng khi thu nhỏ lỗ tròn lại thì đến một lúc nào đó sẽ thấy xuất hiện trên màn ảnh Q những vòng tròn sáng, tối đồng tâm nằm xen kẽ nhau ở cả vùng bóng tối hình học. Như vậy ánh sáng đã truyền đến cả những điểm a' , b' ở ngoài vùng ánh sáng hình học ab . Nghĩa là tia sáng đã bị lệch khỏi phương truyền thẳng. Hiện tượng này gọi là hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng. Vậy: *Hiện tượng các tia sáng bị lệch khỏi phương truyền thẳng khi chúng đi gần các vật chướng ngại, gây nên các vân sáng và tối trong cả vùng bóng tối hình học, được gọi là hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng.*

Các vân sáng và tối gọi là các vân nhiễu xạ.



Hình 21.1. Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng.

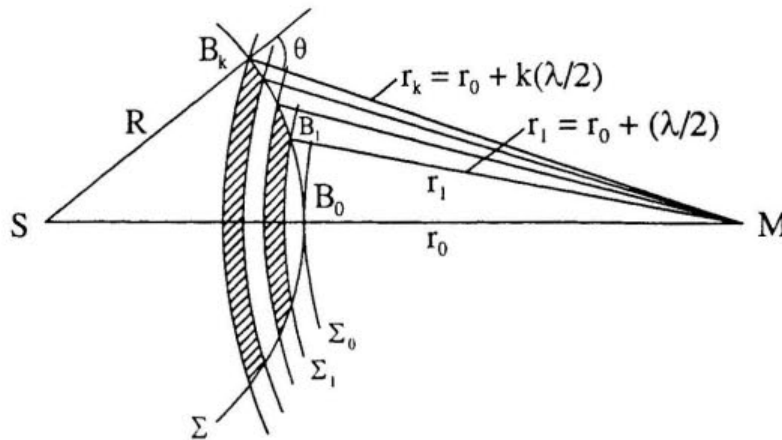
21.1.2. Phương pháp đới cầu Fresnel

Để tính dao động sáng do một nguồn sáng S truyền đến điểm M nào đó, theo nguyên lý Huyghens – Fresnel, ta có thể thay nguồn sáng thực S – nguồn sơ cấp, bằng những nguồn sáng thứ cấp nằm trên một mặt cầu Σ có tâm tại S, rồi tổng hợp tất cả các dao động sáng do các nguồn thứ cấp này truyền đến M.

Để làm điều này, từ S làm tâm ta vẽ mặt cầu Σ bao quanh nó. Rồi lấy M làm tâm, ta vẽ các mặt cầu $\Sigma_0, \Sigma_1, \Sigma_2, \dots$ có bán kính lần lượt là $r_0, r_0 + \frac{\lambda}{2}, r_0 + 2\frac{\lambda}{2}, \dots$

Như vậy khoảng cách từ các mép của những đới kế nhau đến M khác nhau là $\frac{\lambda}{2}$ (hình 21.2), tức là:

$$B_1M - B_0M = B_2M - B_1M = \dots = B_nM - B_{n-1}M = \frac{\lambda}{2} \quad (21.1)$$



Hình 21.2. Đới cầu Fresnel.

Biên độ dao động sáng ở M từ các đới riêng biệt truyền đến phụ thuộc vào ba yếu tố:

- Diện tích của đới cầu: nếu diện tích đới cầu càng lớn thì biên độ dao động sáng tại M do đới cầu đó truyền đến càng lớn. Người ta đã chứng minh được rằng, với cách xây dựng đới cầu như trên thì diện tích các đới đều bằng nhau, nên yếu tố này thực tế không ảnh hưởng đến biên độ dao động sáng ở M do các đới khác nhau truyền đến.

- Khoảng cách r từ đới đến M, nếu khoảng cách càng tăng thì biên độ càng giảm.

- Góc θ hợp bởi giữa pháp tuyến của mặt đới cầu và r. Khi $\theta = 0^\circ$ thì biên độ dao động sáng do đới đó truyền đến M có giá trị lớn nhất. Khi $\theta = 90^\circ$ thì biên độ đó bằng 0.

Ta có nhận xét là: khi đi từ đối cầu thứ 1 đến đối cầu thứ n thì r tăng và góc θ cũng tăng, do vậy biên độ dao động sáng tại M do các đối truyền đến cũng giảm dần, tức là:

$$a_1 > a_2 > a_3 > \dots > a_n$$

Vì r tăng rất chậm (từng lượng $\frac{\lambda}{2}$ một) nên cả θ cũng tăng chậm, do vậy biên độ dao động sáng cũng giảm rất chậm. Một cách gần đúng ta có:

$$a_2 = \frac{a_1 + a_3}{2} \text{ hoặc } a_k = \frac{a_{k+1} + a_{k-1}}{2} \quad (21.2)$$

Theo (21.1) thì hiệu quang lộ của các tia sáng từ hai đối cạnh nhau truyền đến M bằng $\frac{\lambda}{2}$, tức là dao động sáng tại M do hai đối cạnh nhau truyền đến M thì ngược pha nhau. Do đó, biên độ dao động sáng tổng hợp tại M do tất cả các đối truyền đến bằng:

$$a = a_1 - a_2 + a_3 - a_4 + a_5 - \dots \pm a_n \quad (21.3)$$

Lấy dấu (+) nếu số đối n là lẻ, lấy dấu (-) nếu số đối n là chẵn. Ta có thể viết biểu thức (21.3) dưới dạng sau:

$$a = \frac{a_1}{2} + \left(\frac{a_1}{2} - a_2 + \frac{a_3}{2} \right) + \left(\frac{a_3}{2} - a_4 + \frac{a_5}{2} \right) + \dots \pm \frac{a_n}{2}$$

Theo (21.2) ta thấy các biểu thức trong ngoặc đơn đều bằng 0. Vậy, biên độ tổng hợp tại M do nguồn sáng thực S truyền đến bằng:

$$a = \frac{a_1}{2} \pm \frac{a_n}{2} \quad (21.4)$$

Lấy dấu (+) khi n lẻ, lấy dấu (-) khi n chẵn.

Khi giữa nguồn S và điểm M không có vật chướng ngại thì số đối cầu n sẽ nhiều vô hạn, khi đó giá trị $\frac{a_n}{2}$ sẽ rất nhỏ, thực tế có thể bỏ qua. Biên độ dao động tổng hợp tại M một cách gần đúng bằng:

$$a \cong \frac{a_1}{2} \quad (21.5)$$

Vậy cường độ sáng tại M do nguồn S truyền đến bằng:

$$I_0 = a^2 = \left(\frac{a_1}{2} \right)^2 = \frac{a_1^2}{4} = \frac{I_1}{4} \quad (21.6)$$

Trong đó I_1 là cường độ sáng tại M do riêng đối cầu thứ nhất truyền đến.

Tóm lại, trong những trường hợp cụ thể tùy vào số đối n có thể là chẵn hay lẻ, là nhiều hay ít mà cường độ sáng tổng hợp tại M do các đối đó truyền đến sẽ lớn hay nhỏ.

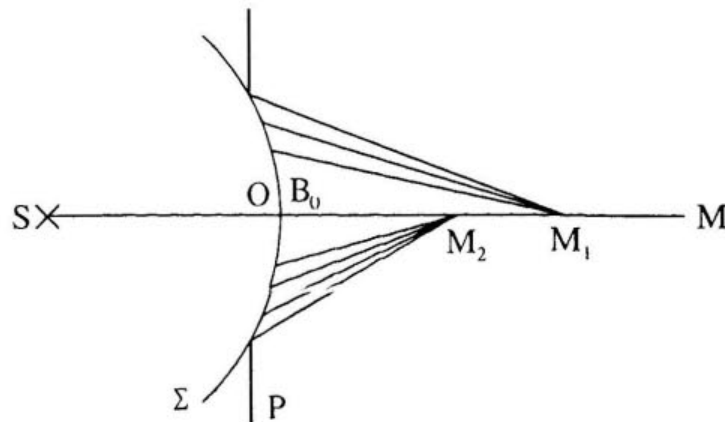
Dưới đây sẽ áp dụng phương pháp đối cầu Fresnel vào một vài trường hợp cụ thể.

21.2. NHIỀU XẠ CỦA SÓNG CẦU QUA MỘT LỖ TRÒN

Trong thí nghiệm Fresnel đã mô tả ở trên, nguồn sáng S và màn ảnh Q đều nằm gần lỗ tròn. Sóng sáng truyền tới lỗ tròn là sóng cầu, nên người ta gọi hiện tượng nhiễu xạ này là nhiễu xạ của sóng cầu – hay nhiễu xạ ở gần hoặc nhiễu xạ Fresnel.

Ta hãy vận dụng phương pháp đối cầu Fresnel để giải thích ảnh nhiễu xạ trong trường hợp này.

Lấy mặt sóng cầu tựa lên chu vi của lỗ tròn làm mặt Σ , chia phần mặt Σ không bị màn P che ra thành những đối cầu Fresnel. Theo kết quả ở trên, có hai trường hợp có thể xảy ra (hình 21.3).



Hình 21.3. Nhiễu xạ Fresnel.

Nếu lỗ tròn chứa một số lẻ đối, khi đó biên độ dao động tổng hợp tại M sẽ bằng:

$$a = \frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \quad (n \text{ là lẻ}).$$

Vậy:

$$a > \frac{a_1}{2}. \text{ Cường độ sáng tổng hợp tại } M \text{ bằng:}$$

$$I = a^2 = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_n}{2} \right)^2 > \left(\frac{a_1}{2} \right)^2$$

Hay:

$$I > \frac{I_1}{4} = I_0 \quad (21.7)$$

Nghĩa là, khi giữa nguồn S và điểm M có màn chắn, trên đó đục lỗ tròn chứa vừa đúng một số lẻ đối Fresnel, thì cường độ sáng I tại M sẽ lớn hơn cường độ sáng I_0 khi giữa S và M không có màn chắn (ví dụ trường hợp điểm M_1). Kết quả là tại M ta có một điểm sáng mạnh.

Qua đây, ta thấy một ý nghĩa thực tiễn là, trong các quang cụ (kính hiển vi) thường trước vật kính cũng có lá chắn có thể điều chỉnh được đường kính lỗ to, nhỏ tùy ý. Tác dụng của lá chắn ở đây ngoài việc có thể khử được một số quang sai của hệ, còn tăng cường độ sáng chiếu vào vật, giúp ta quan sát vật được rõ hơn.

Trường hợp thứ hai là khi lỗ tròn chứa một số chẵn đối, khi đó biên độ dao động sáng tổng hợp tại M sẽ là:

$$a = \frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \quad (n \text{ là chẵn}).$$

Vậy: $a < \frac{a_1}{2}$, tức là:

$$I = a^2 = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_n}{2} \right)^2 < \left(\frac{a_1}{2} \right)^2$$

Hay:

$$I < \frac{I_1}{4} = I_0 \quad (21.8)$$

Nghĩa là, khi màn chắn P chỉ cho một số chẵn đối Fresnel đi qua lỗ, thì cường độ sáng tại M sẽ nhỏ hơn cường độ I_0 khi không có màn chắn P (trường hợp điểm M_2). Kết quả là tại M ta có một điểm sáng yếu.

Đặc biệt khi lỗ chỉ chứa đúng hai đối cầu thì:

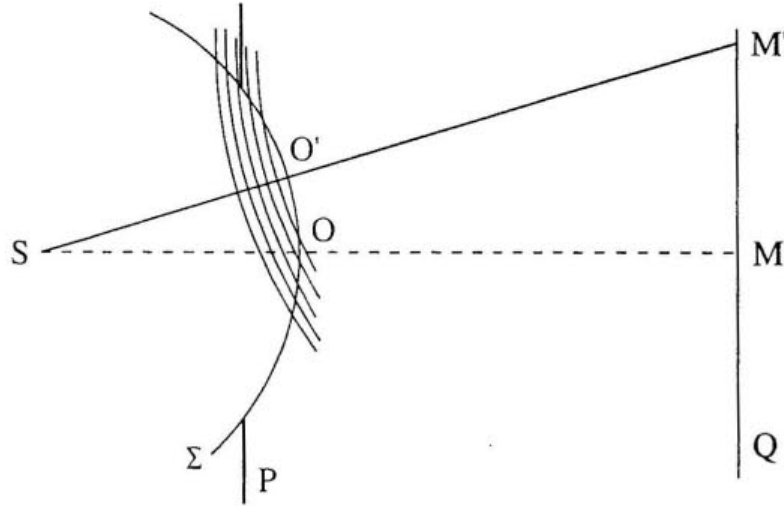
$$I_0 = \left(\frac{a_1}{2} - \frac{a_2}{2} \right)^2 \cong 0 \quad (21.9)$$

Khi đó tại M sẽ có một điểm tối hoàn toàn.

Trường hợp điểm M' nằm trên màn Q ngoài trục SO (hình 21.4).

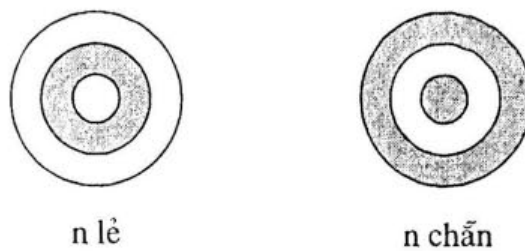
Trục SM' cắt mặt sáng cầu Σ tại O'. Vẽ các đối Fresnel có trục đối xứng là

SO'. Trường hợp này màn chắn P đã chắn mất một phần diện tích của các đới cầu. Ta cộng diện tích các đới cầu phần do lỗ tròn chừa lại. Những phần đới cầu chắn cộng với nhau, phần đới cầu lẻ cộng với nhau. Sau đó lấy hiệu của chúng. Nếu hiệu số này xấp xỉ đới cầu thứ nhất, thì tại M' sẽ là điểm sáng. Nếu hiệu này xấp xỉ bằng không thì tại M' là điểm tối. Nghĩa là, quanh điểm M ta có những hình vành khăn đồng tâm với M có cường độ sáng lớn, nhỏ khác nhau. Càng xa M cường độ sáng càng nhỏ. Đó chính là những vân nhiễu xạ.



Hình 21.4. Điểm M' nằm ngoài trục SO.

Tóm lại điểm M có thể sáng hơn lên hoặc tối đi so với khi không có màn chắn, tùy theo giá trị của n , tức là tùy theo kích thước của lỗ tròn và vị trí của màn quan sát. Do tính đối xứng nên xung quanh M sẽ là các vòng tròn sáng, tối đồng tâm, xen kẽ nhau, có tâm tại điểm M đó (hình 21.5).



Hình 21.5. Vân nhiễu xạ Fresnel.

*** Mở rộng:**

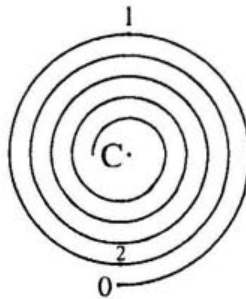
Ta có thể xét dao động sáng tại M bằng phương pháp cộng các vectơ biên độ. Cũng chia mặt sóng Σ thành các đới có diện tích bằng nhau tương tự như các đới Fresnel nhưng có bề rộng nhỏ hơn nhiều. Dao động do một đới như vậy gây ra tại M được biểu diễn bằng một vectơ có chiều dài bằng biên độ dao động, còn góc giữa vectơ đó và trục quy chiếu cho biết pha ban đầu của dao động. Dao động gây

bởi một đờng nào đó tại điểm M có biên độ gần giống như biên độ của dao động gây bởi đờng trước nó, còn về pha bị chậm đi một lượng nào đó. Do diện tích của các đờng được chọn bằng nhau nên hiệu khoảng cách đến điểm M từ hai đờng kế tiếp bất kỳ là một hằng số. Như vậy hai đờng cầu kế tiếp bất kỳ sẽ gây tại M hai dao động có hiệu pha là một hằng số. Kết quả biểu đồ vectơ nhận được khi tổng các dao động gây bởi các đờng có dạng như trên hình 21.6.



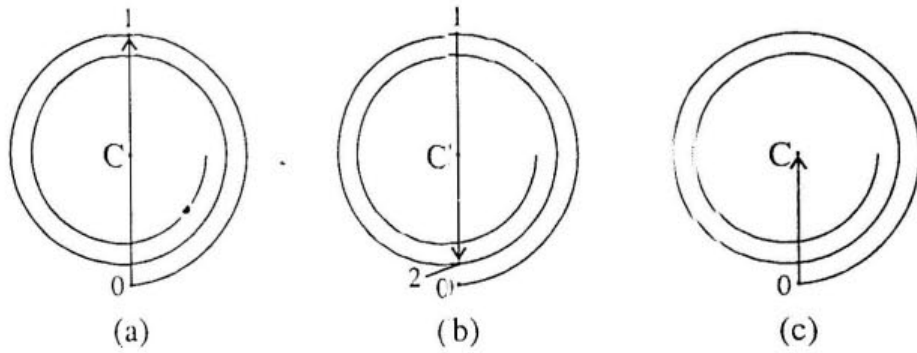
Hình 21.6: Biểu đồ vectơ (khi biên độ dao động gây bởi các đờng bằng nhau)

Nếu biên độ dao động gây bởi các đờng hoàn toàn bằng nhau thì biểu đồ vectơ sẽ có dạng đa giác khép kín (hình 21.6). Trong thực tế biên độ dao động giảm dần nên biểu đồ vectơ có dạng đường nhiều cạnh xoắn ốc. Nếu bề rộng của mỗi đờng vô cùng bé (số đờng tăng lên vô cùng), biểu đồ vectơ sẽ có dạng một đường xoắn ốc tận cùng tại C (hình 21.7).



Hình 21.7. Biểu đồ vectơ thực tế.

Pha dao động của các điểm 0 và 1 khác nhau do đó đoạn 01 của đường xoắn ốc tương ứng với đờng cầu Fresnel thứ nhất. Vectơ $\vec{01}$ (hình 21.8a) biểu diễn dao động do đờng đó gây ra tại M. Tương tự vectơ $\vec{12}$ (hình 21.8b) biểu diễn dao động gây bởi đờng thứ hai. Ta thấy dao động gây bởi hai đờng kế tiếp đó ngược pha nhau. Dao động do toàn bộ mặt sóng gây ra tại M được biểu diễn bằng vectơ \vec{OC} (hình 21.8c). Từ hình vẽ ta thấy biên độ của dao động đó bằng một nửa biên độ dao động gây bởi đờng thứ nhất. Kết quả này chúng ta đã nhận được khi cộng đại số các biên độ.



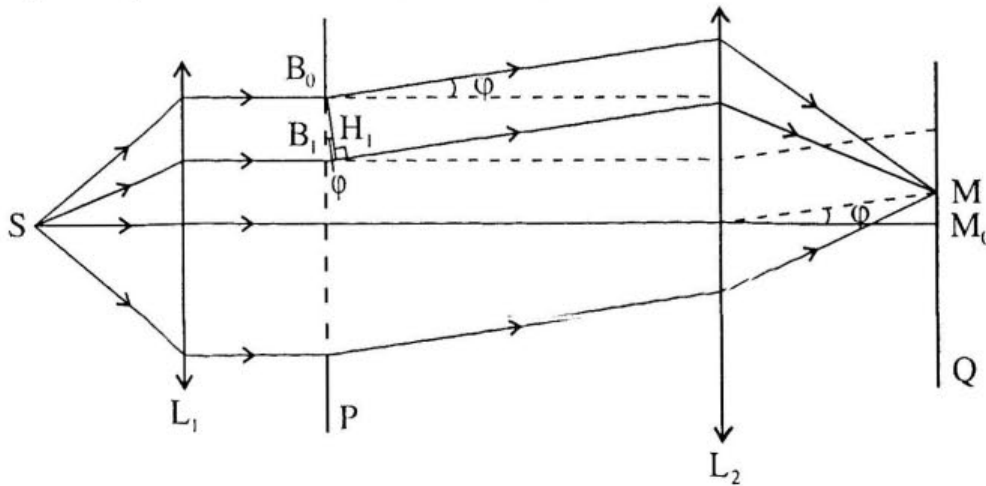
Hình 21.8. Tìm dao động gây bởi các đới Fresnel theo biểu đồ vectơ.

21.3. NHIỄU XẠ GÂY BỞI CÁC SÓNG PHẪNG

Bây giờ ta nghiên cứu hiện tượng nhiễu xạ do nguồn sáng ở rất xa vật chướng ngại gây ra. Sóng sáng đi tới vật chướng ngại là sóng phẳng. Mặt khác màn ảnh Q để hứng ảnh nhiễu xạ cũng ở rất xa vật chướng ngại. Khi đó hiện tượng nhiễu xạ gọi là nhiễu xạ ở vô cực hay nhiễu xạ Fraunhofer.

21.3.1. Nhiễu xạ qua một khe hẹp

Thí nghiệm được bố trí như sau (hình 21.9).

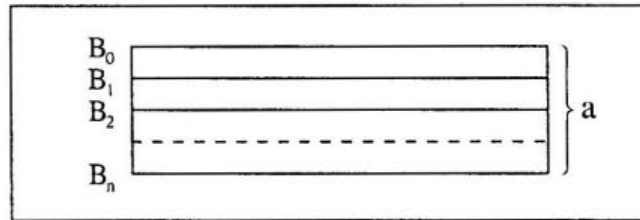


Hình 21.9. Nhiễu xạ qua khe hẹp.

Nguồn sáng điểm, đơn sắc S đặt tại tiêu điểm của thấu kính hội tụ L_1 . Sau khi đi qua L_1 sẽ là chùm tia sáng song song tới đập vào màn chắn P có khoét một khe hẹp hình chữ nhật, có bề rộng a và có chiều dài lớn gấp nhiều lần chiều rộng (gần như dài vô hạn). Để quan sát ảnh nhiễu xạ người ta đặt phía sau P một thấu kính hội tụ L_2 . Ảnh nhiễu xạ được quan sát trên màn ảnh Q đặt tại mặt phẳng tiêu của L_2 .

Để giải thích ảnh nhiễu xạ trong trường hợp này người ta cũng áp dụng phương pháp đới cầu Fresnel. Ở đây ta lấy mặt sóng phẳng do nguồn S truyền đến nằm ngang trên màn chắn P làm mặt sóng Σ phát ra những nguồn thứ cấp.

Chia phần mặt S nằm trên khe ra thành những dải hẹp hình chữ nhật bằng nhau có bề rộng lần lượt là B_0B_1, B_1B_2, \dots sao cho khoảng cách từ mép các dải cạnh nhau tới M cũng khác nhau một giá trị bằng $\frac{\lambda}{2}$. Những dải hẹp này gọi là những dải Fresnel (tương tự như đối cầu Fresnel trong sóng cầu) (hình 21.10).



Hình 21.10. Dải Fresnel.

Số dải Fresnel chứa trên mặt khe bằng:

$$n = \frac{\text{Bề rộng của khe}}{\text{Bề rộng của một dải Fresnel}} = \frac{a}{B_0B_1}$$

Mà:

$$B_0B_1 = \frac{B_1H_1}{\sin \varphi} = \frac{\frac{\lambda}{2}}{\sin \varphi} = \frac{\lambda}{2 \sin \varphi}$$

Trong đó φ là góc nghiêng của chùm tia nhiễu xạ với quang trục. Vậy:

$$n = \frac{2a \sin \varphi}{\lambda} \quad (21.10)$$

Theo kết quả tìm được khi nghiên cứu nhiễu xạ của sóng cầu qua một lỗ tròn nhỏ, ta cũng suy ra:

1. Nếu khe hẹp chứa vừa đúng một số chẵn dải Fresnel, nghĩa là nếu:

$$n = \frac{2a \sin \varphi}{\lambda} = 2k \quad (k = \pm 1; \pm 2; \dots)$$

Tại M sẽ là một điểm tối, gọi là cực tiểu nhiễu xạ. Vậy góc nghiêng φ ứng với các cực tiểu nhiễu xạ được xác định bởi điều kiện:

$$\sin \varphi = k \frac{\lambda}{a} \quad (k = \pm 1; \pm 2; \dots) \quad (21.11)$$

Ta loại trừ giá trị $k = 0$, vì nếu $k = 0$ thì theo (21.11) $\varphi = 0$, nghĩa là chùm tia thứ cấp cùng phương với chùm tia tới khe và hội tụ tại điểm giữa M_0 trên màn Q. Quang lộ của các tia thứ cấp từ các điểm khác nhau trên mặt khe tới M_0 đều bằng nhau, nên tại M_0 sẽ là một cực đại sáng và là điểm sáng nhất, gọi là cực đại nhiễu xạ giữa.

2. Nếu khe hẹp chứa vừa đúng một số lẻ dải Fresnel, nghĩa là nếu:

$$n = \frac{2a \sin \varphi}{\lambda} = (2k + 1) \quad (k = \pm 1; \pm 2; \dots)$$

Thì tại M sẽ là một điểm sáng, gọi là cực đại nhiễu xạ. Vậy góc nghiêng φ ứng với cực đại nhiễu xạ được xác định bởi điều kiện:

$$\sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2a} \quad (21.12)$$

Trong đó $k = 1; \pm 2; \pm 3 \dots$ Ta loại trừ giá trị $k = 0$ và $k = -1$ vì rằng ứng với các giá trị đó, $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2a}$: cường độ sáng không thể có giá trị cực đại (khi $\sin \varphi =$

0 ta đã có cực đại giữa, nếu với $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2a}$ ra lại có cực đại thì giữa $\sin \varphi = 0$ và

$\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{2a}$ phải có cực tiểu. Tuy nhiên theo (21.11) thì cực tiểu đầu tiên phải

ứng với khi $\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{a}$).

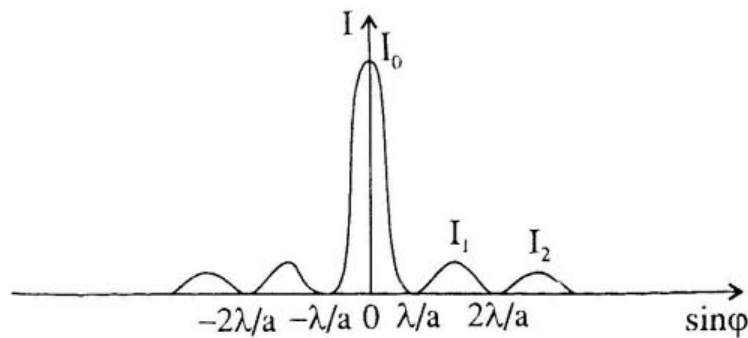
Tóm lại:

$\sin \varphi = 0$ có cực đại chính giữa.

$\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{a}; \pm 2 \frac{\lambda}{a}; \pm 3 \frac{\lambda}{a}; \dots$ có các cực tiểu nhiễu xạ.

$\sin \varphi = 3 \frac{\lambda}{2a}; \pm 5 \frac{\lambda}{2a}; \dots$ có các cực đại phụ.

Đồ thị phân bố cường độ sáng trên màn Q cho bởi (hình 21.11).

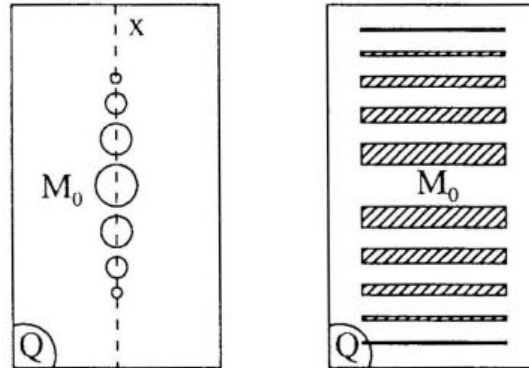


Hình 21.11. Phân bố cường độ sáng khi nhiễu xạ qua khe hẹp.

Từ hình (21.11) ta thấy bề rộng cực đại giữa rộng gấp hai lần bề rộng của các cực đại khác. Độ lớn cực đại giữa lớn hơn rất nhiều so với các cực đại khác ($I_1 = 0,045I_0$). Sở dĩ như vậy vì các cực đại I_1, I_2, \dots chỉ do các dao động của một dải gây ra, còn cường độ sáng của cực đại giữa là do các dao động cùng pha từ toàn bộ mặt phẳng khe gây ra. Một cách gần đúng ta có thể coi toàn bộ ánh sáng tập trung ở cực đại giữa.

Từ những phân tích ở trên, ta rút ra một số kết luận:

1. Nếu nguồn S là nguồn sáng điểm, đơn sắc thì ảnh nhiễu xạ là một dãy những điểm sáng và tối xen kẽ nhau nằm trên đường thẳng X có phương vuông góc với chiều dài khe hẹp và nằm trên màn Q.



Hình 21.12. Ảnh nhiễu xạ qua khe hẹp.

2. Nếu S là một khe sáng, đơn sắc đặt song song với khe hẹp, thì ảnh nhiễu xạ trên màn Q là một dãy vân sáng tối xen kẽ nhau, song song với khe sáng S và đi qua những cực đại (cực tiểu) nói trên.

3. Cường độ sáng của cực đại nhiễu xạ giữa rất lớn. Cường độ của các cực đại khác giảm rất nhanh kể từ cực đại giữa.

4. Nếu S là nguồn sáng trắng thì cũng giống như trường hợp giao thoa ánh sáng, lúc này ảnh nhiễu xạ sẽ như sau: ở giữa là vân sáng trắng, hai bên là các vân màu.

* *Mở rộng*: Chúng ta có thể nghiên cứu nhiễu xạ của sóng phẳng qua khe hẹp bằng phương pháp biểu đồ (cộng vectơ biên độ).

Chia mặt phẳng khe thành những dải hẹp giống nhau. Dao động $\vec{\Delta A}$ gây bởi mỗi dải có biên độ không đổi, còn pha chậm hơn so với pha gây bởi dải trước nó một lượng $\Delta\varphi$. $\Delta\varphi$ phụ thuộc góc φ xác định hướng truyền đến điểm M.

Khi $\varphi = 0$, hiệu pha $\Delta\varphi = 0$ và biểu độ vectơ có dạng trên hình 21.13a. Các $\vec{\Delta A}$ nằm trên một đường thẳng, do đó biên độ dao động tổng cộng $a_0 = n \cdot |\vec{\Delta A}|$. Đó chính là biên độ dao động sáng tại cực đại giữa (hình 21.13a).

Khi φ thoả mãn điều kiện $\sin \varphi = \frac{\lambda}{a}$, khi đó chuỗi các vectơ cuộn được đúng

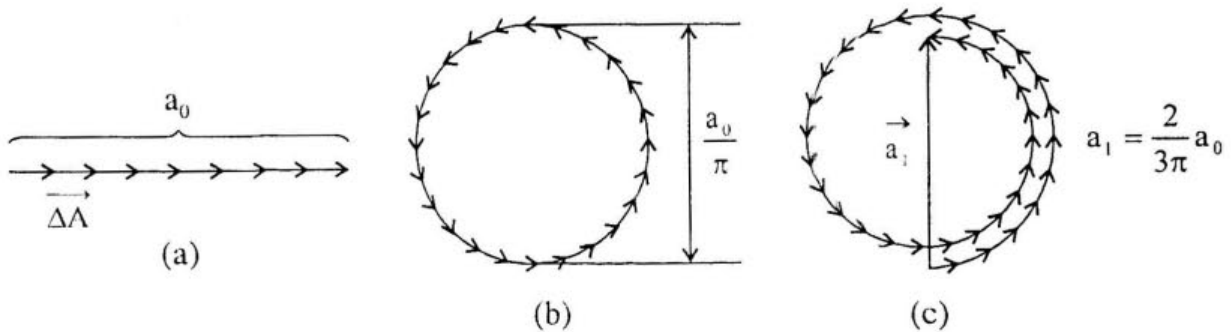
một vòng, đầu của vectơ cuối chạm vào đuôi của vectơ đầu, các vectơ $\vec{\Delta A}$ hợp thành một vòng tròn có chiều dài bằng a_0 (hình 21.13b). Pha dao động của dải Fresnel đầu tiên và dải cuối cùng lệch nhau một góc 2π . Do vậy dao động tổng cộng có biên độ bằng 0 và $\sin \varphi = \frac{\lambda}{a}$ chính là vị trí của cực tiểu thứ nhất.

Khi φ thoả mãn điều kiện $\sin \varphi = 3 \frac{\lambda}{2a}$ thì các dao động từ các bờ của khe có pha khác nhau 3π và các vectơ ΔA tạo thành một vòng tròn rưỡi với chiều dài tổng cộng bằng a_0 . Dao động tổng cộng có biên độ $a_1 = \frac{2}{3\pi} a_0$ (hình 21.13c). Đó chính là cực đại phụ thứ nhất. Ta có:

$$I_1 = a_1^2 = \left(\frac{2}{3\pi} a_0 \right)^2 = \left(\frac{2}{3\pi} \right)^2 a_0^2 = \left(\frac{2}{3\pi} \right)^2 I_0 \approx 0,045 I_0$$

Bằng cách lý luận tương tự ta thấy khi tăng φ sẽ quan sát được các cực tiểu và các cực đại khác. Cường độ của các cực đại tuân theo hệ thức sau:

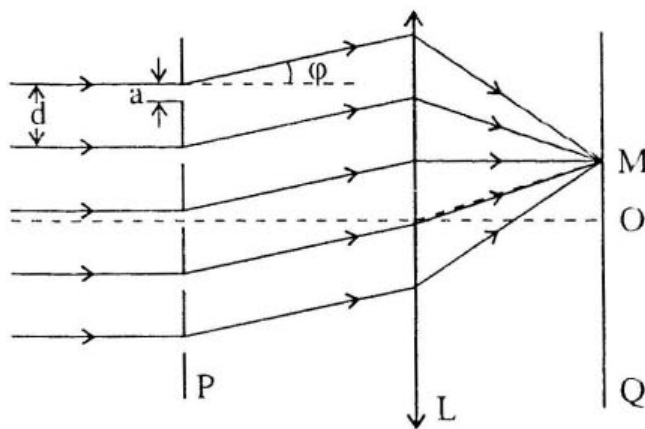
$$\begin{aligned} I_0 : I_1 : I_2 : I_3 : \dots &= 1 : \left(\frac{2}{3\pi} \right)^2 : \left(\frac{2}{5\pi} \right)^2 : \left(\frac{2}{7\pi} \right)^2 : \dots \\ &= 1 : 0,045 : 0,016 : 0,008 : \dots \end{aligned} \quad (21.13)$$



Hình 21.13. Nghiên cứu nhiễu xạ qua khe hẹp bằng phương pháp đồ thị.

21.3.2. Nhiễu xạ qua nhiều khe hẹp

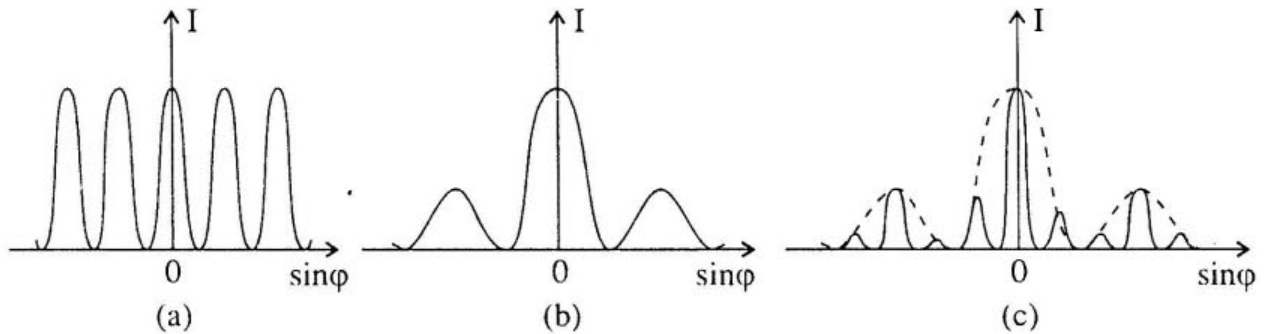
Giả sử có N khe hẹp giống nhau nằm song song với nhau trong một mặt phẳng (hình 21.14). Dọi lên các khe đó một chùm ánh sáng đơn sắc song song. Giả sử chùm sáng gồm các tia sáng kết hợp.



Hình 21.14. Nhiễu xạ qua nhiều khe hẹp.

Gọi bề rộng của mỗi khe là a , khoảng cách giữa hai khe cạnh nhau là d . Vì các khe có thể coi là các nguồn kết hợp, do đó ngoài hiện tượng nhiễu xạ gây bởi một khe còn có hiện tượng giao thoa gây bởi các khe. Vì vậy ảnh nhiễu xạ thu được trên màn trở nên phức tạp hơn.

Ta có thể minh họa qua ví dụ bằng hình ảnh sau (hình 21.15).



Hình 21.15. Ảnh nhiễu xạ qua nhiều khe hẹp.

Hình 21.15a cho hệ vân giao thoa quan sát được trên màn khi các khe vô cùng hẹp. Các vân sáng có cùng cường độ.

Hình 21.15b cho ảnh nhiễu xạ qua một khe, cực đại giữa rộng và cao, các cực đại phụ yếu hơn nhiều.

Hình 21.15c (đường liền nét) cho ảnh vừa nhiễu xạ vừa giao thoa.

Kết quả là ta thấy hình 21.15c là sự chồng hình 21.15b lên hình 21.15a.

Khi số khe hẹp (N) tăng lên thì số các cực đại chính cũng tăng lên và ảnh nhiễu xạ bây giờ chỉ thấy là các vạch sáng (các cực đại chính) nổi bật trên một nền tối.

Vị trí các cực đại chính được xác định bởi điều kiện:

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (21.14)$$

Tại điểm O ($k = 0$; $\sin \varphi = 0$) ta có cực đại chính giữa.

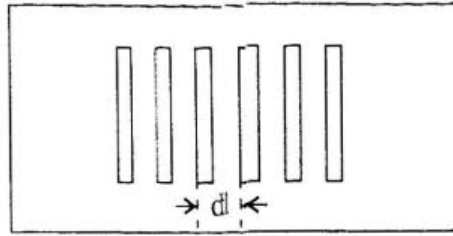
Vị trí các cực tiểu chính được xác định bởi điều kiện:

$$a \sin \varphi = k\lambda \quad (k = \pm 1, \pm 2 \dots) \quad (21.15)$$

21.3.3. Cách tử nhiễu xạ

21.3.3.1. Cách tử

Một tập hợp N khe hẹp song song, giống nhau nằm cách đều nhau trong cùng một mặt phẳng (có thể tới hàng nghìn khe /mm) gọi là cách tử nhiễu xạ. Khoảng cách d giữa hai khe liên tiếp gọi là hằng số (hay chu kỳ) của cách tử (hình 21.16).



Hình 21.16. Cách tử nhiễu xạ.

Số khe trên một đơn vị chiều dài của cách tử là:

$$n = \frac{1}{d} \quad (21.16)$$

21.3.3.2. Độ tán sắc

Độ tán sắc là đại lượng xác định khả năng tách hai bức xạ có bước sóng gần nhau thành những cực đại (hay những vạch) nằm ở những góc φ khác nhau. Theo định nghĩa, độ tán sắc góc D_φ là tỷ số:

$$D_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda} \quad (21.17)$$

Trong đó $\Delta\varphi$ là khoảng cách góc giữa hai vạch có bước sóng khác nhau một lượng $\Delta\lambda$.

Do điều kiện xác định cực đại nhiễu xạ qua nhiều khe hẹp:

$$d \cdot \sin\varphi = k\lambda$$

Lấy vi phân hai vế:

$$d \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi = k \cdot d\lambda$$

Vậy:

$$D_\varphi = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{k}{d \cdot \cos\varphi} \quad (21.18)$$

Từ công thức (21.18) ta thấy, muốn độ tán sắc lớn thì cách tử phải có hằng số d nhỏ và làm việc ở bậc k cao. Chính vì thế, trong thực tế, người ta chế tạo các cách tử có số vạch/mm lớn, có thể lên đến 4000 khe/mm. Còn bậc k thường chọn là bậc 1 hoặc 2, vì ở bậc cao hơn cực đại nhiễu xạ có cường độ rất nhỏ.

21.3.3.3. Năng suất phân giải

Tách được hai bước sóng đã là quan trọng, nhưng phải phân biệt được cực đại của hai vạch có bước sóng gần nhau. Nếu tách được hai bước sóng mà độ rộng của hai vạch được tách ra càng nhỏ thì sự phân biệt hai vạch đó càng dễ dàng. Nói cách khác, cách tử phải có năng suất phân giải R lớn. Năng suất phân giải của cách tử được định nghĩa là đại lượng:

$$R = \frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} \quad (21.19)$$

Trong đó $\bar{\lambda}$ là bước sóng trung bình của hai vạch vừa đúng được xem là phân ly, còn $\Delta\lambda$ là hiệu của hai bước sóng đó. $\Delta\lambda$ càng nhỏ thì cách tử càng có khả năng phân ly các bước sóng ở gần nhau. Người ta đã chứng minh được năng suất phân giải của cách tử được tính theo công thức:

$$R = \frac{\bar{\lambda}}{\Delta\lambda} = k.N \quad (21.20)$$

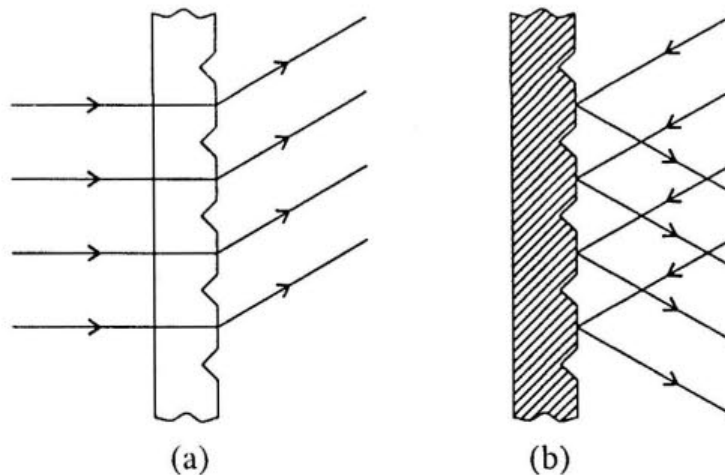
Từ công thức (21.18) và (21.20), ta thấy, để đạt được độ tán sắc lớn các vạch cách tử phải nằm gần nhau (d nhỏ), còn để đạt năng suất phân giải lớn cách tử phải có nhiều vạch (N lớn). Đó là lý do tại sao người ta phải chế tạo các cách tử có rất nhiều vạch trên một đơn vị dài (mm).

21.3.3.4. Ứng dụng

Cách tử nhiễu xạ hiện nay thường gồm hai loại:

- Cách tử truyền qua, là cách tử cho ánh sáng đi qua và nhiễu xạ về mọi phương. Ví dụ, cách tử làm bằng thủy tinh (hay thạch anh) trên đó vạch những rãnh nhỏ song song, đều nhau (hình 21.17a).

- Cách tử phản xạ là một mặt kim loại phẳng và nhẵn bóng, trên đó vạch những rãnh nhỏ cách đều nhau (hình 21.17b). Khi rọi ánh sáng lên mặt cách tử, ánh sáng sẽ nhiễu xạ trên những dải bằng phẳng giữa các rãnh và gây ra hình nhiễu xạ.



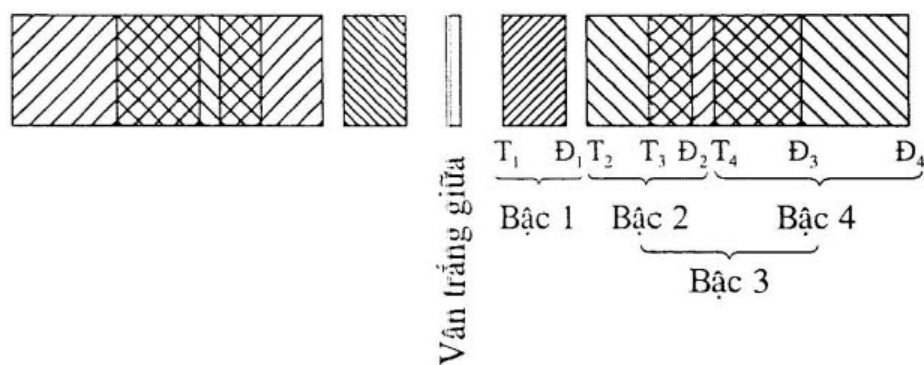
Hình 21.17

a) Cách tử truyền qua; b) Cách tử phản xạ.

Nếu chiếu ánh sáng đơn sắc lên cách tử thì trên màn quan sát ta thu được các vạch sáng trên một nền tối. Đó là các cực đại chính.

Bây giờ ta xét trường hợp cách tử được rọi bằng ánh sáng trắng. Mỗi ánh

sáng đơn sắc của ánh sáng trắng sẽ cho một hệ thống các cực đại chính. Tại điểm chính giữa O (hình 21.14), các ánh sáng đơn sắc đều cho cực đại chính, kết quả là tại O là một vệt sáng trắng. Ứng với một giá trị k xác định, cực đại chính của các ánh sáng đơn sắc không trùng nhau. Tập hợp các cực đại chính đó hợp thành một quang phổ bậc k. Trong mỗi quang phổ, vạch tím (T) nằm trong, vạch đỏ (Đ) nằm ngoài. Ra xa vân trắng giữa, các quang phổ bậc khác nhau có thể chồng lên nhau (hình 21.18). Các quang phổ cho bởi cách tử được gọi là quang phổ nhiễu xạ.



Hình 21.18. Quang phổ nhiễu xạ của cách tử.

Ứng dụng đầu tiên của cách tử nhiễu xạ là dùng để đo bước sóng (λ) ánh sáng với độ chính xác cao. Theo công thức:

$$d \cdot \sin \varphi = k \cdot \lambda$$

Suy ra:

$$\lambda = \frac{d \cdot \sin \varphi}{k} \tag{21.21}$$

Như vậy, khi biết chu kỳ cách tử d, biết bậc k của quang phổ và đo được góc nghiêng φ ứng với vạch quang phổ đơn sắc thì sẽ tính được λ của tia đó.

Ứng dụng quan trọng nhất và phổ biến nhất của cách tử nhiễu xạ là nó đóng vai trò của một hệ đơn sắc (monochromator), giống như vai trò của lăng kính, trong các máy quang phổ. Tức là để phân tích ánh sáng đa sắc thành những ánh sáng đơn sắc.

Ví dụ, nếu bức xạ phát từ nguồn S gồm hai bức xạ là $\lambda_1 = 450\text{nm}$ (xanh da trời) và $\lambda_2 = 625\text{nm}$ (đỏ). Cách tử có $1,26 \cdot 10^4$ vạch cách đều nhau và dài $L = 25,4\text{mm}$. Ta tính vị trí góc của cực đại bậc hai ($k = 2$) đối với hai bức xạ trên:

Hằng số cách tử:

$$d = \frac{L}{N} = \frac{25,4 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^4} = 2,016 \cdot 10^{-6} \text{m} = 2016\text{nm}$$

Với $k = 2$, $\lambda_1 = 450\text{nm}$ thì:

$$d \cdot \sin \varphi_1 = k \cdot \lambda_1$$

$$\rightarrow \sin \varphi_1 = \frac{k \cdot \lambda_1}{d} = \frac{2.450}{2016}$$

$$\rightarrow \varphi_1 = 26^{\circ}5$$

Với $\lambda_2 = 625\text{nm}$, tương tự ta tính được: $\varphi_2 = 38^{\circ}3$.

Như vậy hai bức xạ λ_1 và λ_2 đã được cách tử tách ra thành những bức xạ riêng biệt dưới những góc lệch khác nhau.

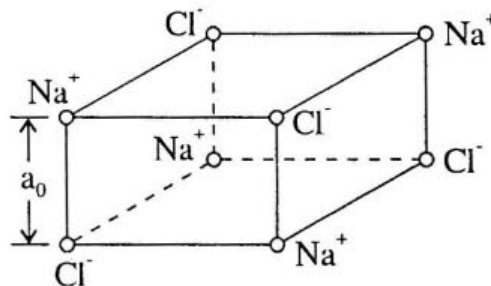
21.4. NHIỀU XẠ TIA X

Tia X (Rơnghen) là bức xạ điện từ phát đi từ vật rắn khi vật đó bị bắn phá bởi một chùm electron nhanh. Bước sóng của tia X rất ngắn, $\lambda = 0,1 - 2 \text{ \AA}$ ($0,01 - 0,2\text{nm}$). Chính vì thế không thể dùng cách tử quang học thông thường để nghiên cứu nhiễu xạ tia X được. Thật vậy, với $\lambda = 1\text{\AA}$ và với cách tử $d = 3000\text{nm}$, thì cực đại bậc 1 ($k = 1$) sẽ xuất hiện tại góc φ bằng:

$$\varphi = \arcsin \frac{0,1\text{nm}}{3000\text{nm}} = 0,0019^{\circ}$$

Góc này quá bé để có thể quan sát được. Để có thể phân tích được bức xạ tia X cần phải có cách tử với $d \approx \lambda$ của tia X. Một cách tử như thế trong thực tế không thể chế tạo được. Khi nghiên cứu cấu tạo các tinh thể vật rắn người ta phát hiện ra rằng, tinh thể được cấu tạo bởi các ion, nguyên tử hay phân tử phân bố một cách đều đặn ở đỉnh các khối nhiều mặt xác định, bằng nhau, xếp liền thành mạng tinh thể. Khoảng cách giữa các nguyên tử cỡ bước sóng tia X.

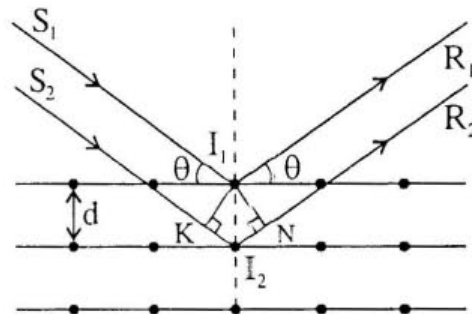
Ví dụ, tinh thể NaCl có 4 ion Na^+ và 4 ion Cl^- kết hợp thành một ô đơn vị là hình lập phương có cạnh là a_0 (hình 21.19). Do vậy nó có thể xem như một cách tử nhiễu xạ tự nhiên thoả mãn yêu cầu cần thiết của một cách tử nhiễu xạ tia X.



Hình 21.19. Mạng tinh thể NaCl.

Tinh thể của các chất được chia thành nhiều lớp, mỗi lớp gồm những trung tâm nhiễu xạ là các ion hay nguyên tử. Khi chiếu tia X vào tinh thể sẽ bị phản xạ

trên những lớp đó tại các trung tâm nhiễu xạ và cũng tuân theo định luật phản xạ ánh sáng, chùm phản xạ cũng làm thành một góc θ như chùm tia tới tạo với mặt phẳng phản xạ (hình 21.20). Như vậy sẽ có sự giao thoa của các chùm tia X phản xạ song song.



Hình 21.20. Nhiễu xạ trên tinh thể.

Khác với ánh sáng, tia X khi đi vào tinh thể không bị khúc xạ. Do đó pha tương ứng giữa hai tia $S_1I_1R_1$ và $S_2I_2R_2$ khi rời khỏi tinh thể chỉ xác định bởi hiệu đường đi. Hiệu quang lộ của hai tia phản xạ trên hai lớp liên tiếp của tinh thể bằng:

$$L_2 - L_1 = K.I_2 + I_2.N = 2.d.\sin\theta \quad (21.22)$$

Trong đó d là khoảng cách giữa hai lớp liên tiếp của tinh thể, còn gọi là chu kỳ của tinh thể.

Như vậy vị trí các cực đại nhiễu xạ sẽ được xác định bởi điều kiện:

$$2.d.\sin\theta = k.\lambda \quad (21.23)$$

Công thức (21.23) được gọi là công thức Vulf – Bragg. Đó là công thức cơ bản dùng trong kỹ thuật phân tích cấu trúc tinh thể bằng tia X. Biết bước sóng λ , đo góc θ ta có thể tính được khoảng cách d , nghĩa là xác định được cấu trúc của tinh thể.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Hiện tượng nhiễu xạ là gì?
2. Trình bày phương pháp đối cầu Fresnel.
3. Dùng phương pháp đối cầu Fresnel để giải thích hiện tượng nhiễu xạ của sóng cầu qua một lỗ tròn.
4. Giải thích hiện tượng nhiễu xạ qua một khe hẹp.
5. Cách tử nhiễu xạ: định nghĩa, độ tán sắc, năng suất phân giải và ứng dụng.
6. Tại sao sự nhiễu xạ sóng âm lại hiển nhiên xảy ra hàng ngày?

7. Ảnh nhiễu xạ qua một khe sẽ như thế nào khi $\lambda > a$?
8. Hình ảnh nhiễu xạ qua hai khe trên màn quan sát sẽ như thế nào khi các khe có độ rộng a không như nhau? Vị trí các vân có thay đổi không?
9. Sóng âm coi như một sóng phẳng. Tại sao muốn gọi một người ở xa phải dùng cái loa giấy hoặc bằng cái loa do tay ta tạo ra?
10. Hỏi độ rộng của khe để cho một sóng âm phẳng có tần số 1kHz loe rộng ra do nhiễu xạ qua khe đó? (cỡ 33cm).
11. Bề rộng khe a , bề dài khe là l (giả thiết là $l \gg a$). Khi l chỉ bằng $3a$ hình ảnh nhiễu xạ trên màn ra sao?
12. Tại sao số vạch (N) cách tử phải nhiều, khoảng cách các khe (d) phải nhỏ?
13. Tại sao số vạch (N) càng tăng, bước sóng λ giảm thì cực đại nhiễu xạ càng sắc nét?
14. Nhiễu xạ qua một lỗ tròn, nếu màn quan sát cũng là một mặt cầu thì sao?

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Khi chiếu ánh sáng đơn sắc lên một khe rộng 0,022mm, người ta quan sát thấy cực tiểu nhiễu xạ thứ nhất nằm tại góc $1,8^\circ$ so với phương của chùm sáng tới. Hỏi bước sóng của ánh sáng.

Đáp số: 691nm.

2. Rọi ánh sáng có bước sóng 633nm lên một khe hẹp. Góc giữa cực tiểu thứ nhất ở một bên cực đại chính giữa và cực tiểu thứ nhất ở phía bên kia là $1,20^\circ$. Hỏi độ rộng của khe?

Đáp số: 60,4 μ m.

3. Khoảng cách giữa cực tiểu thứ nhất và thứ năm trong ảnh nhiễu xạ qua một khe trên màn đặt cách khe 40cm là 0,35mm. Khi dùng ánh sáng có bước sóng 550nm.

a) Tìm độ rộng khe sáng.

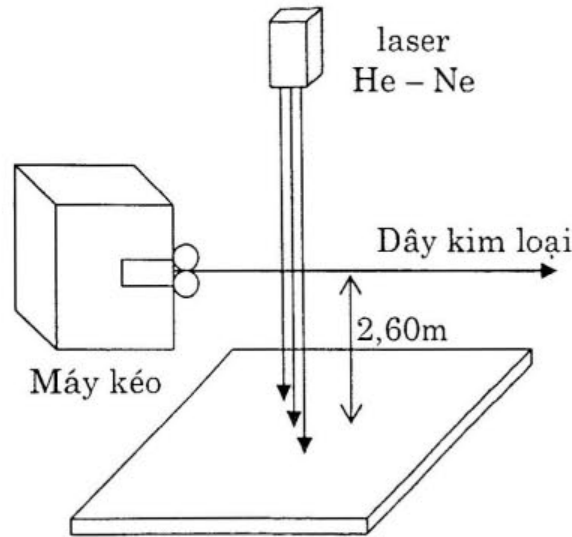
b) Tìm góc φ của cực tiểu nhiễu xạ thứ nhất.

Đáp số: a) 2,5mm b) $2,2 \cdot 10^{-4}$ rad.

4. Để sản xuất dây kim loại (những vật có kích thước nhỏ, mỏng,...) đôi khi người ta dùng một laser để theo dõi liên tục độ dày của sản phẩm. Dây kim loại ngăn chùm tia laser tạo ảnh nhiễu xạ độ rộng khe bằng đường kính dây. Giả sử một nguồn laser He – Ne có bước sóng 632,8nm rọi trên dây và ảnh

nhiều xạ hiện lên trên màn cách 2,60m. Nếu như muốn dây có đường kính 1,37mm thì khoảng cách giữa hai cực tiểu thứ mười quan sát trên màn (mỗi cực tiểu ở một bên cực đại chính giữa) sẽ là bao nhiêu?

Đáp số: 21,6mm.



5. Một cách tử nhiễu xạ rộng 20,0mm có 6000vạch.
 a) Khoảng cách d giữa các vạch.
 b) Những góc nào cường độ sáng cực đại khi ánh sáng tới có bước sóng 589nm.

Đáp số: a) 3330nm

b) $0; \pm 10,2^\circ; \pm 20,7^\circ; \pm 32,0^\circ; \pm 45^\circ; \pm 62,2^\circ$.

6. Một khe có độ rộng a được rọi bằng ánh sáng trắng. Hỏi giá trị của a là bao nhiêu để cho cực tiểu thứ nhất của ánh sáng đỏ có $\lambda = 650\text{nm}$ làm một góc $\theta = 15^\circ$? Hỏi với bước sóng λ' nào của ánh sáng có cực đại thứ nhất làm một góc 15° trùng với cực tiểu thứ nhất của ánh sáng đỏ?

Đáp số: a) $a \approx 2,5\mu\text{m}$

b) $\lambda' = 431\text{nm}$

7. Trong thí nghiệm hai khe, khoảng cách D từ màn đến khe là 52cm, bước sóng λ của nguồn sáng là 480nm, khoảng cách d giữa hai khe là 0,12mm, độ rộng của khe a là 0,025mm.

- a) Hỏi khoảng cách giữa các vân sáng kế tiếp?
 b) Tính khoảng cách từ cực đại chính giữa đến cực tiểu thứ nhất của bao hình nhiễu xạ.
 c) Có bao nhiêu vân sáng nằm trong vùng cực đại trung tâm của bao hình nhiễu xạ?

Đáp số: a) $i = 2,1\text{mm}$

b) $x \approx 10\text{mm}$

c) 9

8. Một cách tử nhiễu xạ có $1,26 \cdot 10^4$ vạch cách đều nhau. Độ rộng của cách tử $L = 25,4 \text{ mm}$. Cách tử được dọi vuông góc bằng ánh sáng có bước sóng 450 nm và 625 nm .

- a) Hỏi cực đại bậc hai đối với các bước sóng ấy nằm dưới những góc nào?
 b) Độ rộng của vạch 450 nm và 625 nm của phổ bậc hai là bao nhiêu?

Đáp số: a) $\varphi_{450} = 26^{\circ}5'$; $\varphi_{625} = 38^{\circ}3'$

b) $1,98 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$ và $3,14 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$

9. Dùng cách tử như trong bài 8, rọi vuông góc bằng ánh sáng vàng từ một đèn natri có hai vạch gần nhau: bước sóng $\lambda_1 = 589,00 \text{ nm}$ và $\lambda_2 = 589,59 \text{ nm}$.

- a) Hỏi cực đại bậc nhất của bước sóng λ_1 nằm dưới góc nào?
 b) Hỏi khoảng cách góc giữa hai vạch ở cực đại bậc một?
 c) Hai vạch còn được phân ly bởi cách tử này ở cực đại bậc một có bước sóng cách nhau là bao nhiêu?
 d) Hỏi số vạch cần thiết của cách tử để nó có thể vừa đúng phân giải hai vạch λ_1 và λ_2 ?

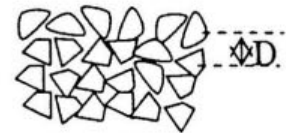
Đáp số: a) $\varphi_1 \approx 16,99^{\circ}$

b) $\Delta\varphi \approx 0,0175^{\circ}$

c) $R = 0,0467 \text{ nm}$

d) $N = 998$

10. Gần đúng cho rằng các chấm màu trong bức tranh là những vòng tròn sát nhau, tâm cách tâm một khoảng D . Nếu đường kính con người mắt là a . Hỏi khoảng cách nhỏ nhất L để không phân biệt được từng chấm nhỏ?



Đáp số: $L = \frac{D \cdot a}{1,22\lambda}$

Gợi ý: Dựa vào tiêu chuẩn Rayleigh cực tiểu nhiễu xạ bậc một qua lỗ tròn để phân biệt hai điểm gần nhau.

$$\sin\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{d} \text{ với } d \text{ là đường kính lỗ tròn.}$$

Với mắt ta, cực tiểu nhiễu xạ tạo ra cũng thoả mãn $\sin\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{d}$.

SỰ HẤP THỤ ÁNH SÁNG

MỤC TIÊU

1. Chứng minh được định luật Bouguer – Lambert – Beer về sự hấp thụ ánh sáng.
2. Nắm được phương pháp quang phổ hấp thụ phân tử và ứng dụng của nó.

22.1. ĐỊNH LUẬT HẤP THỤ ÁNH SÁNG

22.1.1. Sự hấp thụ phân tử

Năng lượng của một phân tử (E) bao gồm năng lượng của chuyển động tịnh tiến của phân tử (E_t), năng lượng của điện tử (E_e), năng lượng của chuyển động dao động (E_d) và năng lượng của chuyển động quay (E_q). Ta có:

$$E = E_t + E_e + E_d + E_q \quad (22.1)$$

Thường năng lượng của chuyển động tịnh tiến của phân tử không đáng kể, có thể bỏ qua. Xét về độ lớn của các loại năng lượng, người ta thấy:

$$E_e \gg E_d \gg E_q \quad (22.2)$$

Hình 22.1a trình bày các mức năng lượng của điện tử: mức năng lượng cơ bản (E_0), các mức năng lượng kích thích (E_1, E_2). Ứng với mỗi mức năng lượng điện tử lại có một số mức năng lượng dao động (đánh số 0, 1, 2, 3, 4...). Ứng với mỗi mức dao động lại có một số mức năng lượng của chuyển động quay (không thể hiện trên hình vẽ).

Theo lý thuyết lượng tử, khi một photon ánh sáng đi gần các hạt vi mô (điện tử, ion, nguyên tử, phân tử...), sự hấp thụ năng lượng có thể và chỉ có thể xảy ra khi photon đó mang năng lượng đúng bằng hiệu các mức năng lượng của trạng thái kích thích và trạng thái cơ bản. Có thể biểu diễn sự trao đổi năng lượng này qua biểu thức:

$$\Delta E = E^* - E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (22.3)$$

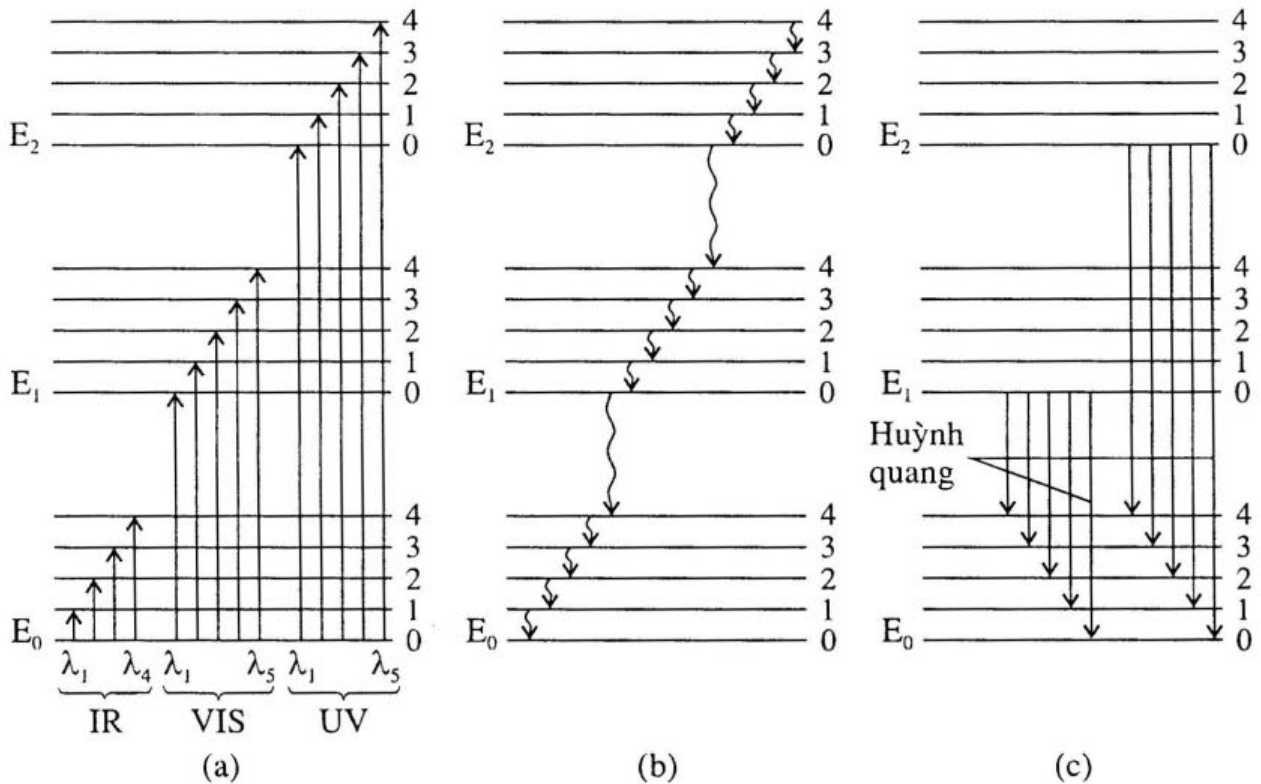
Trong đó: E^* : mức năng lượng của hạt ở trạng thái kích thích.

E_0 : mức năng lượng của hạt ở trạng thái cơ bản.

h : hằng số Planck, $h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{J.s}$.

c : vận tốc ánh sáng trong chân không, $c = 3 \cdot 10^8 \text{m/s}$.

λ : bước sóng ánh sáng.



Hình 22.1

Khi hạt được hấp thụ năng lượng của photon sẽ chuyển từ trạng thái cơ bản sang trạng thái kích thích:



Sau một thời gian rất ngắn ($10^{-6} \div 10^{-9} \text{s}$) tiểu phân ở trạng thái kích thích sẽ phục hồi về trạng thái cơ bản ban đầu có mức năng lượng thấp hơn, truyền năng lượng thừa cho các nguyên tử, phân tử môi trường xung quanh, làm cho môi trường nóng lên một chút.



Đó là sự phục hồi không bức xạ (hình 22.1b).

Khi sự phục hồi có kèm theo phát xạ, như phát huỳnh quang, đó là sự phục hồi có bức xạ (hình 22.1c)

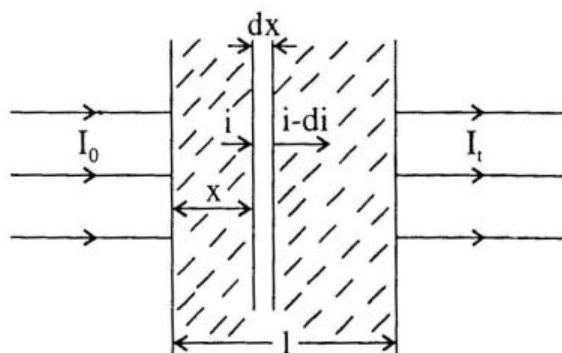
Trên (hình 22.1a) ta thấy sự hấp thụ bức xạ tử ngoại (UV – Ultra Violet) có năng lượng lớn, dẫn đến sự chuyển mức năng lượng lên tới mức E_2 . Sự hấp thụ bức xạ khả kiến (VIS – Visible) ứng với sự chuyển mức năng lượng lên mức E_1 . Còn sự hấp thụ tia hồng ngoại (IR – Infra Red) chỉ dẫn đến sự thay đổi các mức năng lượng dao động, phân tử vẫn ở trạng thái điện tử cơ bản.

Trên hình 22.1a, ta thấy có nhiều bức xạ có bước sóng khác nhau được hấp thụ, ứng với những sự chuyển mức năng lượng khác nhau. Thực tế số mức năng lượng tồn tại lớn hơn rất nhiều, nghĩa là có nhiều bức xạ ánh sáng được hấp thụ. Vì vậy hấp thụ phân tử ứng với các vạch phổ đứng liên tiếp cạnh nhau, tạo nên những dải hấp thụ hay các đỉnh hấp thụ cực đại, gọi là các λ_{\max} .

22.1.2. Định luật hấp thụ ánh sáng

Chiếu một chùm ánh sáng đơn sắc, song song tới đập vuông góc vào một lớp môi trường giới hạn bởi hai mặt phẳng song song, có bề dày l (hình 22.2).

Gọi cường độ chùm sáng chiếu tới mặt trước là I_0 , phần ánh sáng bị phản xạ khi đi tới mặt phân cách giữa hai môi trường là I_r , phần ánh sáng bị tán xạ trong môi trường là I_x , phần ánh sáng bị các phân tử môi trường hấp thụ là I_h , phần còn lại truyền qua khối môi trường là I_t . Theo định luật bảo toàn năng lượng, ta có:



Hình 22.2. Sự hấp thụ ánh sáng.

$$I_0 = I_r + I_x + I_h + I_t \quad (22.6)$$

Giả sử mặt ngăn cách của môi trường rất nhẵn, phẳng và các tia sáng tới đập vuông góc với mặt nên xem như phần ánh sáng phản xạ I_r không đáng kể. Môi trường trong suốt và đồng nhất thì phần ánh sáng bị tán xạ cũng có thể bỏ qua. Như vậy chỉ còn lại:

$$I_0 = I_h + I_t \quad (22.7)$$

Để xác định trực tiếp phần năng lượng ánh sáng bị phân tử môi trường hấp thụ thì rất khó, tuy vậy có thể xác định I_h gián tiếp qua việc đo I_0 và I_t . Định luật Bouguer – Lambert – Bear cho ta mối liên quan giữa I_0 và I_t .

Giả sử ta xét một lớp môi trường có bề dày dx , cách mặt trước của môi trường là x . Gọi i là cường độ chùm sáng khi đi tới mặt dx , $(i - di)$ là cường độ chùm sáng khi đi ra khỏi lớp dx . Như vậy, khi đi qua lớp dx , cường độ chùm sáng đã giảm đi một lượng là $- di$. Độ giảm $- di$ của cường độ chùm sáng tỷ lệ với i và độ dày dx , ta có:

$$-di \sim i, dx$$

Vậy:

$$-di = k.i.dx \quad (22.8)$$

Trong đó k là một hệ số tỷ lệ, gọi là hệ số hấp thụ của môi trường, k phụ thuộc vào bản chất, mật độ môi trường, vào bước sóng ánh sáng.

Giải phương trình vi phân (22.8):

$$\begin{aligned} \frac{di}{i} &= -k.dx \\ \int_{I_0}^{I_1} \frac{di}{i} &= \int_0^l -k.dx \\ \ln i \Big|_{I_0}^{I_1} &= -k.l \end{aligned}$$

Do đó:

$$I_1 = I_0 \cdot e^{-k.l} \quad (22.9)$$

Biểu thức (22.9) chính là biểu thức toán học của định luật Bouguer – Lambert.

Khi chuyển từ cơ số tự nhiên (e) sang cơ số thập phân (10) thì biểu thức (22.9) trở thành:

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{-k'.l} \quad (22.10)$$

Trong đó k' gọi là hệ số tắt, $k' = 0,43k$.

Nếu $\frac{I_x}{I_0} = \frac{1}{10}$ thì $k' = \frac{1}{x}$, vậy hệ số tắt có giá trị bằng nghịch đảo bề dày mà với

nó cường độ ánh sáng bị yếu đi 10 lần.

Trong trường hợp môi trường hấp thụ ánh sáng là dung dịch loãng nồng độ bằng C , ta thấy hệ số tắt k' tỷ lệ thuận với C :

$$k' = \varepsilon.C \quad (22.11)$$

ε là hệ số tắt của dung dịch. Hệ số ε không phụ thuộc vào nồng độ, chỉ phụ thuộc vào bản chất của chất tan, vào bước sóng (λ) của ánh sáng chiếu vào dung dịch.

Phối hợp các biểu thức (22.10) và (22.11) ta được phương trình biểu diễn định luật cơ bản của sự hấp thụ ánh sáng, định luật Bouguer – Lambert – Beer:

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon.C.l} \quad (22.12)$$

Định luật này chứng tỏ hệ số hấp thụ của một chất tỷ lệ thuận với khối lượng lớp môi trường mà ánh sáng đi qua, tức là tỷ 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 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 điều này chỉ đúng với các dung dịch loãng. Khi nồng độ dung dịch tăng, khoảng cách giữa các phân tử giảm, tương tác giữa các phân tử đáng kể, ta thấy có nhiều sai khác so với định luật Bouguer – Lambert – Beer. Ngoài ra, trong nhiều trường hợp, ϵ không chỉ phụ thuộc vào chất tan mà còn phụ thuộc vào dung môi. Điều này chứng tỏ sự tương tác giữa các phân tử chất tan và các phân tử dung môi cũng ảnh hưởng đến sự hấp thụ của dung dịch.

Vậy điều kiện để áp dụng định luật hấp thụ ánh sáng là:

- Chùm sáng phải đơn sắc.
- Dung dịch đo phải loãng (nằm trong khoảng nồng độ thích hợp).
- Dung dịch phải trong suốt (trừ chuẩn độ đo quang).
- Chất thử phải bên trong dung dịch và bên dưới tác dụng của ánh sáng (UV – VIS).

22.1.3. Một số đại lượng thông dụng

22.1.3.1. Độ truyền qua (T – Transmittance)

Độ truyền qua (hay còn gọi là độ thấu quang) đặc trưng cho độ trong suốt (về mặt quang học) của dung dịch, được định nghĩa:

$$T = \frac{I_t}{I_0} = 10^{-\epsilon.C.l} \quad (22.13)$$

Thường T tính ra phần trăm (%). Một chất có $T = 1$ (hay 100%), nghĩa là hoàn toàn không hấp thụ ánh sáng, người ta nói chất đó trong suốt hoàn toàn.

22.1.3.2. Độ hấp thụ (A – Absorbance)

Độ hấp thụ (hay còn gọi là mật độ quang D – Density, hoặc độ tắt E – Extinction) được định nghĩa:

$$A(D, E) = \lg \frac{1}{T} = \epsilon.C.l \quad (22.14)$$

Đối với một chất xác định (có ϵ xác định), thường đo trên một loại cốc đo (có bề dày thông thường $l = 1\text{cm}$), như vậy độ hấp thụ tỷ lệ thuận với nồng độ dung dịch:

$$A = K.C (K = \epsilon.l) \quad (22.15)$$

Đây chính là cơ sở lý thuyết của phương pháp định lượng bằng quang phổ hấp thụ.

22.1.3.3. Hệ số hấp thụ phần trăm ($E_{1\%}^{1\text{cm}}$)

Theo công thức $A = \epsilon.C.l$, nếu $l = 1\text{ cm}$, $C = 1\%$ thì:

$$A = \varepsilon = E_{1\%}^{1\text{cm}} \text{ (thường viết tắt là } E_1^1 \text{)}$$

Vậy E_1^1 chính là độ hấp thụ của dung dịch có nồng độ 1%, dùng cốc đo có bề dày 1 cm. Với một chất tan xác định, tại một λ xác định, E_1^1 là một hằng số.

22.1.3.4. Hệ số hấp thụ phân tử (ε_μ)

Hệ số hấp thụ phân tử, hay còn gọi là hệ số tắt mol, là độ hấp thụ của dung dịch có nồng độ 1 M/l, dùng cốc đo có bề dày 1 cm.

Cũng như E_1^1 , với một chất xác định, trong những điều kiện đo xác định (λ , dung môi, nhiệt độ...), ε_μ là một hằng số.

Giữa E_1^1 và ε_μ có mối liên hệ:

$$\varepsilon_\mu = \frac{E_1^1}{10} \cdot M \quad (22.16)$$

Ở đây M là phân tử gam của chất tan.

22.2. ỨNG DỤNG QUANG PHỔ HẤP THỤ PHÂN TỬ

Đa số các chất trong suốt có hệ số hấp thụ k (cũng có nghĩa là độ hấp thụ A) thay đổi theo bước sóng (λ). Những chất đó gọi là các chất hấp thụ lọc lựa. Đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của độ hấp thụ (A) của một chất vào bước sóng ánh sáng chiếu vào nó, gọi là phổ hấp thụ của chất đó.

$$(k, \varepsilon, A, D) = f(\lambda) \quad (22.17)$$

Phổ hấp thụ của mỗi chất được đặc trưng bởi hình dạng đường cong hấp thụ, số lượng, vị trí và cường độ của các cực đại.

Ngày nay phương pháp quang phổ hấp thụ phân tử (bao gồm phổ tử ngoại, khả kiến, hồng ngoại – UV, VIS, IR) đã trở thành một phương pháp phân tích thông dụng trong các phòng thí nghiệm ở các cơ sở nghiên cứu, trường học, trạm kiểm nghiệm, xí nghiệp sản xuất dược phẩm... Sở dĩ như vậy vì phương pháp này có những ưu điểm chính sau:

1. Độ chính xác (precision), độ lặp lại (reproducibility) của phương pháp khá cao.
2. Sai số tương đối của phương pháp (UV và VIS) nhỏ, thường vào khoảng $0,5 \div 1\%$.
3. Độ nhạy cao của phương pháp giúp có thể phân tích được các dung dịch loãng cỡ $10^{-4} \mu\text{g/l}$ (cỡ vài chục mcg/ml) rất thích hợp cho các phép phân tích vết (phân tích độc chất).
4. Thời gian phân tích nhanh chóng, chỉ cần $5 \div 10$ phút có thể cho biết ngay kết quả.

5. Kỹ thuật thao tác đơn giản, máy móc ngày càng hoàn thiện, gọn nhẹ, trình độ tự động hoá, tin học hoá cao.

Dưới đây chỉ giới thiệu một cách ngắn gọn một số lĩnh vực áp dụng của phổ hấp thụ phân tử trong ngành Dược.

22.2.1. Phân tích định tính

Cơ sở lý luận của phương pháp phân tích phổ hấp thụ phân tử là sự phụ thuộc giữa phổ của một chất vào cấu trúc hoá học của nó (cụ thể là cấu trúc của lớp vỏ điện tử, của các mối liên kết, của các nhóm chức và của cấu hình không gian của phân tử...). Vì thế, nếu có hai chất được đo trong những điều kiện hoàn toàn như nhau mà cho phổ (đặc biệt là phổ IR) hoàn toàn giống nhau thì có thể xem hai chất đó có cấu trúc hoá học như nhau.

Để phân tích phổ, người ta dựa vào các chỉ tiêu:

– Bước sóng hấp thụ cực đại: λ_{\max} (với phổ IR thường dùng đại lượng là số sóng: $\bar{\gamma} = \frac{1}{\lambda}$ (cm^{-1})). Ví dụ, phổ của dung dịch vitamin B₁₂ (cyanocobalamin) trong nước có các $\lambda_{\max} = 278; 361; 548\text{nm}$. Phổ của dung dịch vitamin B₂ (riboflavin) trong nước có $\lambda_{\max} = 223; 267; 375$ và 444nm .

– Dựa vào tỷ số độ hấp thụ tại các cực đại hoặc tại cực đại với cực tiểu hấp thụ. Ví dụ, với vitamin B₁₂ ta có các tỷ số: $A_{278}/A_{361} = 0,57; A_{548}/A_{361} = 0,30$.

Trong thực tế thường tiến hành so sánh phổ của chất khảo sát với phổ của chất chuẩn được đo trong những điều kiện như nhau, hoặc so sánh với phổ đã được công bố trong các tài liệu tra cứu (catalogue chuyên đề...). Hiện nay việc dùng phổ hấp thụ hồng ngoại để phân tích định tính có nhiều ưu việt hơn dùng phổ tử ngoại, khả kiến, vì phổ IR cho lượng thông tin nhiều hơn (phổ IR của một chất thường có vài chục đỉnh hấp thụ cực đại, trong khi phổ UV và VIS thường chỉ có một vài λ_{\max}). Phân tích cấu trúc của một chất không thể thiếu được phương pháp phổ IR.

22.2.2. Phân tích định lượng

Định lượng là lĩnh vực ứng dụng chủ yếu của phương pháp phổ UV và VIS. Nhiều chuyên luận trong Dược điển đã dùng phương pháp này để định lượng các hoạt chất.

Cơ sở của phương pháp là dựa vào công thức:

$$A = \epsilon.C.l$$

Có nhiều kỹ thuật định lượng bằng phổ UV và VIS:

- Phương pháp đo trực tiếp.
- Phương pháp so sánh.

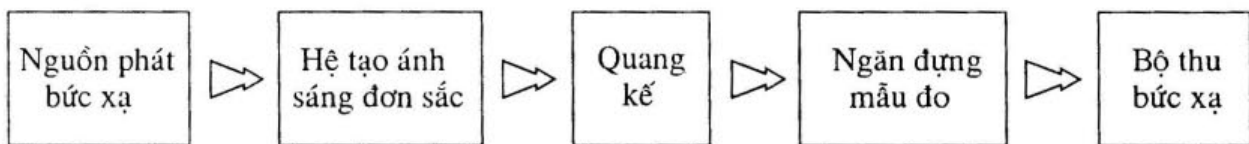
- Phương pháp đường chuẩn.
- Phương pháp thêm đường chuẩn.
- Phương pháp chuẩn độ đo quang.
- Phương pháp quang phổ vi sai.
- Phương pháp phổ đạo hàm.

Những phương pháp này sẽ được trình bày kỹ trong các giáo trình khác (phân tích dụng cụ hay các chuyên đề sau đại học...).

Đặc biệt việc phân tích từng thành phần trong một hỗn hợp mà không phải tách riêng từng thành phần ra là một ưu điểm của phương pháp phân tích phổ UV và VIS.

22.2.3. Máy quang phổ

Ở đây chỉ giới thiệu nguyên tắc cấu tạo của các máy quang phổ UV và VIS. Các máy này đều gồm 5 khối chức năng chính, theo sơ đồ khối như sau (hình 22.3).



Hình 22.3. Sơ đồ khối máy quang phổ UV và VIS.

- Nguồn phát bức xạ: gồm có 2 loại đèn nguồn. Đèn dây tóc (tungsten) phát ra ánh sáng vùng khả kiến có $\lambda > 320\text{nm}$. Đèn hydro (hay Deutri - D_2) phát ra ánh sáng tử ngoại có $\lambda < 350\text{nm}$. Đèn Xenon phát ánh sáng có $\lambda = 200 \div 800\text{nm}$.

- Hệ đơn sắc (monochromator): ánh sáng từ nguồn phát ra là ánh sáng đa sắc, hoặc có độ đơn sắc chưa cao. Để làm đơn sắc ánh sáng, có nhiều cách khác nhau:

+ Dùng kính lọc cho ta chùm sáng có độ đơn sắc không cao, thường chỉ dùng trong các quang kế thông thường (photometre). Trong các máy quang phổ (spectrophotometre) người ta dùng một trong hai thiết bị sau.

+ Dùng lăng kính, dựa vào sự tán sắc ánh sáng để biến ánh sáng đa sắc thành đơn sắc. Nếu đo trong vùng UV thì phải dùng lăng kính thạch anh.

+ Dùng cách tử (grating) – xem phần cách tử nhiễu xạ.

- Quang kế: quang kế thực chất là một hệ thống các thiết bị quang học như khe sáng, các gương, lăng kính, thấu kính... để làm các chức năng quang học khác nhau.

- Ngăn đựng mẫu đo: có loại một ngăn dùng cho máy quang phổ một chùm tia, có loại hai ngăn dùng cho máy hai chùm tia. Cốc đo cũng có hai loại, loại bằng thủy tinh chỉ dùng để đo vùng khả kiến, loại bằng thạch anh dùng cả UV

và VIS. Bề dày cốc cũng khác nhau tùy theo yêu cầu đo, loại thông dụng có bề dày 1cm.

– Bộ thu bức xạ: bộ phận này có chức năng chuyển các tín hiệu quang thành tín hiệu điện, xử lý tín hiệu để biểu thị kết quả đo trên đồng hồ, trên giấy vẽ phổ hay trên bản in của máy vi tính.

Để biến tín hiệu quang thành tín hiệu điện, người ta có thể dùng các loại tế bào quang điện, ống nhân quang điện, quang điện trở. Một số máy hiện đại dùng các mảng diot (diode array) làm bộ thu bức xạ (detector).

Các máy quang phổ hiện nay thường có gắn kết nối với máy vi tính để xử lý tín hiệu đầu ra của máy quang phổ. Nhờ vậy công việc phân tích trở nên nhanh chóng, thuận lợi và chính xác hơn nhiều.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Chứng minh định luật hấp thụ ánh sáng Bouguer – Lambert – Beer?
2. Trình bày một số đại lượng đo quang: độ truyền qua, độ hấp thụ, hệ số hấp thụ phần trăm, hệ số hấp thụ phân tử.
3. Hãy nêu một số lĩnh vực ứng dụng chính của phương pháp quang phổ hấp thụ phân tử.
4. Hiện tượng giao thoa – nhiễu xạ có ảnh hưởng tới sự hấp thụ ánh sáng không?
5. Sự hấp thụ ánh sáng phụ thuộc vào môi trường hay phụ thuộc nội tại các phân tử trong hệ mà ánh sáng truyền qua.
6. Cường độ sáng đến I_0 , cường độ sáng qua là I , và cường độ sáng hấp thụ I_a phụ thuộc số photon hay bước sóng λ , tần số f , vận tốc v .
7. Năng lượng chùm sáng môi trường hấp thụ bị gián đoạn hay liên tục.
8. Năng lượng chùm sáng tới môi trường có làm thay đổi nhiệt năng, động năng, thế năng của các tiểu phân môi trường như thế nào?

Chương 23

KHÁI NIỆM VỀ LASER

MỤC TIÊU

- Hiểu được nguyên tắc tạo tia laser.
- Nắm được các tính chất của tia laser.
- Kể được một số ứng dụng của laser trong Y học.

23.1. 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, gián đoạn E_1, E_2, E_3, \dots

Vào những năm 1913 Einstein đã xây dựng khái niệm về bức xạ cảm ứng, nó là chìa khoá cho sự hoạt động của laser.

Tới những năm 1960 mới thấy laser như thế nào và đã được áp dụng trong khoa học và đời sống.

Tập hợp nguyên tử ban đầu ở trạng thái có mức năng lượng thấp E_1 . Nếu photon có năng lượng:

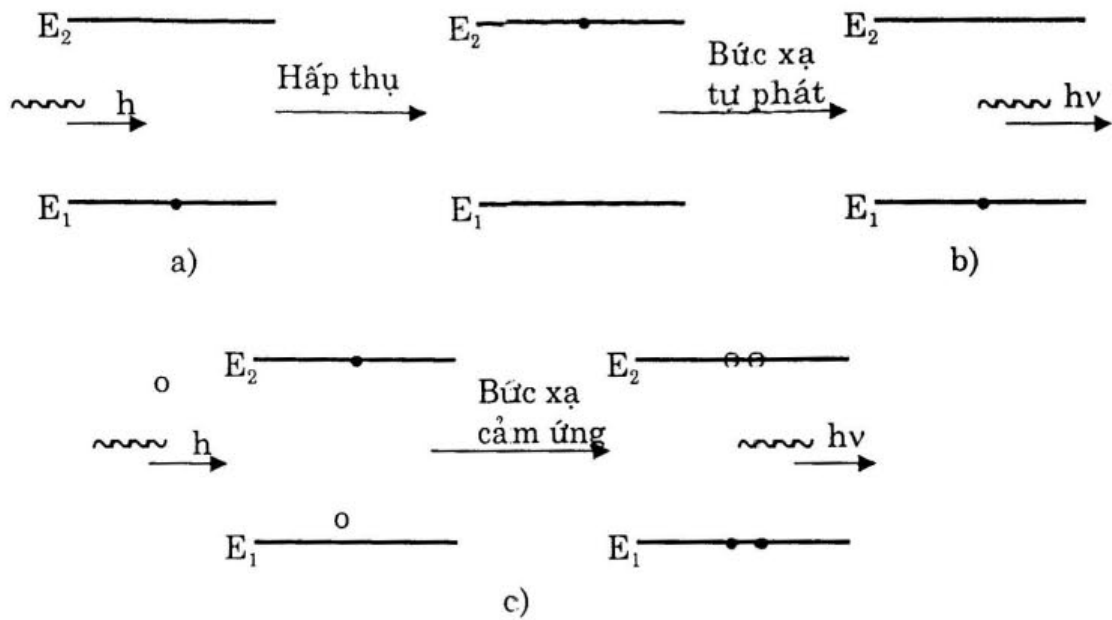
$$h\nu = E_2 - E_1$$

tương tác với phân tử đang xét, photon biến mất, nguyên tử chuyển lên trạng thái có mức năng lượng lớn hơn đó là sự hấp thụ hay phổ hấp thụ.

Ở năng lượng cao trạng thái nguyên tử không bền vững với thời gian sống τ nhỏ ($\sim 10^{-8}$ s), nó tự động chuyển về mức năng lượng thấp hơn đó là sự bức xạ tự phát vì nó không phụ thuộc vào bên ngoài. Ví dụ như sợi dây tóc bóng đèn phát sáng khi được nung nóng. Tuy nhiên ở một số trạng thái có mức năng lượng lớn, thời gian sống τ lâu hơn ($\sim 10^{-3}$ s) được gọi là trạng thái siêu bền. Trạng thái siêu bền đóng vai trò quan trọng trong sự hoạt động của laser.

Từ trạng thái có mức năng lượng cao siêu bền trở về trạng thái có mức năng lượng thấp hơn phát ra 2, 3, ... photon đó là bức xạ cảm ứng hay là phát laser.

Quá trình thu, phát năng lượng được mô tả như hình 23.1.



Hình 23.1. Quá trình thu, phát năng lượng của nguyên tử.

23.2. LASER VÀ NGUYÊN TẮC 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 có thể hiểu nguyên tắc phát tia laser một cách đơn giản như sau:

Số hạt ở mức năng lượng E_x là $n_x = C \cdot e^{-E_x/kT}$ với C là một hằng số, k là hằng số Boltzman, T là nhiệt độ tuyệt đối.

Tỷ số số hạt ở hai mức năng lượng E_1 và E_2 sẽ là:

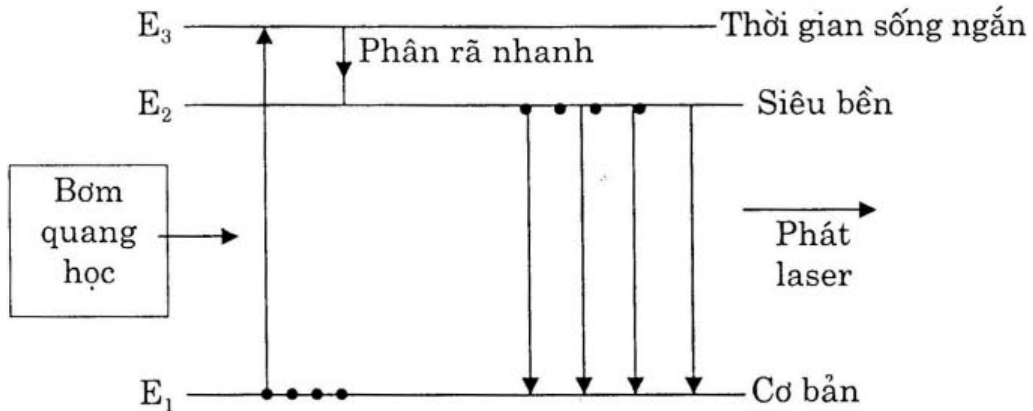
$$\frac{n_2}{n_1} = e^{-(E_2 - E_1)/kT}$$

Thông thường nếu $E_2 > E_1$ số hạt $n_2 < n_1$. Để có được laser ta phải làm cách nào đó "đảo ngược mật độ" cư trú số hạt $n_2 > n_1$. Để thực hiện điều đó, ta dùng "bơm quang học". Một nguồn sáng có năng lượng lớn, có phổ liên tục. Các hạt ở mức năng lượng thấp (E_1) hấp thụ năng lượng chuyển lên mức năng lượng cao (E_2) không bền phân rã nhanh chuyển về mức năng lượng (E_1) siêu bền.

Từ mức năng lượng cao (E_2) chuyển ô ạt về mức thấp cơ bản (E_1) tự phát tia laser.

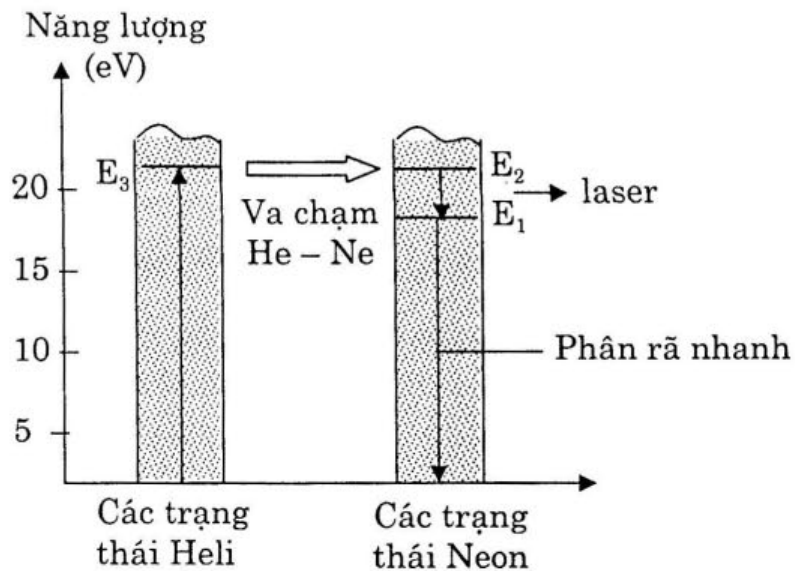
Tuy nhiên để phù hợp với điều kiện cân bằng nhiệt, ta xét phát tia laser của hỗn hợp khí Heli – Neon với tỷ lệ 80: 20. Sơ đồ đơn giản hoá sự trao đổi năng lượng tạo tia laser như hình 23.2. Nhờ bơm quang học các phân tử Heli nhận

năng lượng chuyển lên mức năng lượng cao E_3 siêu bền. Mức năng lượng E_3 của Heli cỡ 20,61eV gần với mức năng lượng E_2 của Neon cỡ 20,66eV.



Hình 23.2. Sơ đồ phát laser ba mức.

Khi Heli ở trạng thái siêu bền E_3 và các phân tử Neon ở trạng thái cơ bản, chúng va chạm vào nhau truyền cho nhau năng lượng, làm cho mật độ phân tử Neon ở lớp E_2 cao hơn các phân tử ở lớp E_1 khi đó chúng ta thực hiện được bước đảo mật độ. Khi các phân tử ở lớp E_2 siêu bền chuyển về lớp E_1 sẽ tạo tia laser màu đỏ có bước sóng λ (632,8nm).



Hình 23.3

23.3. 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: có năng lượng, phản xạ, khúc xạ, giao thoa, nhiễu xạ...

Ánh sáng laser có độ đơn sắc cao: Ánh sáng đèn Tungsten nung nóng phát phổ liên tục. Ánh sáng khi phóng điện qua các chất khí phát phổ vạch với độ chính xác 10^{-6} , trong khi đó độ đơn sắc của ánh sáng laser vào cỡ $10^{-15}(\frac{\Delta\lambda}{\lambda})$.

Ánh sáng laser có độ kết hợp cao: Đoàn sóng của ánh sáng laser có thể dài tới vài trăm kilômét, có nghĩa tạo vùng giao thoa cách nguồn vài trăm kilômét. Ánh sáng của đèn Tungsten chỉ tạo vùng giao thoa chỉ khoảng một mét.

Ánh sáng laser có tính định hướng cao: Chùm sóng laser không còn khái niệm song song mà nó chỉ loe ra do nhiễu xạ. Với ánh sáng thường tạo được chùm tia song song, hội tụ, phân kỳ nhờ thấu kính hoặc gương. Đối với ánh sáng laser tạo góc mở (độ phân kỳ) nhỏ hơn rất nhiều.

Ánh sáng laser có thể làm hội tụ với độ tụ cao: Độ tụ chùm tia laser bị giới hạn do sự nhiễu xạ chứ không do kích thước của nguồn phát. Do tính tụ cao cho nên ta có thể làm cho mật độ năng thông (năng lượng) lên tới $10^{16}\text{W}/\text{cm}^2$, với ngọn lửa hàn chỉ cỡ $10^3\text{W}/\text{cm}^2$.

Các đặc trưng của một số laser tiêu biểu

Môi trường phát	Công suất max	Độ dài xung	$\lambda(\text{nm})$	Ứng dụng
He – Ne	10nW	Liên tục	633	Quét mã vạch trong siêu thị
Argon	210W	Liên tục	488	Trong y học
XeCl	50kW	10ns	375	Trong y học
AlGaAs	50mW	Biến điệu	760	In laser
GaInAsP	20mW	Biến điệu	1300	Truyền tin trong cáp quang học

23.4. 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...

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

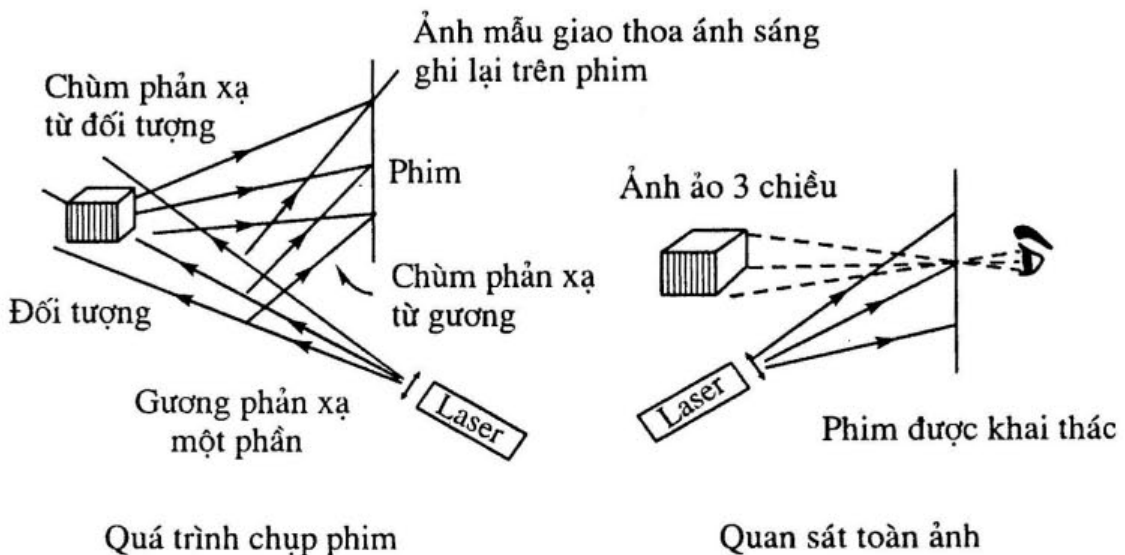
máu nhỏ (tương tự dao điện nhiệt nhưng hiệu quả cao hơn); trong phẫu thuật mắt chùm laser đi qua các thể trong suốt, tới võng mạc có thể hàn gắn võng mạc bị bong khỏi lớp màng mạch (bệnh bong võng mạc). Người ta cũng quan tâm đến tác dụng kích thích dinh dưỡng của các chùm laser công suất yếu, vì vậy đã có khá nhiều nghiên cứu ứng dụng loại này vào điều trị các vết loét, ổ dò, chống đau trong châm cứu và trong điều trị các bệnh zona, mềm sẹo, đốt mụn cơm thuộc phạm vi da liễu.

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 động 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 20.5.

Trong quá trình chụp phim, chùm laser tới gương phản xạ một phần chia làm hai chùm: chùm xuyên qua gặp đối tượng ba 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 quan sát sẽ thấy ảnh ảo ba chiều do kết quả của ảnh tạo bởi hiện tượng giao thoa.

Laser còn được ứng dụng nhiều trong kỹ thuật quân sự.



Hình 23.5

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Ánh sáng laser tạo chùm tia song song. Vậy cường độ chùm sáng có giảm theo quy luật tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách không?
2. Bức xạ tự phát và bức xạ cảm ứng khác nhau ở chỗ nào?
3. Có bức xạ tự phát, bức xạ cảm ứng. Vậy có hấp thụ tự phát, hấp thụ cảm ứng không?
4. Để có laser hoạt động, tại sao phải có sự đảo ngược mật độ cư trú hạt giữa hai mức năng lượng?
5. Trạng thái siêu bền là gì? Các trạng thái đó có vai trò gì trong sự hoạt động của laser.

BÀI TẬP TỰ GIẢI

1. Một laser He – Ne phát ánh sáng có bước sóng 632,8nm và có công suất lối ra là 2,3mW. Hỏi có bao nhiêu photon được phát ra trong mỗi phút bởi laser khi nó hoạt động.

Đáp số: $4,4 \cdot 10^{17}$ photon.

2. Laser Rubi (hồng ngọc) phát ánh sáng có bước sóng 694,4nm. Nếu xung laser được phát trong $1,2 \cdot 10^{-11}$ s và năng lượng giải phóng bởi mỗi xung là 0,15J, hãy tính:

- a) Độ dài của xung.
- b) Số photon trong mỗi xung.

Đáp số: a) $5,8 \cdot 10^4$ m; b) $\sim 5 \cdot 10^{17}$ photon.

3. Các laser đã trở nên rất nhỏ cũng như rất lớn. Thể tích vùng hoạt động của laser bán dẫn GaAlAs cỡ $200(\mu\text{m})^3$ (nhỏ hơn hạt cát) nhưng có thể phát liên tục 5,0mW công suất ở bước sóng 0,8 μm , tính tốc độ phát photon.

Đáp số: $2 \cdot 10^{16} \text{s}^{-1}$.

4. Chùm laser có công suất lớn ($\lambda = 600\text{nm}$) với đường kính chùm tia 12cm được rọi lên Mặt Trăng cách chúng ta $3,8 \cdot 10^5 \text{km}$. Sự loe ra của chùm tia do nhiễu xạ, tạo góc mép vành nhiễu xạ trung tâm thỏa mãn $\sin\varphi = \frac{1,22\lambda}{d}$ với d là đường kính chùm tia. Tính đường kính vành nhiễu xạ trung tâm ở bề mặt Mặt Trăng.

Đáp số: $\sim 4,8 \text{km}$

5. Một laser ba mức E_1, E_2, E_3 phát bước sóng 550nm ở gần tâm vùng phổ khả kiến.

a) Nếu cơ chế bơm quang học không sử dụng, hãy tính tỷ số hạt ở trạng thái cân bằng của độ cư trú ở hai mức năng lượng E_1 và E_2 . Giả sử $T = 300\text{K}$. Biết năng lượng chuyển động nhiệt trung bình :

$$kT = (8,62 \cdot 10^5 \text{eV/K})(300\text{K}) = 0,0299\text{eV}.$$

b) Ở nhiệt độ nào thì tỷ số $\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2}$.

Chú ý: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{J/K} = 8,62 \cdot 10^5 \text{eV/K}$.

$$\text{Đáp số: a) } \frac{n_2}{n_1} = 1,3 \cdot 10^{-38}$$

$$\text{b) } T = 37800\text{K}$$

Chương 24

TÁC DỤNG CỦA ÁNH SÁNG LÊN CƠ THỂ SỐNG

MỤC TIÊU

- *Nắm được cơ chế tác dụng của ánh sáng lên cơ thể sống.*
- *Trình bày được cơ chế của một số quá trình quang sinh.*
- *Hiểu được tác dụng quang động lực lên cơ thể sống.*

24.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ TÁC DỤNG CỦA ÁNH SÁNG LÊN CƠ THỂ SỐNG

24.1.1. 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 lũy 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 ba nhóm nhỏ tùy 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 ba nhóm nhỏ:

– Phản ứng tạo năng lượng (ví dụ: quang hợp, quang phosphoryl hoá...).

– Phản ứng thông tin trong đó lượng tử ánh sáng không qua những sản phẩm quang học kích thích các cơ quan khuếch đại đặc biệt. Kết quả là cơ thể nhận được lượng thông tin cần thiết về môi trường bên ngoài (ví 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.

24.1.2. 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:

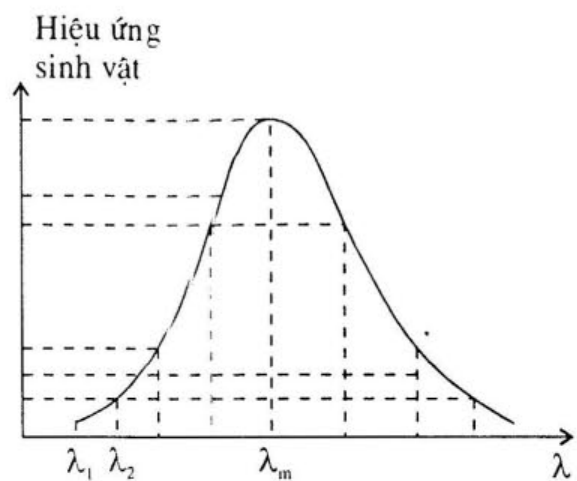
$$\text{Hiệu suất lượng tử } \varphi = \frac{\text{Số phân tử bị kích thích}}{\text{Số phân tử đã hấp thụ ánh sáng}} \quad (24.1)$$

Hiệu suất lượng tử cho ta biết hiệu suất sử dụng năng lượng của quá trình quang sinh được khảo sát.

24.1.3. 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 24.1).

Để hiểu rõ hơn khái niệm phổ tác dụng, ta xét ví 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 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{10}$. 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:



Hình 24.1.

– 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.

24.1.4. Nhu cầu năng lượng

Bảng 24.1

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 một phân tử O_2 tách ra	–	–	10
Quang hợp tạo 1g hydratcacbon	–	–	10^{23}
Tạo sắc tố da (rám nắng)	–	$3 \cdot 10^2$	–
Phân huỷ hồng cầu	–	–	10^{10}
Khử hoạt tính vi khuẩn	10^{-15}	10	10^8
Khử hoạt tính virút	10^{-19}	10	10^4
Khử hoạt tính men	10^{-22}	10^4	10^2
Phân ly cacboximoglobin	$3 \cdot 10^{-23}$	–	1

Bảng 24.1 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 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, ví 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 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 virút 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:

- Biến thành nhiệt hay bức xạ nhờ hiện tượng phát quang.
- Kích thích các chuỗi phản ứng phức tạp, chẳng hạn như quang hợp.
- Dẫn tới sự phá huỷ các cấu trúc phân tử, chẳng hạn khử hoạt tính các tế bào, virút, men do tia tử ngoại gây nên.

24.1.5. 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

Avà 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 êxitôn.

24.1.5.1. Thuyết cộng hưởng về sự di chuyển năng lượng

Dạng di chuyển năng lượng này là sự di chuyển năng lượng 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 đây 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 đây (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 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: $A + B + h\nu \rightarrow A^* + B \rightarrow A + B^*$

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:

- Phân tử nhường (cho) năng lượng phải phát quang được.
- 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.

- Các phân tử phải đủ gần nhau. Hiệu suất di chuyển năng lượng tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa chúng (ở khoảng cách $10A^{\circ}$ 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 $0 \div 12\text{kcal/mol}$ 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.

24.1.5.2. Thuyết êxitôn 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 êxitôn, còn sự di chuyển năng lượng kiểu này gọi là sự di chuyển năng lượng của êxitôn. 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 êxitôn mang đến phân tử có bẫy. Dạng di chuyển năng lượng bằng êxitôn có thể thực hiện trên những khoảng cách lớn. Thuyết êxitôn được áp dụng trong khảo sát di chuyển năng lượng ở những hệ thống chứa các sắc tố sinh vật, ví dụ rôđôpsin, 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.

24.2. MỘT SỐ QUÁ TRÌNH QUANG SINH

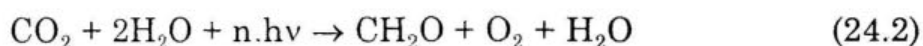
Dưới đây ta khảo sát một số quá trình quang sinh cụ thể minh họa cho sự phân chia các phản ứng quang sinh thành hai nhóm là các phản ứng sinh lý chức năng và các phản ứng phá huỷ biến tính.

24.2.1. Quang hợp

Quang hợp là ví dụ điển hình về loại phản ứng tạo và tích lũy 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 hydrat carbon. Quá trình quang hợp gồm hai 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:



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 ($\text{H} \rightarrow \text{H}^+ + \text{e}^-$) có thể xem như một quá trình gồm hai 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 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 112kcal/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 7000A^0 (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 vào 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 mỗi 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 màu) 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.

24.2.2. Sinh tổng hợp sắc tố và vitamin

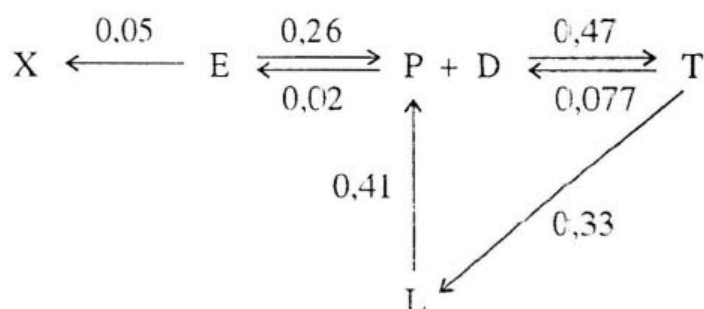
Một trong những phản ứng quang sinh lý chức năng có tầm quan trọng lớn trong sự tồn tại và phát triển của sự sống là những phản ứng quang tổng hợp sắc tố và vitamin.

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 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.

Ví dụ: sinh tổng hợp vitamin D₂.

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 D₂ 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 ergocalci pherol.

P là pre ergocalci pherol.

Các chỉ số là các hiệu suất lượng tử của những phân tử 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 D₂ và giữa các chất có một trạng thái dừng. Bản chất của phản ứng quang hoá chính là sự phá vỡ liên kết đóng hoá trị C-C trong vòng benzol giữa các nguyên tử cacbon 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.

24.3. TÁC DỤNG QUANG ĐỘNG LỰC

Một trong những ví 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 O₂ và chất hoạt hoá. Trong hiệu ứng quang động lực tác dụng của ánh sáng lên cơ

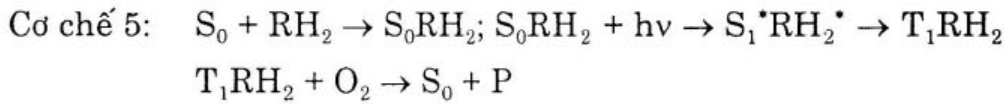
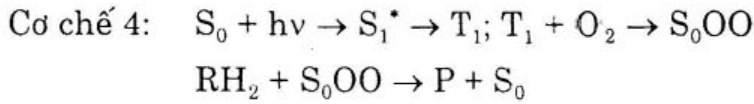
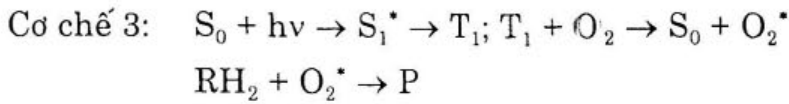
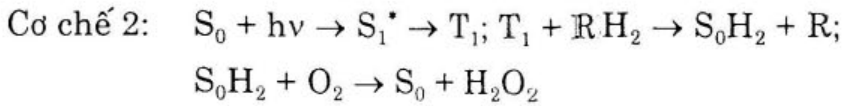
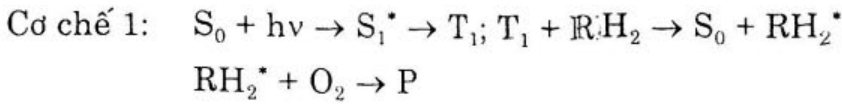
thể là tác dụng gián tiếp, và ở đây chất hoạt hoá đóng vai trò một chất xúc tác không thể thiếu được, nó là động lực thúc đẩy sự tiến triển của phản ứng.

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 đôi khi phản ứng có thể xảy ra không cần có mặt O_2).

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, mỗi 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 phân tử kích thích ở trạng thái triplet. Sự tham gia của trạng thái triplet của chất màu và 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:



Ở đây: S_0 - 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 tác dụng quang động lực 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 quang động lực hầu hết các acid hữu cơ, các idol, ceton các amin, este, phenol, acid amin thơm (metyl, triptophan, cestein, tirosin...), pyrin, pirimidin, nucleotid, hocmon, acid nucleic và protid bị oxy hoá.

Ta xét một số tác dụng quang động lực cụ thể:

- *Tác dụng quang động lực lên protid và acid nucleic*: tác dụng quang động lực 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 chiều nghiên cứu, quang động lực 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. Ví 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. Tác dụng quang động lực 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 eritrosin, 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 eritrosin.

Quang động lực làm giảm một cách đáng kể độ nhớt và khả năng lắng của các acid nucleic điển hình là gualidin. Sở dĩ như vậy vì các phản ứng quang hoá đã làm gãy 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 tác dụng quang động lực dẫn đến sự phá huỷ hoạt tính sinh học của chúng. Ví dụ như ADN virút thuốc lá mất khả năng miễn dịch do tác dụng quang động lực. Việc nghiên cứu khử hoạt tính của virút bằng tác dụng quang động lực mở ra triển vọng chế tạo vacxin chống virút. 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 virút.

- *Tác dụng quang động lực lên dược chất:* trong điều trị ta thường dùng nhiều loại thuốc tham gia vào các phản ứng quang động lực, các loại sulphonamid là một ví 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.

Tác dụng quang động lực cũng thấy ở các loại barbiturat (như sêvênan, 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.

- *Tác dụng quang động lực 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 tác dụng quang động lực. 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 lên không phải một mà cả một dãy liên tiếp điện thế hoạt động.

– *Tác dụng quang động lực lên cơ thể sinh vật*: ta thường quan sát tác dụng quang động lực lên các tế bào và các mô nuôi cấy. Theo kết quả của thực nghiệm, quang động lực 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...

Đối với thực vật, tác dụng quang động lực 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 quang động lực sẽ bị xạm hoặc loét da, lông bị rụng.

Nhiều chất hoạt hoá phản ứng quang động lực 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 ví dụ trên, ta có thể hình dung một cách tổng quát về sơ đồ quá trình tác dụng quang động lực 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 phân tử vĩ mô → hiệu ứng sinh vật.

24.4. 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 ra làm ba vùng:

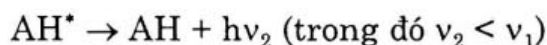
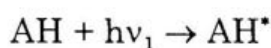
– Vùng bước sóng từ $100 \div 275\text{nm}$ gọi là vùng sóng ngắn làm thay đổi cấu trúc của protid, lipid và có tác dụng diệt trùng.

– Vùng có bước sóng từ $275 \div 320\text{nm}$ 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 $320 \div 400\text{nm}$ 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 lên những phản ứng quang sinh dẫn đến phá huỷ acid nucleic 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 huỷ 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 các 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:

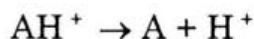
+ Giai đoạn tích cực là sự hấp thụ ánh sáng kích thích các phân tử acid amin, chuyển chúng sang trạng thái kích thích; có thể có bước chuyển ngược về trạng thái không kích thích bằng cách phát lượng tử ánh sáng (phát sáng).



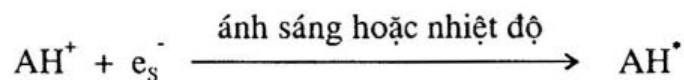
+ Giai đoạn quang ion hoá, là phân tử acid amin bị kích thích mất điện tử (quang ion hoá), xuất hiện điện tích dương không bị bù trừ, tức là tạo lên gốc ion dương, điện tử bị các phân tử xung quanh chủ yếu là nước chiếm, xảy ra phản ứng solvat hoá.



Các ion có thể phân huỷ tạo thành các gốc tự do và proton cô lập.

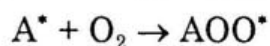


Những quá trình này rất xảy ra nhanh, nghiên cứu chúng chỉ có thể bằng phương pháp quang phân tạo xung hay ở nhiệt độ thấp. Các ion có thể tổ hợp ngược với điện tử solvat dưới tác dụng của ánh sáng hay nhiệt độ. Khi ấy phân tử bị kích thích được tạo nên và sau khi bức xạ ánh sáng nó trở về trạng thái không kích thích.

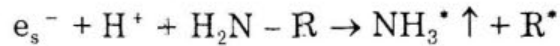


Nếu như quá trình được trình bày này xảy ra dưới tác dụng của ánh sáng thì nó được gọi là sự phát quang cảm ứng còn dưới tác dụng của nhiệt độ thì gọi là nhiệt phát quang.

+ 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 oxid của acid amin thơm.



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.



+ Giai đoạn phản ứng hoá học phá huỷ acid amin: các gốc oxid 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 virút và vi khuẩn.

Cần chú ý rằng tác dụng yếu của tia tử ngoại là nâng cao tính phản ứng miễn dịch của cơ thể. 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 gãy chóng liền.

PHẦN THỨ NĂM

PHÓNG XẠ SINH HỌC

Chương 25

PHÓNG XẠ VÀ PHÓNG XẠ SINH HỌC

MỤC TIÊU

- *Nắm vững:* + Các đặc trưng cơ bản của phóng xạ.
 - + Tương tác của tia phóng xạ với vật chất.
 - + Các hiệu ứng sinh học của phóng xạ.
 - + An toàn phóng xạ.
- *Nêu được những ứng dụng chính của đồng vị phóng xạ trong y sinh học.*

25.1. CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA PHÓNG XẠ

Phóng xạ là hiện tượng biến đổi tự phát các đồng vị không bền của một số nguyên tố thành đồng vị của một số nguyên tố khác, đồng thời phát ra các bức xạ không nhìn thấy (gồm các hạt cơ bản hoặc hạt nhân) gọi là các tia phóng xạ.

Có hai loại phóng xạ: phóng xạ tự nhiên và phóng xạ nhân tạo. *Phóng xạ của các đồng vị trong điều kiện tự nhiên gọi là phóng xạ tự nhiên. Phóng xạ của các đồng vị từ các phản ứng hạt nhân gọi là phóng xạ nhân tạo.*

Trong tự nhiên người ta tìm ra ba dãy nguyên tố phóng xạ. Đó là dãy thori, dãy urani, dãy actini. Các dãy này có chu kỳ bán rã khác nhau, nhưng đều kết thúc bằng các đồng vị của chì (Pb^{208}), đều có số khối của các nguyên tố bằng bội số của 4: dãy thori là $(4n)$, dãy urani là $(4n + 2)$ và dãy actini là $(4n + 3)$. Vậy phải có tồn tại dãy có số khối bằng $(4n + 1)$? Mặc dù không tìm thấy dãy này trong tự nhiên, người ta đã tìm được những nguyên tố tham gia dãy này bằng phương pháp nhân tạo. Đó là dãy neptuni.

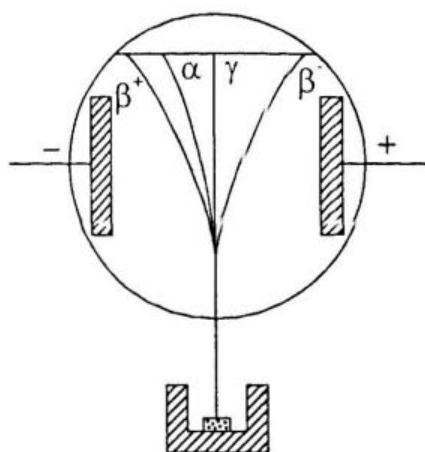
Các dãy phóng xạ

<u>Dãy thori</u> (4n)	<u>Dãy neptuni</u> (4n + 1)	<u>Dãy urani</u> (4n + 2)	<u>Dãy actini</u> (4n + 3)
Th ²³²	Pu ²⁴¹	U ²³⁸	U ²³⁵
α ↓ 1,39.10 ¹¹ năm	β ↓ 10 năm	α ↓ 4,5 năm	α ↓ 7,07.10 ⁸ năm
Ra ²²⁸	Am ²⁴¹	Th ²³⁴	Th ²³¹
β ↓	α ↓	β ↓	β ↓
⋮	⋮	⋮	⋮
Pb ²⁰⁸	Bi ²⁰⁹	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷

25.1.1. Thành phần tia phóng xạ

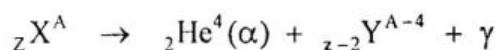
Khi cho chùm tia phóng xạ đi qua điện từ trường thì chúng bị tách làm 3 chùm tia:

- Chùm thứ nhất bị lệch về phía cực âm, giống như dòng các điện tích dương: đó là chùm tia α, chùm tia β⁺.
- Chùm thứ hai bị lệch về phía cực dương, giống như dòng các điện tích âm: đó là chùm tia β⁻.
- Chùm thứ ba đi thẳng không bị lệch trong điện từ trường: đó là chùm tia γ.

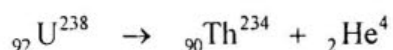


Hình 25.1

25.1.1.1. Phân rã α



Ví dụ:



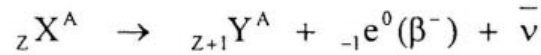
Bức xạ α phát ra từ một hạt nhân nguyên tử chuyển động với vận tốc cỡ 10⁷m/s, có năng lượng 4 ÷ 9MeV. Quãng đường mà hạt α đi được trong một chất

gọi là quãng chạy hay khả năng đâm xuyên (chính là đoạn đường thực hiện quá trình ion hoá). Trong không khí, ở áp suất khí quyển thì quãng chạy của hạt α vào khoảng $3 \div 9$ cm, khả năng ion hoá là 100000 đến 250000 cặp ion.

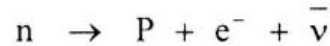
25.1.1.2. Phân rã β

Có 3 dạng phân rã β khác nhau:

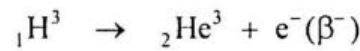
- Phân rã β^-



Quá trình này xảy ra khi một neutron trong hạt nhân biến đổi thành một proton và một electron kèm theo một nơtrinô:

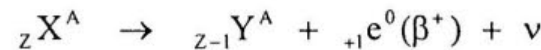


Ví dụ:

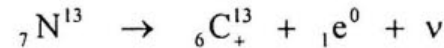


Tia β là dòng các hạt electron chuyển động nhanh với vận tốc khoảng $(1 \div 3) \cdot 10^8$ m/s, mang năng lượng $1 \div 3$ MeV. Quãng chạy trong không khí từ 10cm đến vài met. Khả năng ion hoá từ 10000 đến 25000 ion.

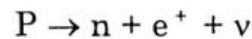
- Phân rã β^+ :



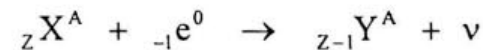
Ví dụ:



Quá trình xảy ra khi một proton trong hạt nhân biến thành một neutron và pozitron (e^+) kèm theo một hạt nơtrinô.



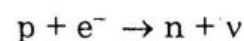
- Dạng thứ ba - hạt nhân hấp thụ một e^- ở lớp K (hay L, M).



Ví dụ:



Quá trình xảy ra khi một proton hấp thụ một electron biến thành một neutron và phát ra một nơtrinô.



25.1.1.3. Phát xạ tia γ

Phát xạ tia γ là quá trình hạt nhân ở trạng thái kích thích có năng lượng cao trở về trạng thái kích thích có năng lượng nhỏ hơn, hay từ trạng thái kích thích

trở về trạng thái cơ bản, có số khối và điện tích không đổi, chỉ có năng lượng giảm đi. Phần năng lượng giảm đi được phát ra dưới dạng bức xạ điện từ có bước sóng rất nhỏ, đó là tia γ .

Bức xạ γ là dòng photon có năng lượng lớn, bước sóng ngắn hơn cả bước sóng của tia X. Năng lượng cực đại của các photon γ khoảng $1 \div 3,5\text{MeV}$.

Tia γ có khả năng đâm xuyên lớn, trong không khí có thể đi được từ hàng chục đến hàng trăm met. Khả năng ion hoá kém.

25.1.2. Định luật phân rã phóng xạ

Hiện tượng phóng xạ do các nguyên nhân bên trong hạt nhân gây ra và hoàn toàn không phụ thuộc vào các tác động bên ngoài (áp suất, nhiệt độ...). Các chất phóng xạ phân rã, biến đổi từ chất này sang chất khác theo đúng định luật phóng xạ.

Giả sử ban đầu ($t = 0$) số hạt nhân của nguyên tố là N_0 . Sau thời gian dt , số hạt nhân bị phân rã là dN , số hạt nhân còn chưa bị phân rã là N . Ta thấy số hạt nhân bị phân rã dN tỷ lệ với thời gian phân rã dt và với số hạt nhân còn lại ở thời điểm đó N :

Hay ta viết:

$$-dN \sim N \cdot dt$$

$$-dN = \lambda \cdot N \cdot dt$$

Chú ý rằng, $dN < 0$ nói lên số hạt nhân giảm:

$$\int \frac{dN}{N} = \int -\lambda \cdot dt$$

$$\ln N = -\lambda \cdot t + C(1)$$

$$t = 0 \rightarrow N = N_0$$

$$\ln N_0 = C \tag{2}$$

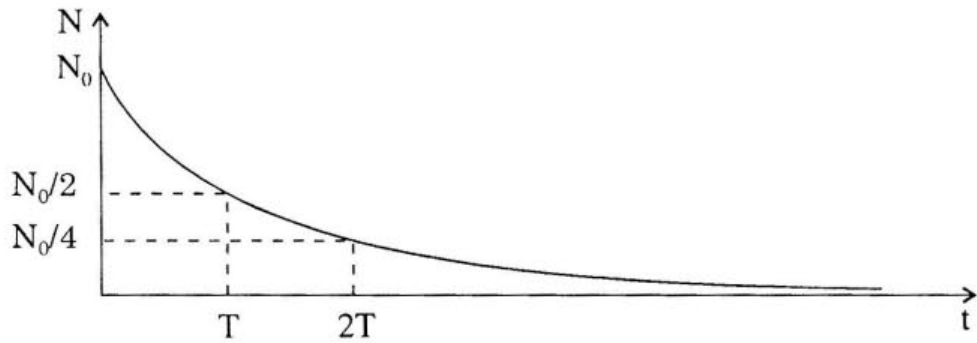
$$\ln N = -\lambda \cdot t + \ln N_0$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = \ln(e^{-\lambda \cdot t})$$

$$\Rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \tag{25.1}$$

Trong đó λ là một hệ số gọi là hằng số phân rã, λ đặc trưng cho tính phóng xạ của từng nguyên tố và không phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài.

Như vậy, số nguyên tử của chất phóng xạ giảm dần theo thời gian theo quy luật hàm số mũ.



Hình 25.2

– Chu kỳ bán rã T : là thời gian cần để cho số nguyên tử của một chất phóng xạ giảm đi còn một nửa so với lúc ban đầu.

Thật vậy, nếu $N = N_0/2$ thì:

$$N_0/2 = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T}$$

Ta suy ra:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (25.2)$$

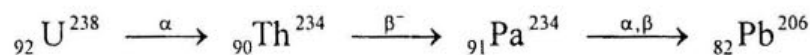
Các chất phóng xạ có chu kỳ bán rã rất khác nhau, thay đổi từ $3 \cdot 10^{-7}$ s đến $5 \cdot 10^{15}$ năm. Ví dụ urani có $T = 4,5 \cdot 10^9$ năm, radi có $T = 10^{-6}$ s.

• Thời gian sống trung bình τ :

Đại lượng nghịch đảo của hằng số phân rã gọi là thời gian sống trung bình của hạt nhân.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (25.3)$$

Các hạt nhân con được tạo thành do phân rã phóng xạ có thể lại phóng xạ tiếp có hằng số phân rã λ , đến lượt hạt nhân mới này lại tiếp tục phóng xạ với hằng số phân rã $\lambda \dots$ Tập hợp các hạt nhân nằm trong một chuỗi phóng xạ gọi là họ phóng xạ. Ví dụ:



Trong tự nhiên có ba họ phóng xạ bắt đầu bằng các nguyên tố nặng U^{238} , U^{235} và Th^{232} . Sản phẩm cuối cùng của cả ba họ trên đều là các đồng vị của chì Pb^{206} , Pb^{207} , Pb^{208} .

25.1.3. Các đơn vị đo phóng xạ

25.1.3.1. Tốc độ phóng xạ (H)

Tốc độ phóng xạ H của một lượng chất phóng xạ là đại lượng đặc trưng cho tính phóng xạ mạnh hay yếu. Là đại lượng được đo bằng tỷ số giữa lượng nguyên tử bị phân rã (ΔN) với khoảng thời gian (Δt) phân rã số nguyên tử đó.

$$H = -\frac{\Delta N}{\Delta t} \quad (25.4)$$

Dấu (-) vì số hạt bị phóng xạ giảm dần.

Tốc độ phóng xạ cũng chính là số phân rã trong một đơn vị thời gian.

Đơn vị đo là Berqueren (Bq). Một Bq là 1 phân rã trong 1 giây.

Một đơn vị khác là Curi (Ci). Có mối quan hệ với Berqueren (Bq)

$$1 \text{ Ci} \approx 3,7.10^{10} \text{ Bq.}$$

Một Ci tương đương độ phóng xạ của 1g Radium trong 1 giây.

Tốc độ phóng xạ $H(t)$ giảm theo thời gian với cùng quy luật với số nguyên tử $N(t)$. Thật vậy: chúng ta lấy vi phân hai vế phương trình (25.1) theo thời gian ta được:

$$\begin{aligned} H(t) &= \frac{-dN(t)}{dt} = \frac{-d(N_0 \cdot e^{-\lambda t})}{dt} = \frac{-(-\lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}) \cdot dt}{dt} \\ H(t) &= \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = \lambda \cdot N(t) \end{aligned} \quad (25.5)$$

Nghĩa là: *Tốc độ phóng xạ bằng số nguyên tử phóng xạ nhân với hằng số phân rã λ .*

Nếu gọi H_0 là độ phóng xạ ban đầu ($t = 0$): $H_0 = \lambda \cdot N_0$, thì ta có quy luật giảm của độ phóng xạ:

$$H(t) = H_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (25.6)$$

Nếu tốc độ phóng xạ bằng 1Bq, một phân rã trong một giây, số nguyên tử ở thời điểm t là:

$$N(t) = \frac{H(t)}{\lambda} = \frac{1}{\ln 2/T} = \frac{T}{\ln 2}$$

Gọi A là số khối (khối lượng của 1 mol, 1 phân tử gam hay 1 nguyên tử gam đối với phân tử đơn nguyên tử). Thì khối lượng của 1 nguyên tử sẽ bằng: A/N_A (N_A – số Avogadro). Do vậy khối lượng của chất phóng xạ có độ phóng xạ bằng 1 Bq sẽ là:

$$\begin{aligned} M &= N(t) \cdot \frac{A}{N_A} = \frac{T}{\ln 2} \cdot \frac{A}{N_A} = \frac{T \cdot A}{0,693 \cdot 6,029 \cdot 10^{23}} \\ M &\approx 2,40 \cdot 10^{-24} \cdot T \cdot A \end{aligned} \quad (25.7)$$

25.1.3.2. Liều bức xạ

Những biến đổi xảy ra trong môi trường vật chất nói chung và cơ thể sống nói riêng khi bị chiếu xạ bởi tia γ , β hay α đều phụ thuộc vào năng lượng bức xạ bị hấp thụ, số điện tích được tạo ra trong quá trình ion hoá. Để đặc trưng định lượng cho những thuộc tính này người ta đưa ra khái niệm liều bức xạ.

– Liều hấp thụ bức xạ (D_n) là một đại lượng vật lý cho biết *năng lượng của bức xạ bị hấp thụ trong một đơn vị khối lượng của môi trường bị chiếu xạ.*

$$D_n = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad (25.8)$$

ΔE : năng lượng hấp thụ trong khối lượng Δm . Nếu gọi ρ là khối lượng riêng, ΔV là thể tích, ta có:

$$D_n = \frac{\Delta E}{\rho \cdot \Delta V} \quad (25.9)$$

Đơn vị đo gọi là $[D_n] = \text{J/Kg}$ gọi là Gray (Gy).

Một đơn vị khác khá thông dụng là rad (roentgen absorbed dose).

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy (J/Kg)}.$$

Rõ ràng liều hấp thụ phụ thuộc vào tính chất của bức xạ và môi trường hấp thụ.

– Liều chiếu xạ D_c (hay X) là đại lượng vật lý cho biết *số điện tích cùng dấu của các ion được tạo ra trong một đơn vị khối lượng không khí khô dưới tác dụng của bức xạ (tia X hay γ).*

$$D_c (X) = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (25.10)$$

Thay $\Delta m = \rho \cdot \Delta V$ ta được:

$$D_c = \frac{\Delta Q}{\rho \cdot \Delta V} \quad (25.11)$$

Đơn vị đo: $[D_c] = \frac{\text{Culông}}{\text{kilôgam}} \text{ (C/Kg)}.$

Một đơn vị thông dụng khác là Ronghen (R). Ronghen là liều chiếu của tia X hay γ sinh ra trong 1 cm^3 không khí ở điều kiện tiêu chuẩn ($0,001293 \text{ g}$ không khí ở 0°C dưới áp suất 760 mmHg) một lượng điện tích âm và dương bằng một đơn vị điện tích ($\approx 2,09 \cdot 10^9$ cặp ion).

$$1 \text{ R} \approx 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ C/Kg}$$

Hay: $1 \text{ C/Kg} \approx 3876 \text{ R}$

Mối quan hệ giữa liều chiếu D_c (R) và liều hấp thụ D_n (rad) được thể hiện qua hệ thức:

$$D_n = f \cdot D_c \quad (25.12)$$

f phụ thuộc vào nguyên tử số, mật độ chất bị chiếu xạ. Với nước và mô tế bào cơ thể người có thể lấy $f \approx 1$. Đối với mô xương $f = 2 \div 5$.

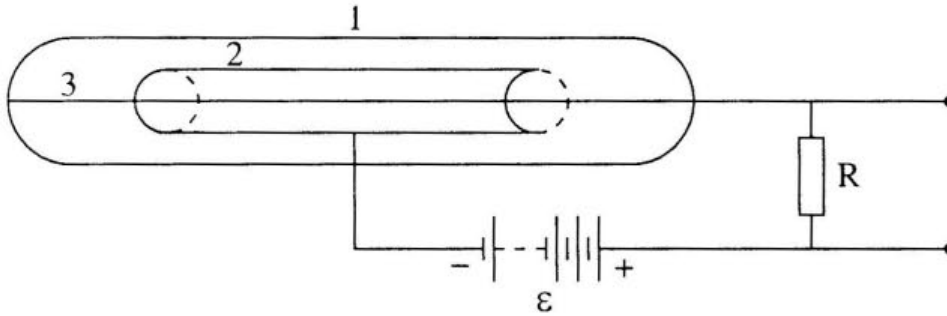
25.2. CÁC PHƯƠNG PHÁP GHI ĐO PHÓNG XẠ

25.2.1. Ống đếm ion hoá

a) Nguyên tắc

Dựa trên cơ sở ion hoá chất khí khi có các hạt vi mô tích điện bay qua.

b) Cấu tạo



Hình 25.3. Ống đếm Geiger – Mülle.

Trong bình thuỷ tinh (1) chứa khí ở áp suất thấp, đặt một ống kim loại hình trụ (2), dọc theo trục hình trụ đặt một sợi dây kim loại (3) hợp với ống (2) thành một tụ điện hình trụ. Mạch ngoài mắc một điện trở R có trị số lớn ($M\Omega$). Bộ nguồn ϵ nối với hai cực của tụ.

c) Hoạt động

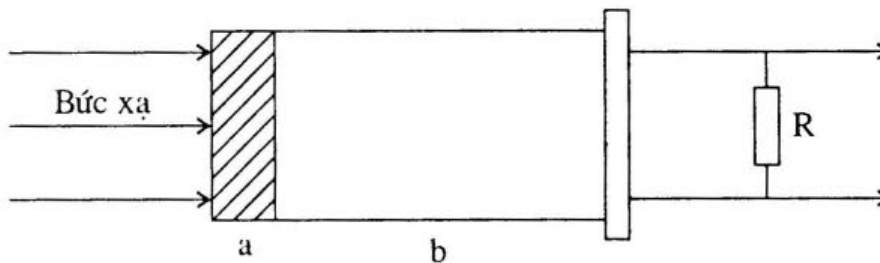
Nếu có hạt vi mô tích điện bay qua tụ, chất khí trong tụ sẽ bị ion hoá trở thành dẫn điện. Các ion chuyển động về các cực tạo thành dòng điện trong mạch (dòng điện xung) gây nên sụt thế trên điện trở R, tạo thành xung điện. Xung này được khuếch đại và được ghi nhờ một máy đếm xung điện. Do đó biết được số hạt đi qua ống đếm chính bằng số xung điện mà máy đếm ghi được.

25.2.2. Ống đếm nhấp nháy

a) Nguyên tắc

Dựa trên cơ sở phát quang do phóng xạ.

b) Cấu tạo



Hình 25.4

a) Tấm phát quang (phospho đơn tinh thể); b) Ống nhân quang điện.

c) Hoạt động

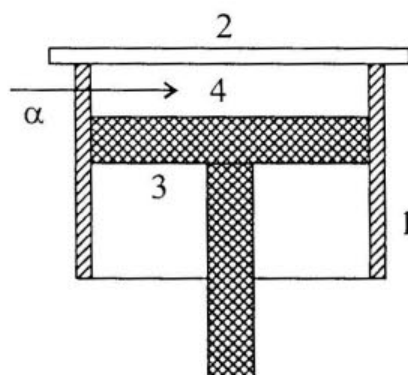
Khi có tia phóng xạ (α) đập vào tấm a sẽ làm nó phát quang (photon). Ánh sáng này được ống nhân quang biến thành một xung điện mạnh. Xung này được ghi bằng một máy đếm xung như ở trên.

25.2.3. Buồng Wilson

a) Nguyên tắc

Do có khả năng ion hoá, các tia phóng xạ sẽ ion hoá chất khí trên đường đi của nó. Nếu chất khí có chứa hơi nước hoặc hơi rượu bão hoà thì các ion mới được tạo thành trở thành các tâm ngưng tụ. Hơi nước hoặc rượu sẽ đọng quanh các tâm ngưng tụ thành những giọt sương trên dọc quỹ đạo của tia phóng xạ. Do đó ta sẽ nhìn rõ quỹ đạo là những vệt sương trắng.

b) Cấu tạo



Hình 25.5.

1. Xylanh hình trụ; 2. Nắp thuỷ tinh trong suốt; 3. Pittông; 4. Cửa sổ là lối vào của tia phóng xạ (α).

c) Hoạt động

Tăng đột ngột thể tích buồng chứa khí bằng cách hạ thật nhanh pittông xuống dưới thì nhiệt độ trong buồng khí sẽ bị lạnh đột ngột và không khí trong buồng sẽ trở nên quá bão hoà. Lúc đó nếu có tia phóng xạ (α) đi vào buồng thì quỹ đạo của nó sẽ hiện lên là một vệt sương trắng. Đặt buồng vào trong điện trường mạnh để làm lệch quỹ đạo của hạt.

Căn cứ vào hình dạng, kích thước quỹ đạo, người ta xác định được bản chất, kích thước, khối lượng, điện tích, năng lượng của hạt vi mô.

25.2.4. Phương pháp nhũ tương kính ảnh

Cơ sở của phương pháp này là các hạt vi mô tích điện khi đi vào lớp nhũ tương ảnh sẽ để lại vết đường đi trên lớp nhũ tương. Sau khi làm hiện ảnh ta sẽ

được các vết đen là quỹ đạo của hạt vi mô trên nhũ tương. Căn cứ vào hình dạng, kích thước của vết đen người ta xác định được các thông số: khối lượng, năng lượng, diện tích của hạt.

25.2.5. Phương pháp buồng bọt

Nguyên lý của phương pháp như sau: Trong buồng chứa chất lỏng ở nhiệt độ gần nhiệt độ sôi. Hạt điện tích chuyển động nhanh, qua cửa sổ lọt vào buồng chứa chất lỏng. Trên đường đi hạt ion hoá và kích thích các nguyên tử chất lỏng, tại thời điểm đó người ta giảm mạnh áp suất của buồng. Các ion xuất hiện trên dọc đường đi của hạt sẽ trở thành các trung tâm tạo bọt. Chuỗi các bọt xuất hiện dọc đường đi của hạt tích điện chuyển động nhanh qua chất lỏng tạo thành vết của hạt.

Chất lỏng thông thường dùng trong buồng bọt là hydro lỏng, propan, xenon lỏng...

25.3. TƯƠNG TÁC CỦA TIA PHÓNG XẠ VỚI VẬT CHẤT

Tia phóng xạ có thể phân thành hai loại: những hạt mang điện có khối lượng nghỉ khác không (α , β^- , β^+ , p) và những hạt không mang điện có khối lượng nghỉ bằng không (γ) hay gọi là bức xạ điện từ. Hai loại bức xạ này tương tác với vật chất theo những phương thức khác nhau.

25.3.1. Tương tác của hạt mang điện với vật chất

Khi đi vào môi trường vật chất, các hạt mang điện có thể gây nên những tác dụng sau:

25.3.1.1. Tác dụng ion hoá

Là tác dụng phổ biến và chủ yếu của các hạt mang điện lên môi trường vật chất. Đó là do một phần năng lượng của các hạt mang điện được truyền cho các điện tử của nguyên tử môi trường. Các điện tử này hấp thụ năng lượng trở thành các điện tử tự do, các nguyên tử đã mất điện tử trở thành các ion dương. Như vậy, các nguyên tử môi trường đã bị ion hoá.

25.3.1.2. Tác dụng tán xạ

Bao gồm tán xạ đàn hồi và không đàn hồi. Khi hạt mang điện đi gần hạt nhân nguyên tử sẽ có tương tác Coulomb giữa hạt và nhân, kết quả là hạt mang điện đổi hướng chuyển động, ta nói rằng: hạt mang điện bị tán xạ. Tán xạ đàn hồi khi năng lượng của hạt mang điện trước và sau tán xạ bằng nhau. Trong trường hợp ngược lại, tán xạ là không đàn hồi, khi đó một phần năng lượng của hạt được truyền cho hạt nhân khiến nó chuyển sang trạng thái kích thích.

25.3.1.3. Tác dụng kích thích

Do thu được một phần năng lượng của hạt mang điện, các điện tử có thể nhảy lên mức năng lượng cao hơn, khi trở về trạng thái cơ bản sẽ phát ra bức xạ điện từ.

Do những tác dụng kể trên, hạt mang điện bị vật chất hấp thụ: nó mất dần năng lượng, vận tốc giảm dần và cuối cùng dừng hẳn trong môi trường (quay trở về trạng thái chuyển động nhiệt).

Các hạt α có năng lượng ban đầu xác định và lớn hơn nhiều so với hạt β , chúng đi được những quãng đường như nhau. Quãng chạy của hạt α không lớn. Ví dụ hạt α có năng lượng 4MeV trong không khí có quãng chạy 2,5cm. Trong nước hay mô tế bào động vật có mật độ lớn gấp 770 lần không khí thì quãng chạy của hạt α cũng giảm đi từng ấy lần tương ứng.

Trái lại, phổ năng lượng của tia β có thể nhận một năng lượng bất kỳ (từ $E_{\min} \approx 0$ đến E_{\max}). Do vậy quãng chạy của tia β cũng khác nhau trong môi trường vật chất. Nếu gọi cường độ của chùm β lúc chưa đi qua môi trường là I_0 , sau khi đi qua lớp vật chất có chiều dày d là I , ta có:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (25.13)$$

μ là hệ số hấp thụ của môi trường vật chất, nó phụ thuộc vào bản chất môi trường và năng lượng bức xạ.

Do khả năng đâm xuyên không lớn, bức xạ α và β không gây nguy hiểm khi chiếu xạ bên ngoài. Đồ mặc dày có thể hấp thụ phần lớn các hạt β và hầu như không cho các hạt α đi qua.

25.3.2. Tương tác của các hạt không mang điện với vật chất

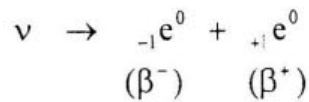
Các hạt γ và nơtron không mang điện nên nó tự do xuyên qua hầu như tất cả các nguyên tử gặp trên đường đi. Song đối với chúng các chất cũng không phải là trong suốt hoàn toàn. Quãng chạy của hạt γ trong không khí là hàng trăm mét, trong chất rắn là hàng chục cm, thậm chí hàng mét. Tia γ và dòng hạt nơtron là những bức xạ có khả năng đâm xuyên lớn. Do đó khi chiếu xạ bên ngoài chúng gây nguy hiểm cho con người hơn cả.

a) Tia γ khác với α và β , tia γ không trực tiếp ion hoá các nguyên, phân tử môi trường. Tác dụng của tia γ với vật chất gồm ba hiệu ứng: hiệu ứng quang điện, hiệu ứng Compton, hiệu ứng tạo cặp.

Khi một photon của bức xạ γ va chạm với nguyên tử vật chất nó có thể truyền toàn bộ năng lượng cho điện tử làm cho điện tử thoát ra ngoài nguyên tử. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng quang điện và điện tử thoát ra gọi là quang điện tử. Hiệu ứng quang điện xảy ra ở điều kiện $E_\gamma \leq 0,5 \text{ MeV}$.

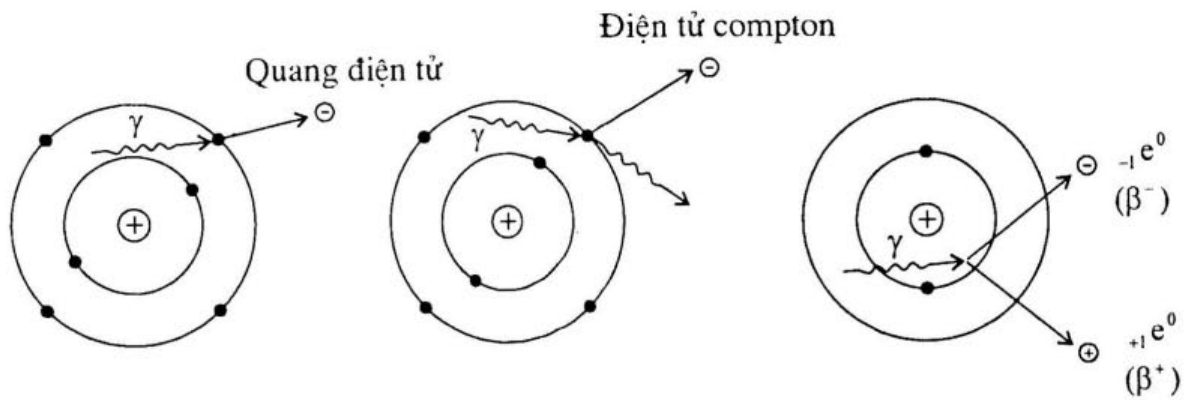
Photon cũng có thể gây tán xạ không đàn hồi, đổi hướng đi của nó và truyền một phần năng lượng làm điện tử thoát ra khỏi nguyên tử. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng Compton hay tán xạ Compton, xảy ra trong một dải năng lượng của tia γ .

Nếu thoả mãn điều kiện $E_\gamma > 2.m_e.C^2 = 1,022 \text{ MeV}$ (m_e – khối lượng nghỉ của điện tử) thì từ photon có thể sinh ra một cặp electron và positon, do kết quả tương tác của tia γ với trường hạt nhân.



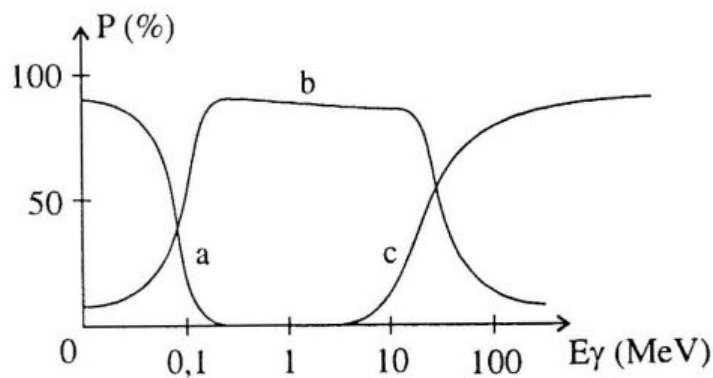
Đó chính là hiệu ứng tạo cặp.

Các hạt được tạo ra, cũng như các quang điện tử, điện tử compton đều là những hạt mang điện và có thể gây ra quá trình ion hoá tiếp theo như đã xét ở trên.



Hình 25.6

Xác suất xảy ra từng hiệu ứng cụ thể phụ thuộc vào năng lượng photon và được chỉ ra trên hình vẽ sau.



Hình 25.7

a) Hiệu ứng quang điện; b) Hiệu ứng Compton; c) Hiệu ứng tạo cặp.

Sự làm yếu chùm γ cũng như tia α được mô tả bằng công thức:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d} \quad (25.14)$$

Nếu $[d] = \text{cm}$ ta có $[\mu] = \text{cm}^{-1}$, μ gọi là hệ số hấp thụ tuyến tính. Cũng có khi dùng $\mu_m = \mu/\rho$ gọi là hệ số hấp thụ khối (ρ là khối lượng riêng của vật chất).

b) *Notron*: do không mang điện, khi chuyển động trong vật chất không tương tác với lớp vỏ điện tử của nguyên tử, không thể kích thích cũng như ion hoá nguyên tử. Khi va chạm với hạt nhân nguyên tử chúng bị tán xạ mà kết quả là làm giảm năng lượng và thay đổi phương của nơtron hoặc bị hấp thụ và tạo thành một hạt nhân phức hợp:



Trong trường hợp khi nơtron có năng lượng đến vài MeV, hạt nhân phức hợp mất kích thích, phát ra tia γ .

25.4. CÁC HIỆU ỨNG SINH HỌC CỦA PHÓNG XẠ

25.4.1. Tác dụng sinh học của phóng xạ

Tác động vật lý của các bức xạ ion lên các tế bào của cơ thể động vật đều dẫn đến sự kích thích và ion hoá các nguyên tử và phân tử môi trường. Các nguyên tử bị kích thích và các ion có tính hoạt hoá rất cao, do đó trong các tế bào của cơ thể xuất hiện các liên kết hoá học mới xa lạ đối với cơ thể khoẻ mạnh. Như vậy dưới tác dụng của bức xạ ion các phân tử cấu trúc tế bào bị phá huỷ. *Mọi lượng phóng xạ đều gây ra một sự huỷ hoại nhất định đối với cơ thể sống và mức độ huỷ hoại tỷ lệ với liều lượng chiếu xạ.*

Ảnh hưởng của bức xạ trên cơ thể sống có thể chia làm 3 loại: cấp tính, kinh niên và di truyền. Ảnh hưởng cấp tính là những ảnh hưởng xảy ra ngay sau khi chiếu xạ một liều lớn. Ảnh hưởng kinh niên là ảnh hưởng xảy ra sau một thời gian dài sau khi chiếu xạ một liều lượng thấp và gây ra những hậu quả: giảm tuổi thọ, gây ung loét, gây ung thư... Ảnh hưởng di truyền là ảnh hưởng đối với quá trình sinh sản và xuất hiện đột biến trong các thế hệ tiếp theo.

Ngày nay những nghiên cứu y học phóng xạ đã nhận thấy rằng. Giới hạn liều chiếu xạ cho phép đối với cơ thể người không gây hại là 0,025Gy trong 1 năm. Với liều chiếu > 0,25Gy làm xuất hiện các dấu hiệu các bệnh do phóng xạ. Với liều 2Gy gây bệnh phóng xạ. Liều 7 ÷ 8Gy gây tử vong. Mặc dù liều chiếu xạ nhỏ không gây ra sự biến đổi trong cơ thể người, nhưng tác dụng của chúng không phải là hoàn toàn vô hại. Do đó, nguyên tắc chung phải làm sao cho con người bị chiếu xạ càng ít càng tốt.

25.4.2. Ứng dụng đồng vị phóng xạ trong y sinh học

Ứng dụng đồng vị phóng xạ trong y sinh học có hai phương hướng chủ yếu: đánh dấu phóng xạ (chỉ thị phóng xạ) và dùng làm nguồn chiếu xạ.

25.4.2.1. Phương pháp đánh dấu phóng xạ (chỉ thị bằng phóng xạ)

Phương pháp này dựa vào các cơ sở chủ yếu sau:

– Cơ thể sinh vật (hoặc mô, cơ quan...) không phân biệt được đồng vị phóng xạ và đồng vị thường nên ta có thể thay thế phân tử thường bằng phân tử đó nhưng một nguyên tử thành phần của phân tử đã được đổi bằng nguyên tử đồng vị phóng xạ. Ví dụ: cơ thể tiếp nhận NaCl (mà Na có tính phóng xạ) giống NaCl thường; Tuyến giáp tiếp đón I có tính phóng xạ giống như I thường.

– Các đồng vị phóng xạ đưa vào cơ thể chuyển động đến đâu hoặc tập trung ở đâu thì vẫn phân huỷ phóng xạ giống như khi ở ngoài cơ thể và phát ra tia phóng xạ (α , β , γ) báo cho ta biết vị trí, mật độ... của chúng.

– Hoàn toàn có thể dùng các máy đo (phát hiện) bức xạ ion hoá (tia phóng xạ) với các kích thước thích hợp để phát hiện, định lượng các đồng vị phóng xạ.

– Khi đưa chất đồng vị phóng xạ vào cơ thể người có thể lựa chọn hợp chất thích hợp cho mục đích nghiên cứu, chẩn đoán mà liều lượng đủ nhỏ để không gây thêm nguy hiểm cho người bệnh.

a) Phương pháp đánh dấu có thể dùng để nghiên cứu sự chuyển hoá và biến đổi của

– Một nguyên tố: ví dụ theo dõi chuyển hoá của nguyên tố Na⁺ bằng đồng vị phóng xạ ²²Na, ²⁴Na... theo dõi chuyển hoá của nguyên tố iod bằng đồng vị phóng xạ ¹³¹I, ¹³²I...

– Một hợp chất hữu cơ: trong trường hợp này một nguyên tử trong cấu trúc của phân tử chất hữu cơ đó đã được thay thế bằng một đồng vị phóng xạ của nguyên tố đó, thông thường đó là ¹⁴C, ³H, ¹³¹I... Có nhiều cách để thay thế đồng vị bên trong cấu trúc phân tử bằng đồng vị phóng xạ. Việc đánh dấu được chất để theo dõi cơ chế, tác dụng, liều lượng cần thiết là rất phổ biến.

– Gần đây còn đánh dấu được các kháng thể bằng các đồng vị phóng xạ để dùng cho việc ghi hình phóng xạ và điều trị ung thư. Do tính đặc hiệu cao của các kháng thể tương ứng với các kháng nguyên mà các kháng thể đặc hiệu có thể tập trung nhiều về các ổ bệnh, nơi sẵn có các kháng nguyên tương ứng đó. Ưu điểm đó làm cho việc ghi hình phóng xạ và điều trị bằng các kháng thể đánh dấu có nhiều thuận lợi.

– Một loại tế bào hay một loài vi sinh vật. Thông thường các tế bào hoặc vi sinh vật đó được nuôi trong môi trường chất dinh dưỡng có các đồng vị phóng xạ. Vì vậy trong cấu trúc của tế bào và vi sinh vật có các đồng vị phóng xạ được gắn vào. Dựa vào các kỹ thuật ghi đo, ta xác định được sự hiện diện, sự biến đổi về số

lượng của các đối tượng nghiên cứu. Từ đó, suy ra các quy luật diễn biến và sự thay đổi của nó.

– Một loài côn trùng (muỗi) sinh vật truyền bệnh (chuột) hoặc một loài cây nào đó. Dựa vào phương pháp đánh dấu người ta nghiên cứu được quy luật sinh trưởng, di chuyển, sinh sản của một số loài côn trùng, sinh vật truyền bệnh và quy luật tăng trưởng của một số loài thực vật đặc biệt.

b) Phương pháp đánh dấu phóng xạ đã tạo ra một chuyên ngành mới của y học

Chuyên ngành y học hạt nhân. Y học hạt nhân bao gồm việc sử dụng các đồng vị phóng xạ ngắn ngày chủ yếu dưới dạng các nguồn hử để chẩn đoán bệnh và nghiên cứu y học đồng thời để điều trị một số bệnh nhất định. Việc chẩn đoán và nghiên cứu y học hiện nay chủ yếu dựa vào kỹ thuật ghi hình phóng xạ và thăm dò chức năng. Có khá nhiều kỹ thuật ghi hình phóng xạ mà hiện nay người ta tập trung vào kỹ thuật chụp cắt lớp (SPECT: Single Photon Emission Computerized Tomography) và chụp cắt lớp bằng các tia positron (PET: Positron Emission Tomography). Phương pháp đánh dấu cũng tạo ra kỹ thuật định lượng theo nguyên lý miễn dịch có độ nhạy rất lớn trong y học hạt nhân. Đó là các kỹ thuật miễn dịch phóng xạ cạnh tranh (RIA: Radio Immuno Assay) và miễn dịch phóng xạ không cạnh tranh có giá trị siêu nhạy (IRMA: Immuno Radio Metric Assay). Các vấn đề này được đề cập kỹ hơn ở chương trình y học hạt nhân.

Như vậy với phương pháp đánh dấu trong y học người ta có thể định lượng một số chất vô cơ và hữu cơ, nghiên cứu chuyển hoá một số chất và động học một số thuốc, xác định được kích thước, vị trí và hình dạng một số mô và phủ tạng, hoạt động chức năng và sự biến đổi của một số hệ thống trong cơ thể như hệ tuần hoàn, hô hấp, bài tiết, hấp thụ...

Trong nông nghiệp, bằng phương pháp đánh dấu người ta nghiên cứu được chuyển hoá và quy luật sinh trưởng, các quy luật tác dụng của một số phân bón, chất diệt côn trùng, chất diệt cỏ, bảo vệ thực vật.

25.4.2.2. Phương pháp dùng đồng vị phóng xạ làm nguồn chiếu tia

Trên cơ sở những hiểu biết về tác dụng sinh học của bức xạ ion hoá người ta còn dùng tia phóng xạ làm nguồn chiếu để tiêu diệt các tác nhân gây hại hoặc để tạo nên các đột biến gen có lợi trong một số loài thực vật.

Ngoài những ứng dụng vào y sinh học, người ta còn vận dụng các nguồn chiếu xạ trong công nghiệp, thuỷ văn, địa chất và nhiều ngành khoa học khác để đạt những mục đích thiết thực. Về việc ứng dụng nguồn chiếu xạ vào y sinh học chúng ta cần chú ý đến hai điểm lớn sau đây:

a) Nguồn chiếu xạ

Các nhà sinh học thường dùng các thiết bị chiếu tia X hoặc tia gamma chuyên dụng có kích thước lớn đặt cố định để chiếu các đối tượng có khối lượng

lớn như lương thực, thực phẩm, dụng cụ y tế ... Cũng có những thiết bị thực nghiệm nhỏ để chiếu các đối tượng có thể tích nhỏ được đặt ngay bên trong thiết bị chiếu. Trong một số trường hợp hãn hữu nguồn chiếu xạ có thể là nguồn phát neutron, alpha hoặc beta.

- Nguồn chiếu cổ điển là máy phát tia X. Điều đáng chú ý là khả năng đâm xuyên của tia X (năng lượng của tia) do giá trị điện thế giữa hai cực của bóng và các kỹ thuật lọc tia quyết định. Các máy phát tia X cổ điển dùng trong y học thường hoạt động dưới điện thế 150 – 300kV. Về sau các máy có năng lượng cao hơn (điện thế từ 200 đến 580kV) được sản xuất. Hiện nay có các máy phát tia X hoạt động ở điện thế gần 1MV. Các máy gia tốc hạt betatron có thể tạo ra những tia X có năng lượng cao hơn nữa.

- Một nguồn xạ gamma cổ điển được dùng từ lâu (1917) trong điều trị ung thư là radium. Radium có thời gian phân rã là 1580 năm. Do hiếm và giá thành đắt nên các nguồn Ra thường chỉ có khối lượng khoảng 2 ÷ 4g. Nguồn chiếu bằng radium thường được bỏ trong một vỏ chì dày 6 ÷ 15cm và có khe cho tia gamma thoát ra. Người ta sử dụng nó tương tự như dùng một bóng phát tia X. Radium còn được chế tạo thành dạng kim, ống nhỏ bọc bằng platin cắm vào các tổ chức ung thư ở bàng quang, tử cung để điều trị. Phương pháp này cho phép chiếu tia gamma liên tục vào tổ chức ung thư. Sau một liều lượng nhất định các kim đó được lấy ra.

- Từ mấy chục năm nay, khi có các lò phản ứng nguyên tử, người ta đã sản xuất ra các đồng vị phóng xạ nhân tạo để thay thế cho nguồn phát tia X và nguồn radium. Đó là nguồn cobalt (^{60}Co). Bức xạ gamma phát ra từ ^{60}Co có năng lượng là 1,17 và 1,33MeV. Thông thường nguồn đó được chế tạo thành các máy chuyên dụng. Bằng cách này chúng ta có thể có được những nguồn lớn tương đương với 400g radium và hoạt độ lên đến hàng ngàn Ci.

Trong y học người ta còn dùng các nguồn cobalt dưới dạng ống, kim, sợi, hạt để đặt vào các tổ chức bệnh như các kim radium.

Tuy nhiên do thời gian bán rã ngắn (5,3 năm) nên cứ 4 tháng một lần phải hiệu chỉnh số liệu tính liều lượng vì công suất nguồn chiếu bị suy giảm. Do vậy đã phải tìm cách thay thế nguồn ^{60}Co bằng nguồn cesi – 137 (^{137}Cs).

Năng lượng của bức xạ gamma phát ra từ Cs – 137 là 0,661MeV (yếu hơn của ^{60}Co). Thời gian phân rã khoảng 27 năm nên hai năm một lần mới phải hiệu chỉnh bảng tính liều lượng. Có thể sản xuất các nguồn chiếu ^{137}Cs có đến hàng ngàn Ci. Tuy vậy do khó đạt được nguồn ^{137}Cs có hoạt tính riêng cao nên kích thước các nguồn khá lớn, gây một số trở ngại.

- Đã từ lâu các máy gia tốc cũng đã được sử dụng ngay cả trong y học. Do các hạt vi mô trong máy được gia tăng động năng rất nhiều nên có thể gây nên

những hiệu ứng sinh học rất lớn. Trong y học thường dùng các máy gia tốc tĩnh điện Van de Graff và betatron. Có thể dùng chùm điện tử phát từ betatron để tạo các bức xạ hãm có năng lượng cao. Ngày nay có khả năng dùng chùm hạt alpha, proton, đơteri, nơtron vào điều trị bệnh còn tiếp tục được nghiên cứu.

– Các đồng vị phóng xạ phát ra tia gamma hoặc tia beta cứng có thể dễ áp sát vào tổ chức bệnh bằng cái áp (applicateur) hoặc cho vào tận các mô bệnh để điều trị. Đó là kỹ thuật mới để điều trị bệnh bằng các nguồn phóng xạ hử. Ngày nay đã điều trị rộng rãi bệnh cường giáp bằng ^{131}I và bệnh đa hồng cầu bằng ^{32}P . Một số bệnh ung thư máu và di căn ung thư khác vào khoang bụng, khoang ngực cũng được điều trị có kết quả bằng ^{198}Au và ^{32}P ở dạng keo.

b) Mục đích chiếu xạ

Việc áp dụng các nguồn chiếu xạ trong các ngành có thể để đạt một trong các mục đích lớn sau đây:

– 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 ở vùng nhiệt đới. Nhìn chung sự hao hụt do bảo quản thường là 5% và có khi lên đến 60%. Không phải lúc nào ta cũng xử lý được bằng nhiệt với 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 $5.000 \div 15.000\text{R}$ 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 phải 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 xảy 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 $7.000 \div 10.000\text{R}$ có thể bảo quản khoai tây lâu ngày không nảy mầm và cũng không gây hại cho sức khỏe người sử dụng. Khoai tây nảy 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 nhiều lợi ích vì với liều khoảng 8000R có thể làm 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...) và nhiệt năng (luộc, hấp, sấy, đốt...).

Các cách xử lý đó không phải lúc nào cũng áp dụng được và có thể làm hư hỏng một phần hoặc 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, cấy 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...

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 các 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, beta cứng áp sát mô bệnh (brachytherapy) hoặc đưa các nguồn phóng xạ hỏ 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 bằng ^{60}Co và ^{137}Cs 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 tùy thuộc vào bức xạ, suất liều, liều lượng... Người ta đã tiến hành hàng loạt thí nghiệm, chọn lấy những 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 việc rất công phu, kéo dài hàng chục năm. Bảng 25.1 cho ta một vài ví dụ đã thu được.

Bảng 25.1. Những đột biến thu được bằng chiếu xạ ở một số cây trồng

Cây trồng	Chủng đột biến	Địa điểm và thời gian tạo đột biến	Ưu điểm mới xuất hiện
Cải đầu hè	Regina	Thụy 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

25.5. AN TOÀN PHÒNG XẠ

Chúng ta đã thấy rõ tác dụng to lớn của bức xạ ion hoá lên các tổ chức sinh học. Vì vậy để ngăn ngừa hoặc hạn chế được tác hại của các tia phóng xạ lên cơ thể con người và tránh làm ô nhiễm môi trường sống, chúng ta phải thực hiện những công việc để đảm bảo an toàn khi sử dụng và tiếp xúc với các nguồn phóng xạ.

25.5.1. Những nguồn chiếu xạ ảnh hưởng đến con người

Cơ thể con người có thể bị chiếu xạ từ bên ngoài. Đó là các tia có khả năng đâm xuyên lớn như tia X, tia gamma, chùm hạt nơtron, chùm tia beta cứng... Các đồng vị phóng xạ cũng có thể bằng nhiều cách khác nhau lọt vào bên trong cơ thể tạo ra nguồn chiếu xạ ngay từ bên trong cơ thể. Các nguồn xạ đó xuất phát từ các nguồn phóng xạ tự nhiên và nguồn xạ nhân tạo (bảng 25.2).

Bảng 25.2. Liều chiếu trung bình khi dùng X quang chụp trong y tế

Cơ quan, phủ tạng chụp	Điện thế bóng X quang (kV)	Liều chiếu (bằng R)
Bàn và ngón tay	40 ÷ 50	0,06
Cánh tay	55 ÷ 65	0,7 ÷ 1
Sọ não nghiêng	60 ÷ 65	0,8 ÷ 1,2
Sọ não thẳng	65 ÷ 75	1,2 ÷ 1,6
Cột sống nghiêng	70 ÷ 85	1,8 ÷ 3,5
Cột sống thẳng	65 ÷ 75	1,6 ÷ 2,5
Khung chậu	70 ÷ 75	2 ÷ 2,5
Phổi	60 ÷ 75	0,04 ÷ 0,2
Dạ dày	75 ÷ 90	1,5 ÷ 3
Thận	65 ÷ 85	1,4 ÷ 2,5
Răng	50 ÷ 60	3 ÷ 5
Tim	85 ÷ 90	2 ÷ 4
Chụp thai		3 ÷ 8

Nguồn phóng xạ tự nhiên bao gồm các tia vũ trụ, các bức xạ ion hoá phát ra từ các đồng vị phóng xạ đã có sẵn trong tự nhiên như ^{40}K , ^3H , ^{14}C và từ các đồng vị của ba dòng họ phóng xạ tự nhiên là dòng uran – radi, dòng thori và dòng actini. Người ta đã tính toán được rằng từ các nguồn phóng xạ tự nhiên liều chiếu trên tuỷ xương con người khoảng 122 mr/năm và liều chiếu trên cơ quan sinh dục là 125 mr/năm.

Nguồn phát xạ nhân tạo là các bức xạ ion hoá phát ra từ các nguồn phát tia X dùng trong y tế và công nghiệp, từ sự ô nhiễm môi trường do con người sử dụng các nguồn phóng xạ hổ như ^{131}I , ^{32}P ... hoặc từ các cận bã của các vụ nổ hạt nhân thí nghiệm như ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{89}Sr ... Liều lượng gây ra do nguồn phóng xạ nhân tạo rất khác nhau, tùy thuộc từng nơi, từng người với các ngành nghề và công việc khác nhau.

25.5.2. Liều tối đa cho phép

Mới đầu, khi sử dụng các tia phóng xạ người ta chưa có đủ hiểu biết để giữ gìn an toàn phóng xạ. Do đó đã xảy ra các tai biến chết người, các bệnh nghề nghiệp do bức xạ... Tuy nhiên không thể tạo được một môi trường tuyệt đối không có bức xạ ion hoá chiếu vào cơ thể con người trong thực tế. Và lại người ta đã hiểu được rằng con người từ khi phát sinh và tồn tại đến nay luôn luôn vẫn phải chịu tác dụng của một liều chiếu phóng xạ nhất định ở mọi lúc, mọi nơi. Tuy vậy loài người vẫn tồn tại và phát triển cả thể lực và trí tuệ, cả số lượng và hình thái. Vì vậy người ta tin chắc rằng tồn tại một liều ngưỡng mà ở đó không phát hiện thấy tác hại của nó. Đó là liều tối đa cho phép tức là liều tối đa có thể chấp nhận được. Việc xác nhận giá trị của liều ngưỡng đó xảy ra rất dài bởi vì trước năm 1928, người ta chưa có khái niệm rõ rệt về tác hại của bức xạ. Năm 1950 uỷ ban quốc tế về an toàn phóng xạ ICRP (International Committee of Radiation Protection) xác định liều tối đa cho phép là 0,2 r/ngày rồi về sau giảm xuống 0,1r/ngày.

Nhờ các nghiên cứu thực nghiệm nên từ năm 1954 xác định lại liều đó là 0,3 r/tuần. Năm 1956 trên cơ sở những lo lắng về tác dụng di truyền, người ta quy định mức thấp hơn là 0,1 rem/tuần tức là 5 rem/năm. Ngày nay, người ta không quan niệm cứng nhắc như vậy nữa mà xuất phát từ nguyên tắc là cố gắng giảm liều chiếu đó xuống càng thấp càng tốt trong đó thừa nhận rằng một lần chiếu đến 25 rem là không có tác hại gì đáng lo ngại.

25.5.3. Các biện pháp chủ yếu để đảm bảo an toàn phóng xạ

Tác dụng sinh học của bức xạ ion hoá trước hết phụ thuộc vào bản chất và năng lượng tia, liều lượng, suất liều và nhiều yếu tố khác. Các nguồn phóng xạ

hở lại có thể gây nên sự nhiễm xạ vào bên trong cơ thể và ô nhiễm môi trường. Vì vậy để đảm bảo an toàn phóng xạ cần có các biện pháp về kỹ thuật và tổ chức làm việc.

Muốn giảm được liều trong điều kiện và trường hợp cụ thể có thể thực hiện đồng thời nhiều hoặc một trong những biện pháp sau đây:

25.5.3.1. Điều chỉnh hoạt độ nguồn phóng xạ

Một nguồn phóng xạ có tốc độ phân rã lớn sẽ tạo nên liều chiếu lớn. Vì vậy cần phải sử dụng những nguồn tối thiểu cần cho nhu cầu công việc. Nguồn tối thiểu ở đây là nguồn có tốc độ phân rã phóng xạ đủ để đạt được mục đích công việc mà không quá lớn. Trong y học người ta dùng những nguồn có tốc độ phân rã hàng nghìn Ci của Cs^{137} , Co^{60} để điều trị ung thư hoặc chỉ vài μCi trong các nghiên cứu tế bào và phân tử. Cường độ và năng lượng tia của nguồn quang tuyến X và các máy gia tốc được điều chỉnh qua cường độ điện từ trường và mật độ hạt được gia tốc.

25.5.3.2. Điều chỉnh trường chiếu, tăng khoảng cách và giảm thời gian tiếp xúc

Với một chùm tia nhất định liều lượng hấp thụ còn tùy thuộc vào trường chiếu. Nếu chiếu 500r lên toàn cơ thể có thể xảy ra tử vong. Nhưng với cách phân thành liều nhỏ và chiếu khu trú liều điều trị có thể đạt đến hàng ngàn r mà tổ chức lành xung quanh chưa bị tổn thương nặng. Vì vậy khi làm việc phải hạn chế bề mặt tiếp xúc của cơ thể với chùm tia. Trong thực tế các máy móc y học bao giờ cũng kèm theo ống định hướng để có thể khu trú vùng chiếu và hướng chùm tia theo đúng vị trí và trường chiếu mong muốn. Ống định hướng còn một số tác dụng khác nữa như làm giảm bóng mờ, ngăn bớt các tia thứ cấp...

Liều chiếu từ một nguồn tia rõ ràng là tỷ lệ với thời gian tiếp xúc, vì vậy một trong những biện pháp đơn giản và hiệu quả là chuẩn bị chu đáo, sử dụng thành thạo và thao tác chính xác để giảm được thời gian tiếp xúc đến tối thiểu. Điều cần lưu ý ở đây là hạn chế những sự tiếp xúc không cần thiết với nguồn tia mà vẫn hoàn thành tốt công việc.

Ở trên ta đã thấy quãng chạy của một số hạt vi mô tích điện rất ngắn. Quãng chạy của tia α trong không khí không vượt quá 10 cm. Tia β có năng lượng lớn nhất trong các nguồn phóng xạ nhân tạo thường dùng (P^{32}) cũng bị ngăn lại hầu hết bởi một lá nhôm dày 3mm. Như vậy khi sử dụng nguồn α chỉ cần đứng cách xa hơn 10cm là đủ để đề phòng được các tia α lọt vào cơ thể. Khoảng cách cần thiết với nguồn phát β cũng có thể thực hiện được trong thực tế. Nguồn tia X và tia γ có khả năng đâm xuyên lớn hơn nhiều nhưng mật độ bức xạ tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách. Vì vậy tăng khoảng cách với

nguồn phóng xạ lúc phải tiếp xúc cũng là một biện pháp đơn giản để giảm liều chiếu. Trong công tác với các nguồn phóng xạ người ta tạo ra các dụng cụ để tăng thêm khoảng cách đó. Ở những nguồn phóng xạ lớn như lò phản ứng... con người cũng đã có hệ thống máy móc tự động để theo dõi, điều khiển từ xa đảm bảo an toàn tuyệt đối cho người sử dụng. Có thể tính toán được các khoảng cách an toàn khi tiếp xúc với các nguồn phóng xạ. Với nguồn chỉ phát tia γ khoảng cách được tính toán theo công thức:

$$\ell = \sqrt{q \cdot I_{\gamma} \cdot \frac{t}{D_{\max}}}$$

ℓ tính bằng mét, q là tốc độ phân rã (Ci), I_{γ} là hệ số ion hoá của tia γ ($\text{rm}^2/\text{Ci}\cdot\text{h}$), t là thời gian tiếp xúc (h); D_{\max} là liều cho phép (r).

Với nguồn phát beta, được tính theo công thức đơn giản nhất là:

$$\ell = \sqrt{\frac{4.6t \cdot q \cdot \bar{E} \cdot 10^{-6}}{D_{\max} \cdot R}}$$

ℓ tính bằng Cm, q tính bằng Bq. \bar{E} năng lượng trung bình của phổ beta (MeV). R là quãng chạy của tia beta có năng lượng \bar{E} trong không khí (g/cm^2). D_{\max} là liều cho phép (rad).

Nếu ℓ quá lớn, không thích hợp thì phải phối hợp các biện pháp khác, nhất là che chắn.

25.5.3.3. Biện pháp che chắn

Các tia phóng xạ khi đi qua các môi trường vật chất dù thế nào cũng tương tác với môi trường, truyền năng lượng cho môi trường và do vậy mật độ và năng lượng chùm tia giảm dần. Chúng ta đã nghiên cứu quy luật giảm cường độ của các chùm bức xạ ion hoá khi qua lớp vật chất. Vì vậy một trong những biện pháp hiệu nghiệm nhất là dùng các lá chắn để ngăn chặn và giảm liều lượng của chùm tia chiếu lên toàn thân hay những vùng quan trọng của cơ thể. Y học hay sử dụng hai loại tia là γ và β . Sau đây sẽ trình bày kỹ về che chắn hai loại tia đó.

a) Với tia X, tia γ

Mối tương quan giữa suất liều lượng trong và ngoài tấm chắn là:

$$P = B \cdot P_0 \cdot e^{-\mu x}$$

P là suất liều lượng ở mặt trong tấm chắn khi tia đã xuyên qua nó. P_0 là suất liều lượng ở mặt ngoài tấm chắn. B là hằng số phụ thuộc vào bản chất vật chắn và phần nào vào năng lượng tia. μ là hệ số hấp thụ tuyến tính và x là chiều dày lá chắn.

Tuỳ trường hợp cụ thể chúng ta có thể tính toán tỷ lệ giảm liều do che chắn theo hệ thức:

$$k = \frac{P_0}{P_{\max}}$$

P_0 là suất liều lượng ở ngay trước tấm chắn. P_{\max} là suất liều lượng tối đa muốn đạt được sau tấm chắn. Như vậy, bề dày tấm chắn (tính theo cm) phải thoả mãn:

$$\ell = \frac{\ln k}{\mu}$$

μ là mật độ vật chất.

Đối với tia X, tia gamma người ta thường dùng các vật sau đây làm tấm chắn:

– Bê tông: dùng trong xây dựng các cơ sở làm việc của các nguồn bức xạ mạnh (máy phát tia X, nguồn Co^{60} ; Cs^{137} , kho đồng vị phóng xạ...). Có thể pha thêm Baryt vào bê tông hoặc tạo thành một lớp Baryt ngoài bê tông để tăng cường tác dụng che chắn các tia.

– Kim loại: như sắt thép, nhất là chì thường dùng để tạo thành các bình chứa, các lọ phóng xạ để chuyên chở hoặc làm các viên gạch chì để che chắn lúc làm việc.

– Thuỷ tinh chì, các hợp chất có chì: thường dùng làm cửa sổ, các dụng cụ làm việc với phóng xạ như hốt, tủ kín...

b) Với tia beta âm

Để che chắn tia beta người ta thường dùng các vật chất có số Z nhỏ để hạn chế các bức xạ hãm sản sinh ra trong quá trình beta tương tác với vật chất. Thường dùng nhất là thuỷ tinh thường, thuỷ tinh hữu cơ và nhôm. Chiều dày lớp che chắn có thể tuân theo công thức:

$$x = \frac{R}{\rho}$$

x là chiều dày tấm chắn (cm), R là quãng chạy tối đa của tia beta trong vật làm tấm chắn (g/cm^2), ρ là mật độ vật chất của tấm chắn (g/cm^3).

25.5.3.4. Các hoá chất bảo vệ

Một trong những biện pháp có thể áp dụng để ngăn ngừa hoặc hạn chế tác hại của tia ion hoá là dùng các hoá chất. Biện pháp này thật ra chỉ dùng trong các trường hợp nhiễm xạ không phải là thường xuyên mà xảy ra đột ngột và dữ dội (chiến tranh, tai nạn kỹ thuật...).

Từ năm 1942, Deily đã thấy hợp chất thioure có tác dụng chống phóng xạ

nhờ nhóm chức SH. Năm 1949 Baron thấy một acid amin là cystein cũng có nhóm SH, có tác dụng bảo vệ đối với phóng xạ. Cysteamin và cystein với liều 0,15 mg/kg cân nặng có thể giảm tác dụng sinh học của bức xạ đến 50%. Tuy vậy cystein và cysteamin vừa không có tác dụng đối với hiệu ứng gây đột biến gen của tia và độc với cơ thể. Vì vậy Baeg (năm 1951) đã tìm ra một dẫn chất mới của cystein là MEA (Mercaptoethylalanin). Gần đây AET (Aminoethylotioure) được coi là chất chuẩn để nghiên cứu tác dụng bảo vệ trong phóng xạ sinh học.

Ngày nay người ta còn tìm được các chất tách chiết từ động vật và thực vật có tác dụng bảo vệ đối với phóng xạ. Tuy nhiên cho đến nay chưa có một chất nào đạt được các tiêu chuẩn lý tưởng như sau:

- Ít độc hại cho cơ thể.
- Có thể đưa vào cơ thể bằng mọi cách (uống, bôi, tiêm...) vẫn có tác dụng.
- Không cản trở tác dụng của các thuốc khác được dùng đồng thời.
- Có tác dụng bảo vệ cả về phương diện di truyền.
- Dễ sản xuất, không đắt để có thể dùng rộng rãi.

Các hoá chất bảo vệ có thể ngăn cản tác dụng của bức xạ ion hoá, giảm nhẹ hiệu quả gây hại của chúng hoặc khắc phục sửa chữa các tổn thương. Chúng có thể hoạt động theo các cơ chế sau đây:

- Các hoá chất có ái lực rất mạnh với các gốc tự do và các sản phẩm phân ly của nước sau chiếu xạ, kết hợp và trung hoà chúng. Vì vậy chúng bảo vệ cho các phân tử hữu cơ của cơ thể khỏi bị tấn công.

- Hoá chất bảo vệ làm giảm hàm lượng oxy có trong tế bào và mô và do đó giảm lượng các peroxyd được tạo ra do chiếu xạ.

- Các hoá chất bảo vệ gắn tạm thời với các phân tử hữu cơ tạo thành một phức chất có tính đối kháng cao đối với tác dụng của bức xạ ion hoá.

- Các hoá chất bảo vệ có thể làm mất hoạt tính của các độc tố và các sản phẩm tạo ra sau chiếu xạ.

Ngoài ra còn có những thuốc khác tuy không trực tiếp chống tác dụng của bức xạ nhưng làm tăng khả năng đề kháng của tế bào cơ thể do tác dụng vào các quá trình sinh lý như các hormon, kháng sinh, sinh tố...

25.5.3.5. Tổ chức làm việc và theo dõi kiểm tra

Một trong những biện pháp quan trọng để đảm bảo an toàn tuyệt đối với nhân viên cũng như với môi trường xung quanh là khâu tổ chức quản lý và theo dõi công việc với các nguồn phóng xạ. Hiện nay ở nhiều nước đã có quy

chế về tổ chức, xây dựng, theo dõi và kiểm tra cụ thể. Các biện pháp này nhằm mấy mục đích:

- Tăng cường các trang bị kỹ thuật và các biện pháp để có thể giảm nguồn xạ sử dụng, giảm liều hấp thụ, tăng khoảng cách giữa nguồn xạ và con người, giảm thời gian tiếp xúc, che chắn nguồn xạ...

- Áp dụng các biện pháp hữu hiệu để ngăn ngừa sự thâm nhập các nguồn phóng xạ hở dính vào quần áo, đồ dùng, cơ thể và lọt vào bên trong cơ thể.

- Áp dụng các biện pháp để đề phòng ô nhiễm môi trường bởi các nguồn xạ.

- Kiểm tra định kỳ về nguồn xạ, môi trường nơi làm việc. Đo liều hấp thụ cá nhân thường xuyên và định kỳ.

- Theo dõi và kiểm tra sức khỏe định kỳ.

- Tổ chức làm việc hợp lý để giảm liều, giảm số người và ngăn ngừa tai nạn có thể gặp và phát hiện sớm các rủi ro trong công việc.

- Phát hiện sớm và kịp thời xử lý các trường hợp vượt quá liều cho phép.

- Tránh các tai nạn đáng tiếc xảy ra.

- Đảm bảo an toàn tuyệt đối cho những người không phận sự không vào được khu vực có nguồn bức xạ lớn.

Để đạt được những mục đích đó phải chú ý các khâu sau đây:

a) Cơ sở làm việc

Cơ sở làm việc phải được thiết kế và xây dựng hợp quy cách. Cơ sở này có tác dụng che chắn và làm giảm liều chiếu để phòng các tai nạn, tránh ô nhiễm. Do đó nó có những yêu cầu đặc biệt về bề dày và độ nhẵn của tường và sàn, hệ thống thông khí và hệ thống nước thải... Cơ sở làm việc còn tùy thuộc vào tính chất và mức độ công việc với phóng xạ. Cụ thể là tùy thuộc vào liều lượng, bản chất và năng lượng các tia thường dùng (gamma, nơtron...) và tính chất công việc mà có những yêu cầu cụ thể về xây dựng và thiết kế cũng như về trang bị phòng hộ lao động.

b) Trang thiết bị phòng hộ

Trang thiết bị phòng hộ bao gồm các dụng cụ chung và cá nhân để che chắn chùm tia, để tăng thêm khoảng cách tiếp xúc giữa người làm việc với nguồn phóng xạ hở, do đó ngăn ngừa tuyệt đối sự nhiễm xạ vào cơ thể qua da, hít thở hoặc ăn uống; tránh đổ vỡ vương vãi phóng xạ ra xung quanh. Các cơ sở hiện đại còn có các thiết bị báo hiệu mỗi lần liều lượng phóng xạ vượt quá một giá trị nhất định, các thiết bị kiểm tra sự ô nhiễm phóng xạ ở quần áo, tay chân, sàn, tường

và nơi làm việc... Ngoài ra các thiết bị đo đếm làm việc tốt sẽ giúp làm giảm được liều phóng xạ và thời gian tiếp xúc.

c) Các nội quy, kỷ luật...

Các nội quy, kỷ luật làm việc, các quy chế chặt chẽ về cất giữ, vận chuyển, xử lý các chất thải phóng xạ. Các quy định cụ thể về các vấn đề đó có tác dụng ngăn ngừa những sai sót và tai nạn đáng tiếc xảy ra như đổ vỡ, nhầm lẫn, mất mát, ô nhiễm môi trường...

d) Theo dõi và kiểm tra định kỳ

Công việc này bao gồm từ việc theo dõi và kiểm tra định kỳ nền phóng xạ tự nhiên, liều lượng phóng xạ trong không khí, nước uống, thực phẩm cho dân chúng cũng như kiểm tra các cơ sở làm việc có nguồn phát tia phóng xạ, cho đến các cá nhân làm việc phải tiếp xúc với phóng xạ. Ở các cá nhân có thể tiến hành kiểm tra sự nhiễm phóng xạ vào quần áo, chân tay trước khi ra về, kiểm tra liều hấp thụ định kỳ hàng tháng, hàng quý, hàng năm cũng như kiểm tra sức khỏe qua các xét nghiệm thông thường hoặc đặc biệt. Nếu phát hiện được những trường hợp bất đầu có dấu hiệu bị nhiễm xạ quá liều cho phép thì phải kịp thời có những biện pháp xử lý thích hợp để cứu chữa và ngăn chặn tác hại của nó. Công việc đó đòi hỏi tinh thần trách nhiệm và tổ chức chu đáo để đảm bảo cho công việc cũng như sức khỏe lâu dài cho cán bộ, nhân viên và cho cả thế hệ sau của họ.

CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

1. Tại sao những đèn tuýp, chúng ta thấy hiện tượng “bay hơi” các sợi tóc rõ ràng hơn sự “bay hơi” các đèn dây tóc đốt nóng.
2. Thời gian bán rã U^{238} là $4,47.10^9$ năm, có tuổi lớn hơn tuổi Trái Đất làm thế nào có thể đo được thời gian bán rã này.
3. Chu kỳ bán rã C^{14} là 5730 năm. Đồng vị này được tạo ra do sự bắn phá các tia vũ trụ với Nitơ. Tại sao dựa vào nó lại xác định được tuổi vật bằng gỗ cổ.
(Gợi ý: xét $H(t)$ của cổ vật)
4. Mật độ các hạt proton và nơ tron có phụ thuộc các hạt nhân hay không?
5. Liều lượng bức xạ phụ thuộc những điều kiện gì?
6. Các phương pháp ghi đo phóng xạ có chính xác không?
7. Tại sao các hạt nhân có xu hướng có nhiều nơtron hơn photon ở các hạt nhân có số khối lớn.

8. Trong phân rã β , các electron phát ra có phổ năng lượng liên tục, trong phân rã α , hạt α lại có phổ năng lượng gián đoạn, hãy giải thích?
9. Sau khi hoàn thành bài tập mẫu 2, hãy phân tích thêm sự nguy hiểm nếu cơ thể bị chiếu xạ vượt quá an toàn.

BÀI TẬP MẪU VÀ BÀI TẬP TỰ GIẢI

I. Bài tập mẫu

1. Một mẫu KCl nặng 2,71g nằm trong kho hoá chất được tìm ra là chất phóng xạ có tốc độ phóng xạ không đổi là 4490 phân rã/giây (kết quả từ máy đếm). Phân rã này dùng để đánh dấu nguyên tố Kali, đặc biệt là K^{40} , một đồng vị chiếm 1,17% trong Kali thông thường. Tính chu kỳ bán rã T của hạt nhân này.

Giải

Ta có thể tìm được T từ phương trình (25.2) vì tốc độ phân rã là hằng số, thời gian sống dài. Ta tìm N và dN/dt , áp dụng (25.5).

Khối lượng phân tử của KCl là 74,6g/mol, vì vậy số nguyên tử K trong mẫu này là:

$$N_K = \frac{(6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1})(2,71\text{g})}{74,6\text{g/mol}} = 2,19 \cdot 10^{22}$$

Trong đó các nguyên tử Kali này, số nguyên tử K^{40} chỉ là:

$$N_{40} = (2,19 \cdot 10^{22})(0,0117) = 2,56 \cdot 10^{20}.$$

Từ phương trình (25.5) ta có:

$$\lambda = \frac{-dN/dt}{N} = \frac{H}{N} = \frac{4490}{2,56 \cdot 10^{20}} = 1,75 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}.$$

Từ phương trình (25.2) ta tìm được T :

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{(\ln 2)}{1,75 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1} \cdot 3,16 \cdot 10^7 \text{ s}} \text{ năm} = 1,25 \cdot 10^9 \text{ năm}.$$

Thời gian cỡ tuổi vũ trụ, vì vậy ta không thể đo được T khi đợi nó chỉ còn một nửa số hạt ban đầu. Một điều nữa mà ta còn thấy là trong muối ăn có Kali K^{40} và cũng thật thú vị tất cả mọi người đều phóng xạ (khi ta đứng trước máy đếm, màn huỳnh quang nhấp nháy).

2. Ta thấy rằng liều lượng hấp thụ các tia phóng xạ như hấp thụ tia gamma 300rad (xem phương trình 25.8, 25.9) có thể gây tử vong với tỷ lệ 50%. Nếu một năng lượng tương đương được hấp thụ dưới dạng nhiệt thì thân nhiệt tăng bao nhiêu?

Giải

Liều lượng hấp thụ 300rad tương đương năng lượng hấp thụ tính cho 1kg khối lượng

$$(300\text{rad})\left(\frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ J/kg}}{1\text{rad}}\right) = 3 \text{ J/kg.}$$

Nhiệt dung của cơ thể ta giả sử bằng nhiệt dung của cốc nước 4180J/kg.K. Vậy nếu hấp thụ 300rad nhiệt độ cơ thể ta biến đổi một lượng:

$$\Delta T = \frac{Q/m}{C} = \frac{3\text{J/kg}}{4180\text{J/kg.K}} = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ K.}$$

Như vậy sự nguy hiểm không phải do nhiệt mà do sự huỷ diệt các mô của cơ thể.

II. Bài tập tự giải

1. Một hạt α có động năng 5,30MeV, coi bay thẳng vào hạt nhân vàng ($Z = 79$). Hạt α có thể đến gần nhất hạt nhân vàng một khoảng bao nhiêu?

Gợi ý: Hạt α (+ 2) hạt vàng (+ 79) cho nên khoảng gần nhất r bằng thế năng tĩnh điện. $W_d = W_{tq}$; $W_d = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q_0}{r}$

$$\text{Đáp số: } r = 4,29 \cdot 10^{-14} \text{ m} \approx 43 \text{ femi (fm)}$$

2. Ta cứ coi hạt nhân như những quả cầu "tí xíu" có bán kính trung bình $R = R_0 A^{1/3}$, với A là số khối, $R_0 \approx 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,2 \text{ fm}$ và hạt nhân coi như một hỗn hợp hạt proton – nơtron. Hãy xác định khối lượng riêng (mật độ hạt). Biết khối lượng một hạt (proton hay nơtron) cỡ $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

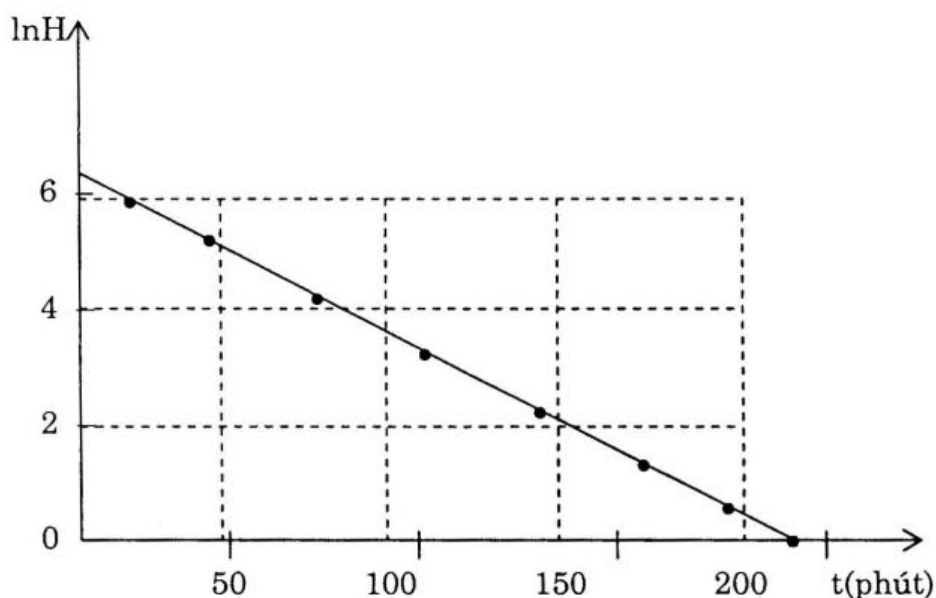
$$\text{Đáp số: } 2 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3.$$

3. Một máy đếm cho phép đo tốc độ phân rã phóng xạ của mẫu I^{128} – hạt nhân phóng xạ thường dùng trong y tế như một chất đánh dấu để đo tốc độ hấp thụ iot của tuyến giáp trạng (gây bệnh bướu cổ) thiết lập được bảng và vẽ được đồ thị sau:

a) Hằng số phân rã λ .

b) Thời gian sống trung bình τ : $(\ln 2/\lambda)$.

Thời gian (phút)	(Số đếm/s) H	Thời gian (P)	H (Số đếm/s)
4	392,2	132	10,9
36	161,4	164	4,56
68	65,5	196	1,86
100	26,8	218	1,00



Đáp số: $\lambda = 0,0275(\text{phút})^{-1}$

$\tau = 25$ phút

4. Gali (Ga^{67}) ($69,72\text{g/mol}$) có nửa thời gian sống là 78 giờ. Xét mẫu ban đầu tinh khiết nặng 34g của đồng vị đó.

a) Độ phóng xạ của mẫu đó.

b) Độ phóng xạ của mẫu 48 giờ sau đó.

Đáp số: a) $7,36 \cdot 10^{16}\text{s}^{-1}$ b) $4,93 \cdot 10^{16}\text{s}^{-1}$.

5. Một đồng vị phóng xạ có nửa thời gian sống là 140 ngày. Hỏi sau bao lâu (ngày) độ phóng xạ mẫu đồng vị đó chỉ còn một phần tư tốc độ phóng xạ ban đầu.

Đáp số: 280,0 ngày.

6. Hạt nhân vàng Au^{198} , có nửa thời gian sống là 2,7 ngày được dùng điều trị ung thư. Tính khối lượng cần thiết của đồng vị đó để tạo được độ phóng xạ bằng 250Ci .

Gợi ý: Từ phương trình (25.7) tính được m.

Đáp số: $1,02\text{mg}$.

7. Tỷ số đồng vị của U^{235} so với U^{238} trong một mỏ urani tự nhiên hiện nay là 0,0072. Hãy xác định tỷ số đó cách đây $2,0 \cdot 10^9$ năm là bao nhiêu? Biết rằng nửa thời gian sống (bán rã) của U^{235} và U^{238} tương ứng bằng $7,04 \cdot 10^8$ năm và $44,7 \cdot 10^8$ năm.

Gợi ý: – Tìm tỷ số hạt nhân hiện tại U^{235} và U^{238} .

– Biểu diễn qua H . $H_{(t)} = H_{(0)} e^{(\lambda_{235} - \lambda_{238}) \cdot t}$ với $H_{(0)}$ tỷ số U^{235} và U^{238} cách đây một khoảng thời gian (t) năm.

Đáp số: 0,0379 hay 3,8%.

8. Một mẫu tượng cổ bằng gỗ nặng 5,00kg có chứa Cacbon C^{14} với độ phóng xạ bằng 63,0 phân rã/ phút. Cacbon từ cây sống có độ phóng xạ là 15,3 phân rã trên một phút, một gam. Nửa thời gian sống của C^{14} bằng 5730 năm. Hỏi mẫu tượng đó có bao tuổi.

Đáp số: 1600 năm.

Chương 26

ỨNG DỤNG MỘT SỐ KỸ THUẬT VẬT LÝ VÀO VIỆC CHẨN ĐOÁN BỆNH BẰNG HÌNH ẢNH

MỤC TIÊU

- *Hiểu được nguyên tắc vật lý của:*
 - + *Phương pháp chụp hình cắt lớp vi tính (C.T. scanner).*
 - + *Phương pháp chụp phổ cộng hưởng từ hạt nhân (NMR).*
- *Nêu được ứng dụng của phương pháp C.T. scanner và NMR trong y học.*

26.1. PHÂN TÍCH CẤU TRÚC VĨ MÔ BẰNG HÌNH ẢNH (C.T SCANNER)

Khái niệm phân tích cấu trúc vĩ mô ở đây để chỉ việc phân tích cấu trúc bên trong của một 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 kích thước, hình dạng, mật độ vật chất, bản chất vật chất. Ví dụ ta phải tìm khuyết tật ở bên trong một vật đúc, ổ mối ở chân đê, hang lao hay khối u ở phổi, mảnh đạn găm vào cơ thể...

Cơ sở vật lý của phương pháp phân tích này là định luật hấp thụ chùm tia X, tia γ , ánh sáng, sóng điện từ:

$$I_{(x)} = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

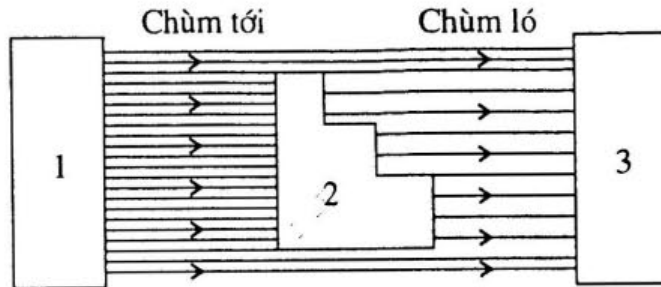
Trong đó x là chiều dày lớp hấp thụ; I_0 là cường độ chùm tia tới; $I_{(x)}$ là cường độ chùm tia ló; $e = 2,71828...$; μ là hệ số hấp thụ phụ thuộc vào bản chất của lớp hấp thụ, vào bản chất của chùm tia (vào bước sóng λ)...

26.1.1. Nguyên lý tạo hình chung

Sơ đồ khối của nguyên lý tạo hình được trình bày ở hình 26.1. Khối 1 là nguồn phát chùm tia (X, γ ...) có cường độ đồng đều trên một tiết diện đủ bao quát đối tượng nghiên cứu (khối 2) là tốt nhất.

Chùm tia sau khi xuyên qua đối tượng, bị hấp thụ khác nhau ở những vùng

không gian khác nhau sẽ lộ ra với cường độ khác nhau: bị hấp thụ nhiều thì cường độ chùm lộ sẽ nhỏ, ngược lại nếu bị hấp thụ ít thì cường độ chùm lộ sẽ lớn. Chùm lộ như vậy tạo nên một ảnh ẩn của rất nhiều lớp hấp thụ của đối tượng chồng chất lên nhau.



Hình 26.1

Khối 3 có nhiệm vụ biến ảnh ẩn thành ảnh có thể quan sát được bằng mắt thường. Khối 3 có thể là:

- Màn huỳnh quang.
- Phim ảnh.

- Các detector (đầu dò) biến tín hiệu dạng bức xạ (tia γ , X...) thành dòng điện, khuếch đại rồi đưa sang màn hình như màn hình máy thu hình hoặc rồi biến đổi ngược lại thành ánh sáng cho tác dụng lên phim ảnh.

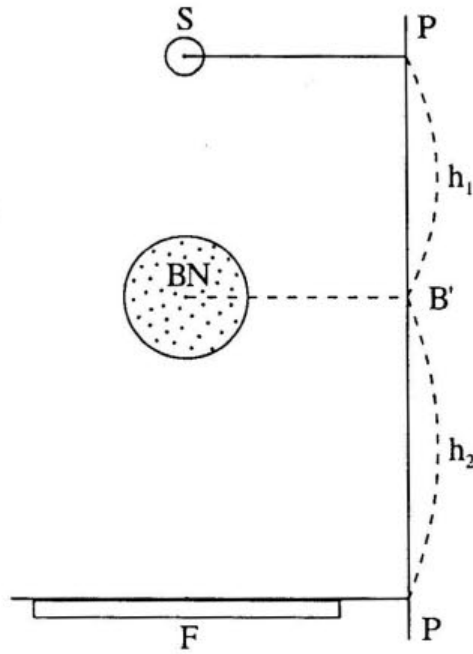
Với nguyên lý tạo hình này ta thu được hình ảnh của nhiều lớp vật chất chồng chất lên nhau, nếu có một khuyết tật ở bên trong vật khảo sát thì hình ảnh tạo ra sẽ bị mờ, những khuyết tật nhỏ sẽ khó quan sát thấy.

26.1.2. Nguyên lý tạo hình trong chụp cắt lớp

Mục đích của phương pháp này là làm rõ nét hình ảnh của một lớp mỏng nào đó của một bộ phận trong cơ thể, còn các lớp khác thì bị xoá nhoà đi.

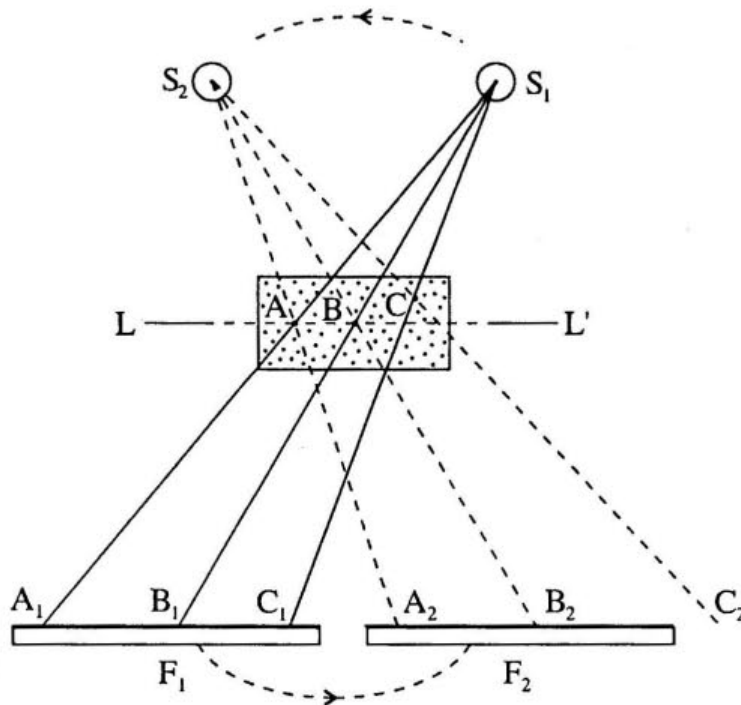
Nguyên lý kỹ thuật chụp cắt lớp được trình bày trên hình 26.2 và hình 26.3.

- Ở hình 26.2 là hình ảnh bố trí thiết bị đứng yên, ta đứng nhìn bệnh nhân từ phía đầu bệnh nhân: S là nguồn phát tia (ví dụ bóng phát tia X), F là hộp phim, BN là bệnh nhân. S và F được gắn vào hai đầu thanh kim loại PP. Thanh này có thể quay quanh một trục ở B', khi ấy S sẽ di chuyển sang trái (hoặc sang phải), còn hộp phim F sẽ di chuyển theo chiều ngược lại, khoảng cách h_1 và h_2 không đổi. Bệnh nhân nằm yên.



Hình 26.2

– Ở hình 26.3: khi S bắt đầu phát tia, ở vị trí S_1 , lớp cắt cần chụp là lớp LL' . Giả sử có 3 điểm đặc biệt cần biết là A, B, C mà A và B nằm trên lớp cắt LL' , C nằm ngoài. Hình ảnh tạo ra tương ứng là A_1, B_1, C_1 trên phim. Khi nguồn S di chuyển đến vị trí S_2 , các tia lại cho ta hình ảnh A_2, B_2, C_2 nhưng bây giờ A_2, B_2 vẫn trên phim, đúng vị trí cũ A_1, B_1 còn C_2 đi ra ngoài phim. Thật vậy:



Hình 26.3

Do $\Delta S_1AB \sim \Delta S_1A_1B_1$ và $\Delta S_2AB \sim \Delta S_2A_2B_2$ ta có:

$$\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{h_1}{h_1 + h_2} = \frac{AB}{A_2B_2} \rightarrow A_1B_1 = A_2B_2$$

Tại mọi vị trí của S khi di chuyển từ S_1 đến S_2 ta đều có hình ảnh AB (của lớp cắt LL') đúng một vị trí trên phim, còn các hình ảnh của các phần tử khác không nằm trên LL' sẽ di chuyển, tạo hình ảnh mờ nhạt làm nền phim, kết quả là ta có hình ảnh rõ nét của một lớp cắt trên phim.

26.1.3. Chụp cắt lớp dùng vi tính (CTS – Computerized Tomography Scanner)

Kỹ thuật CT Scanner do Hounsfield (Anh) và Cormak (Mỹ) phát minh năm 1971, được giải thưởng Nobel về y học năm 1979.

Trong CT Scanner, thay cho hộp phim X quang F ở hình 26.2 hoặc 26.3 là một hộp đầu dò (detector) có hàng vạn đầu dò nhỏ sắp xếp thành các ô nhỏ, mỗi ô nhỏ có một đầu dò khi bị chiếu tia sẽ cho tín hiệu điện truyền về bộ xử lý. Người ta có thể thay các đầu dò này bằng tinh thể nhấp nháy lỏng. Các hệ thống này có độ nhạy rất cao, được khuếch đại, đưa vào bộ nhớ máy vi tính, xử lý rồi đưa sang phần hiện hình (tương tự như camera thu hình, khuếch đại, xử lý rồi truyền đến máy thu hình gia đình).

Để trợ giúp cho tạo hình cắt lớp rõ nét, người ta làm phần mềm máy vi tính bằng cách thu thập số liệu từ việc chiếu một số mô hình người với các giả định khác nhau như có khối u ở dạ dày, có khối u ở não, hang lao ở phổi... Nhờ xử lý hình ảnh bằng máy vi tính mà ta có các hình ảnh của các lớp theo những lớp cắt ngang, cắt dọc khác nhau, ta có thể thấy rõ ràng những điểm bất thường trong cơ thể mà với phương pháp X quang thường không thấy được. Nhờ bộ nhớ của máy vi tính mà người thầy thuốc dễ dàng tái hiện lại các hình ảnh cần khảo sát.

Hiện nay CT Scanner thế hệ thứ ba tạo hình ảnh một lớp cắt mất độ 3s và để chẩn đoán người ta dùng tối thiểu 12 hình ảnh lớp cắt khác nhau.

Các kỹ thuật bổ trợ của X quang thường cũng có thể sử dụng cho CTS.

26.2. PHƯƠNG PHÁP CỘNG HƯỞNG TỪ HẠT NHÂN

Phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân dựa trên tính chất hấp thụ năng lượng (sóng điện từ) của hạt nhân nằm trong từ trường. Trong thời gian gần đây phương pháp này cho phép ta phân loại được hạt nhân cần biết và bằng một số

thủ pháp kỹ thuật cho phép ta chụp hình được những lát cắt của đối tượng vĩ mô cần khảo sát với hình ảnh rõ ràng hơn nhiều so với chụp X quang cổ điển mà không gây tác hại sinh học. Điều đó mở ra một khả năng ứng dụng lớn trong phương pháp chẩn đoán bằng hình ảnh.

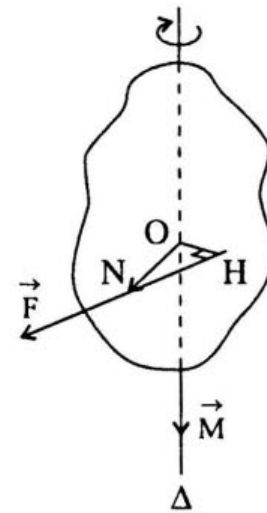
26.2.1. Cơ sở vật lý của phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân

26.2.1.1. Momen quay cơ học

Giả sử có một vật rắn quay quanh một trục cố định Δ dưới tác dụng của lực \vec{F} đặt tại điểm N (hình 26.4). Người ta định nghĩa momen lực \vec{M} hay momen quay theo biểu thức tích vectơ:

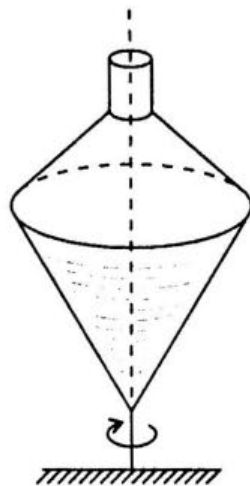
$$\vec{M} = \vec{ON} \wedge \vec{F}$$

(\vec{ON} , \vec{F} nằm trong cùng một mặt phẳng, \vec{M} vuông góc với mặt phẳng này, chẳng hạn nằm trên trục Δ).

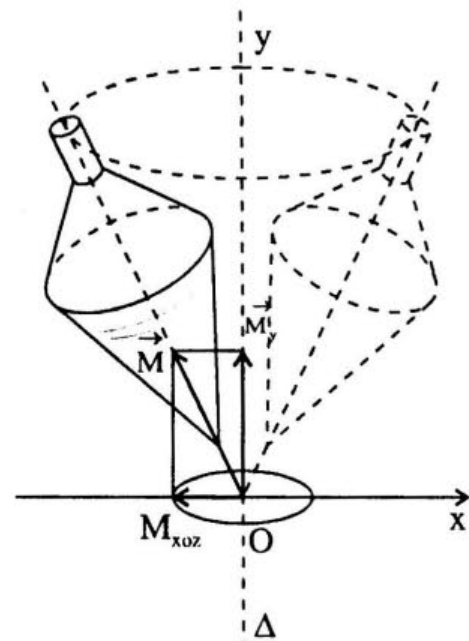


Hình 26.4

Một con quay khi quay đứng tại chỗ thì \vec{M} nằm trên trục quay theo trục quay vuông góc mặt đất (hình 26.5).



Hình 26.5

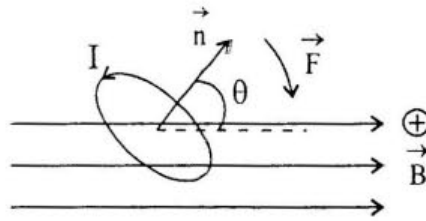


Hình 26.6

Con quay cũng có thể vừa quay, vừa đảo quanh vị trí thẳng đứng nào đó, \vec{M} phân tích ra \vec{M}_y thẳng đứng và \vec{M}_{xoz} quay trong mặt phẳng XOZ, khi ấy ta bảo con quay có chuyển động tuế sai (hình 26.6).

26.2.1.2. Momen từ quỹ đạo

– Giả sử có dòng điện cường độ I chạy trong vòng dây kín diện tích A , đặt trong từ trường có cảm ứng từ \vec{B} , thì từ trường sẽ tác dụng lực \vec{F} lên vòng dây làm nó quay đi (góc $\theta \rightarrow 0$) (hình 26.7).



Hình 26.7

$$F = I.B.A.\sin \theta$$

Hay:

$$\vec{F} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$$

$\vec{\mu}$ gọi là momen lưỡng cực từ mà $\vec{\mu} = I.A.\vec{n}$

Với \vec{n} là vectơ đơn vị ở pháp tuyến mặt A của vòng dây.

– Một hạt khối lượng m , tích điện q chuyển động tròn đều trên đường tròn bán kính r với vận tốc v sẽ tạo ra:

Dòng điện cường độ:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q.v}{2\pi.r}$$

Momen từ:

$$\mu = I.A = \frac{q.v.\pi.r^2}{2\pi.r} = \frac{q.v.r}{2}$$

Momen động lượng quỹ đạo:

$$L = m.v.r$$

Ta suy ra:

$$\mu = \frac{q}{2m}.L$$

Viết dưới dạng vectơ:

$$\vec{\mu} = \frac{q}{2m} \cdot \vec{L}$$

Với electron thì:

$$\vec{\mu}_e = -\frac{e}{2m_e} \cdot \vec{L} \quad (26.1a)$$

Với proton thì:

$$\vec{\mu}_p = \frac{e}{2m_p} \cdot \vec{L} \quad (26.1b)$$

Tỷ số $\frac{e}{2m_e}$ được gọi là tỷ số từ quay (quỹ đạo) của electron.

- Chiều momen động lượng \vec{L} lên trục Oz, thu được L_z , đồng thời chọn trục Oz là trục lượng tử hoá, người ta thu được μ và μ_z đã lượng tử hoá:

$$\mu = \hbar \cdot \frac{e}{2m_e} \cdot \sqrt{l(l+1)} \quad l = 0, 1, \dots \quad (26.2)$$

$$\mu_z = -\hbar \cdot \frac{e}{2m_e} \cdot m_l \quad m_l = -l, \dots, 0, l \quad (26.3)$$

Trong đó: l là số lượng tử quỹ đạo.

m_l là số lượng tử từ.

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Và người ta gọi lượng tử của momen từ của electron là Manheton Bo, xác định theo biểu thức:

$$\mu_e = \frac{e \cdot \hbar}{2m_e} = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ A.m}^2$$

Hạt proton trên quỹ đạo tròn cũng có Manheton hạt nhân xác định tương tự:

$$\mu_p = \frac{e \cdot \hbar}{2m_p} = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ A.m}^2$$

26.2.1.3. Momen từ riêng

Ở nguyên tử hydro, điện tử quay trên quỹ đạo tròn quanh proton, ngoài momen động lượng quỹ đạo còn có momen động lượng riêng \vec{S} gọi là spin, mà điều đặc trưng của nó là S và hình chiếu S_z được lượng tử hoá giống như momen động lượng quỹ đạo. Do đó người ta thấy electron có momen từ riêng $\vec{\mu}_s$ có dạng:

$$\vec{\mu}_s = -g_e \cdot \frac{e}{2m_e} \cdot \vec{S} \quad (26.4)$$

Mà khi lượng tử hoá:

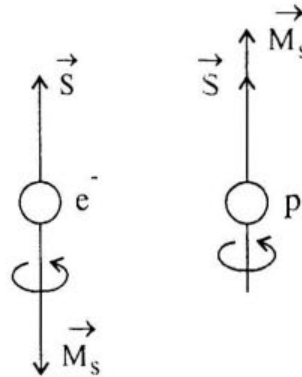
$$\mu_s = g_e \cdot \mu_e \cdot \sqrt{s(s+1)} \quad s = \frac{1}{2}$$

$$\mu_{sz} = -g_e \cdot \mu_e \cdot m_s \quad m_s = \pm \frac{1}{2}$$

Với hằng số: $g_e = 2,0023$.

Electron được coi như một nam châm vi mô tạo ra trong không gian một trường cảm ứng từ mà cường độ tỷ lệ với momen từ μ_s .

Proton như vậy cũng có một momen từ riêng liên hệ với spin của nó, có cùng chiều do tích điện dương (hình 26.8).



Hình 26.8

Ta viết tương tự:

$$\vec{\mu}_s = g_p \cdot \frac{e}{2m_p} \cdot \vec{S} \quad (26.5)$$

Các quy tắc lượng tử hoá dẫn tới:

$$\mu_{sz} = g_p \cdot \mu_p \cdot m_s$$

$$m_s = \pm \frac{1}{2}$$

Thực nghiệm cho $g_p = 5,58$; proton có momen từ dị thường bằng $1,79 \mu_p$; với nơtron $g_p = -3,82$ và momen từ dị thường bằng $-1,91 \mu_p$ (nơtron có phân phối điện tích theo hình cầu mà tích phân trên toàn thể tích bằng không nên coi tổng quát nó không tích điện).

26.2.1.4. Tổng hợp momen động lượng

Vì trong nguyên tử có nhiều electron, nên các spin phải cộng nhau theo quy tắc vectơ. Các electron thường liên kết nhau thành cặp có spin đối song song dẫn

tới kết quả bằng không. Nếu các electron là số chẵn, spin tổng cộng bằng không; nếu số electron không chẵn, có một electron không tạo cặp, kết quả chung là spin khác không. Nguyên tắc này cũng được áp dụng cho các nucleon của hạt nhân.

Tổng quát hơn, chẳng hạn cho một hạt nhân, các momen động lượng quỹ đạo và riêng liên kết vectơ với nhau cho momen động lượng quỹ đạo tổng cộng $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$, gọi là spin của hạt nhân, được lượng tử hoá.

Bảng (26.1) cho ta giá trị của spin một số hạt nhân nguyên tử quan trọng của cơ thể người, đơn vị đo là $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

Bảng 26.1. Spin của một số hạt nhân nguyên tử

Hạt nhân	Z	N	Spin s (đơn vị \hbar)
^1H (proton)	1	0	1/2
^{12}C	6	6	0
^{13}C	6	7	1/2
^{14}N	7	7	1
^{23}Na	11	12	3/2
^{31}P	15	16	1/2
^{39}K	19	20	1/2

Một nguyên tử hay hạt nhân có spin tổng cộng \vec{J} khác không coi như một thanh nam châm vi mô có momen từ tổng cộng $\vec{\mu}$. Thuyết lượng tử chứng minh rằng:

$$\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{J} \quad (26.6)$$

γ gọi là hệ số từ hồi chuyển, phụ thuộc vào L, S và J; đối với proton thì:

$$\gamma = g_p \cdot \frac{e}{2m_p}$$

Với electron thì:

$$\gamma = -g_e \cdot \frac{e}{2m_e} \text{ (khi không có momen động lượng quỹ đạo).}$$

Một phần tử vật chất sẽ có momen từ tổng cộng:

$$\vec{M} = \sum_i \vec{\mu}_i \quad (26.7)$$

Nếu không có từ trường ngoài, do sự định hướng ngẫu nhiên.

$$\sum_i \vec{\mu}_i = 0$$

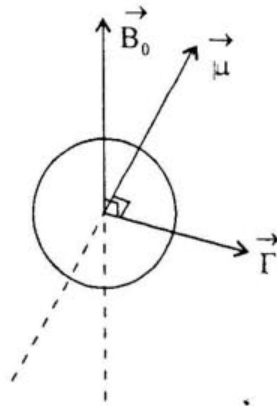
Khi có từ trường ngoài \vec{B}_0 , các momen từ thành phần định hướng, kết quả là \vec{M} song song cùng chiều \vec{B}_0 .

26.2.1.5. Lưỡng cực trong trường ngoài

Khi có một hạt nhân momen từ $\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{J}$ được đặt trong trường cảm ứng từ đồng nhất \vec{B}_0 (chọn cho trùng trục Oz chẳng hạn), hạt nhân bị tác dụng ngẫu lực:

$$\vec{\Gamma} = \vec{\mu} \cdot \vec{B}_0$$

($\vec{\Gamma}$ vuông góc lần lượt với $\vec{\mu}$ và \vec{B}_0 như hình 26.9).



Hình 26.9

Giả sử sau thời gian dt , momen động lượng thay đổi lượng $d\vec{J}$, ta có:

$$\vec{\Gamma} = \frac{d\vec{J}}{dt} \quad (26.8)$$

Kết quả là có một chuyển động tuế sai của \vec{J} xung quanh \vec{B}_0 tương tự như chuyển động đảo của con quay (mục 26.2.1.1). Ngẫu lực $\vec{\Gamma} \perp \vec{\mu}$, thành phần μ trên trục z ($\mu_z = \mu \cdot \cos\theta$) không thay đổi nhưng hình chiếu trong một mặt phẳng vuông góc với \vec{B}_0 ($\mu \cdot \sin\theta$) thì thay đổi, khi quay một góc $d\phi$ sau thời gian dt , khi ấy $\vec{\mu}$ thành $\vec{\mu} + d\vec{\mu}$, mà:

$$|d\vec{\mu}| = d\mu = \mu \cdot \sin\theta \cdot d\phi$$

Tốc độ góc của chuyển động tuế sai là:

$$\omega_0 = \frac{d\phi}{dt} = \gamma \cdot B_0 \quad (26.9)$$

Tần số tuế sai được gọi là tần số Larmor:

$$\nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{\gamma \cdot B_0}{2\pi} \quad (26.10)$$

(Tần số tuế sai theo 26.10 phụ thuộc tuyến tính vào cảm ứng từ B_0 của từ trường ngoài).

Đối với electron $\nu_0(e) = g_e \cdot \mu_e \cdot B_0$

Đối với proton $\nu_0(p) = g_p \cdot \mu_p \cdot B_0$

Cho $B_0 = 1$ Tesla thì $\nu_0(p) = 42,58\text{MHz}$.

26.2.1.6. Sự thay đổi mức năng lượng

Người ta chứng minh rằng thế năng của một momen từ $\vec{\mu} = \gamma \cdot \vec{J}$ trong trường cảm ứng từ \vec{B}_0 đồng nhất có dạng:

$$E_t = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}_0 = -\mu_z \cdot B_0$$

Với \vec{B}_0 định hướng theo trục Oz.

Quy tắc lượng tử hoá áp dụng cho \vec{J} và J_z : J_z chỉ nhận một số giá trị nguyên $m_j \cdot \hbar$ với $m_j = -j, -j + 1, \dots, j - 1, j$.

Thế năng cũng được lượng tử hoá có dạng:

$$E_{t,j} = -\gamma \cdot \hbar \cdot m_j \cdot B_0$$

Nếu $B_0 = 0$, tất cả các mức năng lượng tương ứng cùng một giá trị thế năng bằng không. Các mức này chỉ tách ra khi $B_0 \neq 0$. Đối với một giá trị B_0 cho trước, sự phân cách giữa hai mức năng lượng liên tiếp là:

$$\Delta E_t = E_{t,i} - E_{t,i+1} = \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 \quad (26.11)$$

Tức là trong trường hợp của một proton hay một electron không có momen động lượng quỹ đạo:

$$\Delta E_t = g_e \cdot \mu_e \cdot B_0 \quad (\text{Cho } e^-)$$

$$\Delta E_t = g_p \cdot \mu_p \cdot B_0 \quad (\text{Cho } p)$$

Dùng công thức (26.9), (26.10) ta có:

$$\Delta E_t = \gamma \cdot \hbar \cdot B_0 = \hbar \cdot \omega_0 = h \cdot \nu_0 \quad (26.12)$$

Trong đó ν_0 là tần số Larmor.

Khi $B_0 = 1$ Tesla, với electron $\Delta E_t = 1,16 \cdot 10^{-4} \text{eV}$

với proton $\Delta E_t = 1,75 \cdot 10^{-7} \text{eV}$

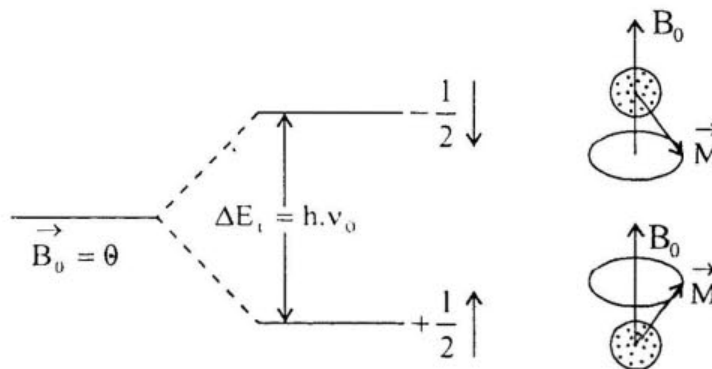
Tức là $\nu_0 = 42,58\text{MHz}$ hay $\lambda \approx 7\text{m}$.

Hình 26.10 cho ta khái niệm về sự tách làm hai thay đổi mức năng lượng của proton.

Trong biểu thức (26.12):

$$h.\nu_0 = \gamma.\hbar.B_0$$

Có hai đại lượng thay đổi được là B_0 và tần số sóng điện từ ν_0 : khi có biểu thức này (với giá trị tương ứng của B_0 và ν_0), ta bảo là xảy ra cộng hưởng từ hạt nhân (có từ trường ngoài B_0 , xảy ra sự hấp thụ sóng điện từ tần số ν_0): dưới tác dụng đồng thời của \vec{B}_0 và sóng điện từ tần số ν_0 , hạt nhân bị kích thích khi hấp thụ sóng điện từ, chuyển lên trạng thái có mức năng lượng cao hơn, khi trở về trạng thái ổn định, hạt nhân sẽ phát xạ năng lượng dư thừa.

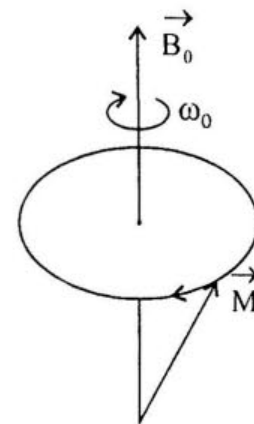


Hình 26.10

26.2.2. Cộng hưởng từ hạt nhân xét theo quan điểm vĩ mô

Đặt trong trường cảm ứng từ đều \vec{B}_0 , momen từ vĩ mô \vec{M} là kết quả của một tập hợp các momen từ cá thể $\vec{\mu} = \gamma.\vec{J}$ của rất nhiều hạt nhân, được minh họa như một chuyển động tuế sai quanh \vec{B}_0 với tốc độ góc $\omega_0 = \gamma.B_0$ (hình 26.11). Các tính toán cho ta:

$$M = N.\mu^2.\frac{B_0}{k.T}$$

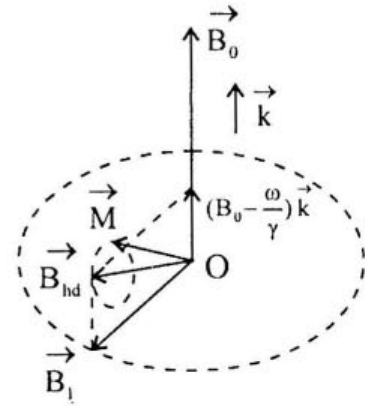


Hình 26.11

Trong đó N là số các spin (số hạt nhân $N = N_1 + N_2$, với N_1 và N_2 là số hạt nhân tương ứng có các trạng thái năng lượng $-\frac{\Delta E_t}{2}$ và $\frac{\Delta E_t}{2}$) k là hằng số Boltzman, T là nhiệt độ tuyệt đối của đối tượng, $\mu = \frac{g_p.\mu_p}{2}$.

Trong thí nghiệm cộng hưởng từ hạt nhân, nếu có \vec{B}_0 không đổi về cường độ và phương hướng, lại có \vec{B}_1 nhỏ so \vec{B}_0 và quay trong mặt phẳng $\perp \vec{B}_0$ với tốc độ góc ω thay đổi theo thời gian; vectơ từ suất vĩ mô (momen từ trong một đơn vị thể tích) đặt trong từ trường $\vec{B}_0 + \vec{B}_1$ sẽ thực hiện chuyển động tuế sai quanh trục của B hiệu dụng mà:

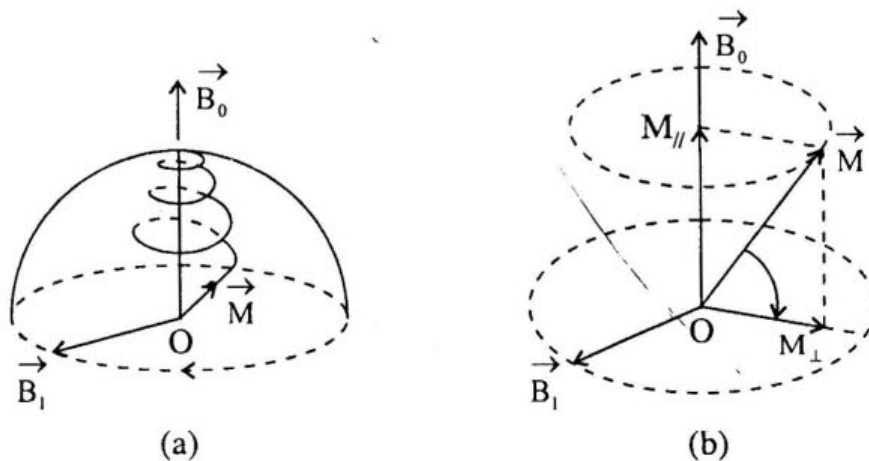
$$\vec{B}_{hd} = \left(B_0 - \frac{\omega}{\gamma}\right) \vec{k} + \vec{B}_1$$



Hình 26.12

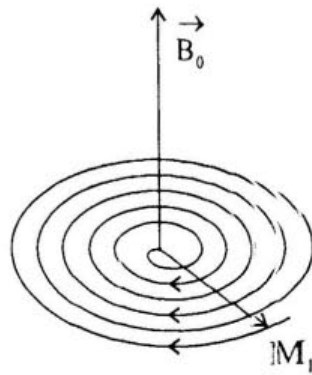
Khi ω chính xác bằng ω_0 , tức là khi tần số của \vec{B}_1 bằng tần số Larmor ν_0 , sẽ có chuyển động tuế sai của M quanh \vec{B}_1 : có cộng hưởng từ (hình 26.12).

Khi ta tăng ω , vectơ từ suất M sẽ thay đổi, một đầu mút của nó sẽ vẽ lên một hình xoắn ốc nội tiếp trong cầu tâm O. Nếu phân tích vectơ từ suất \vec{M} thành hai thành phần $M_{//}$ (so với \vec{B}_0) và M_{\perp} (hình 26.13)



Hình 26.13

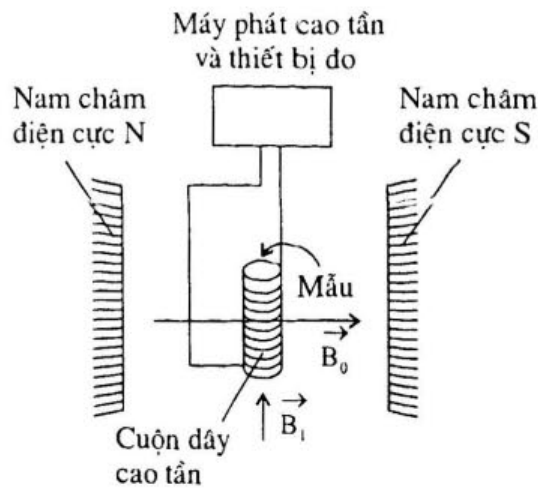
Khi ω tăng lên, \vec{M} lệch ra xa \vec{B}_0 thì thành phần $M_{//}$ giảm trong khi M_{\perp} lại tăng lên và đạt cực đại khi \vec{M} quay đi một góc 90° tương ứng với tần số cộng hưởng ω_0 . Nếu tiếp tục tăng ω (hoặc bỏ từ trường \vec{B}_1) vectơ từ suất \vec{M} sẽ trở về vị trí cân bằng, chuyển động tuế sai quanh \vec{B}_0 (hình 26.14).



Hình 26.14

Để đặc trưng cho quá trình trở về vị trí cân bằng của momen từ khi ngừng tác dụng \vec{B}_1 chúng ta có khái niệm thời gian hồi phục $T_{//}$ và T_{\perp} tương ứng cho các thành phần $M_{//}$ và M_{\perp} .

Thời gian hồi phục $T_{//}$ liên quan mật thiết với sự trao đổi năng lượng xảy ra giữa spin và môi trường xung quanh nên $T_{//}$ còn gọi là thời gian hồi phục spin – mạng. Trong khi đó T_{\perp} chỉ liên quan đến tương tác giữa các spin và được gọi là thời gian hồi phục spin – spin. Đối với các tổ chức sinh học ở cơ thể người, $T_{//}$ có độ lớn cỡ $300 \div 3000\text{ms}$ và lớn hơn nhiều so với T_{\perp} ở cỡ độ lớn $30 \div 150\text{ms}$.



Hình 26.15

Hình 26.15 mô tả những bộ phận chính của thiết bị cộng hưởng từ hạt nhân: ngoài từ trường cảm ứng từ B_0 tạo ra giữa hai cực của một nam châm điện còn có một từ trường biến thiên \vec{B}_1 , vuông góc với \vec{B}_0 , tạo ra bởi một dòng cao tần đi qua một cuộn dây bao quanh mẫu nghiên cứu. Máy phát cao tần được sử dụng luôn làm máy thu. Sự thay đổi momen từ \vec{M} của mẫu sinh ra trong cuộn dây có

trục vuông góc với \vec{B}_0 một dòng điện được gọi là tín hiệu phân rã cảm ứng tự do FID (FID: Freeinduction Decay). Tín hiệu này biến thiên theo thời gian gắn với quy luật hình sin và có biên độ phụ thuộc giá trị của M_{\perp} . Trong thực hành, tín hiệu FID được đo trong khoảng thời gian tương ứng 2 hay 3 lần T_{\perp} và phép đo tín hiệu FID được nhắc lại liên tục sau khi M đã trở về vị trí ban đầu của nó, nghĩa là sau khoảng thời gian cỡ 1 hay 2 lần T_{\parallel} .

26.2.3. Phổ cộng hưởng từ hạt nhân

Phổ NMR biểu diễn sự biến thiên của thế cảm ứng xuất hiện khi xảy ra hiện tượng hấp thụ năng lượng của từ trường tần số cao phụ thuộc vào từ trường B_0 (hoặc tần số ν). Nếu tích phân tín hiệu ta sẽ có diện tích giới hạn bởi đường cong tín hiệu, giá trị này phụ thuộc vào số hạt nhân bị kích thích do hấp thụ năng lượng của từ trường ngoài. Tín hiệu thu được cho phép phân loại được hạt nhân đã cho. Nhưng nếu chỉ có vậy thì phương pháp phổ NMR chỉ là một phương pháp phân tích định tính thông thường. Thực tế, phổ NMR làm được hơn thế rất nhiều là do giá trị của từ trường B_0 (hoặc ν_0) để xảy ra cộng hưởng đối với một hạt nhân đã cho phụ thuộc vào môi trường xung quanh nó, nghĩa là phụ thuộc vào cấu trúc phân tử của mẫu nghiên cứu. Ta lần lượt xét hai nhân tố chính ảnh hưởng đến tần số cộng hưởng và dạng của phổ NMR.

26.2.3.1. Sự che chắn hạt nhân và độ dịch chuyển hoá học

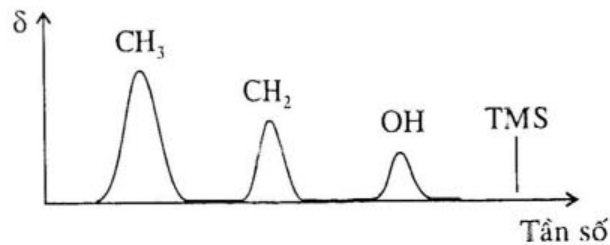
Ta biết rằng từ trường ngoài \vec{B}_0 làm cho các đám mây điện tử chuyển động quay quanh proton trong mặt phẳng vuông góc với \vec{B}_0 . Chuyển động này sinh ra một từ trường trong vùng lân cận hạt nhân và ngược chiều với từ trường ngoài. Như vậy các điện tử đã che chắn tác dụng của từ trường ngoài đối với hạt nhân. Kết quả là các hạt nhân sẽ chịu tác dụng của một từ trường hiệu dụng $B_{hd} = B_0 \cdot (1 - \delta)$.

Trong đó δ là hằng số che chắn từ, thường có giá trị dương. Vì tần số cộng hưởng phụ thuộc tuyến tính theo từ trường nên khi \vec{B}_0 thay đổi giá trị, ν_0 bị dịch chuyển đi. Để đặc trưng cho độ dịch chuyển này người ta đưa ra khái niệm độ dịch chuyển hoá học tương đối của tần số cộng hưởng so với tần số Larmor ν_0 :

$$\delta = -10^6 \cdot \frac{\nu - \nu_0}{\nu_0} \quad (26.13)$$

Đại lượng này được biểu diễn bằng đơn vị ppm (parties per million) và

thường có độ lớn vài ppm. Thông thường với mỗi loại hạt nhân người ta chọn một tần số chuẩn, ví dụ đối với proton thường chọn TMS (tetramethylsilan) và ghi lại các vạch phổ so với tần số này (hình 26.16).



Hình 26.16

Độ dịch chuyển hoá học phản ánh ảnh hưởng của các đám mây điện tử quanh hạt nhân, đồng thời cũng cho thông tin về ảnh hưởng của dung môi, của pH dung dịch, của nhiệt độ và cấu hình của các phân tử.

26.2.3.2. Tương tác spin – spin

Trong thực tế phổ NMR thu được phức tạp hơn nhiều so với ví dụ trên hình 26.16 vì tương tác giữa các momen từ khác nhau làm thay đổi mức năng lượng của chúng và dẫn đến tương tác cặp giữa các spin cạnh nhau.

Định hướng của mỗi lưỡng cực từ ảnh hưởng đến năng lượng của các lưỡng cực khác: khi tuế sai mỗi lưỡng cực lại sinh ra một từ trường làm biến dạng cấu hình điện tử xung quanh và ảnh hưởng lên các lưỡng cực khác. Như vậy tương tác cặp giữa các spin hạt nhân là gián tiếp và chính các electron giữ vai trò trung gian.

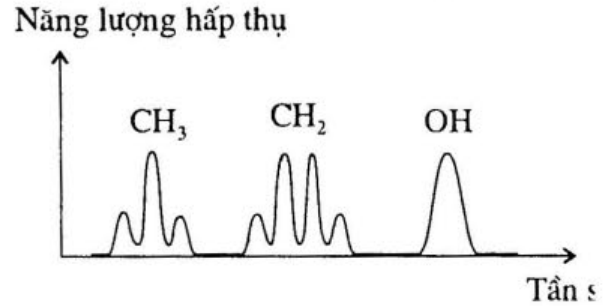
Năng lượng tương tác gián tiếp giữa hai spin \vec{J}_1 và \vec{J}_2 được viết dưới dạng:

$$E_{\text{tđ}} = \alpha \cdot \hbar \cdot \vec{J}_1 \cdot \vec{J}_2$$

Trong đó α là hằng số tương tác cặp (Hz). Tùy theo định hướng của hai spin, song song ($\uparrow\uparrow$) hay đối song song ($\uparrow\downarrow$) năng lượng này thay đổi và làm xuất hiện vạch phổ kép (double) thay vì một vạch đơn (single) khi không tính đến tương tác này.

Trên hình 26.17 ta thấy tất cả các định hướng có thể của spin của các nhóm trong ethanol và phổ NMR của nó khi tính đến tương tác cặp spin – spin. Mỗi kiểu định hướng của spin lại sinh ra một từ trường hiệu dụng và tương ứng một giá trị tần số cộng hưởng của nhóm nguyên tử lân cận: nhóm CH_3 có ba tần số cộng hưởng, nhóm CH_2 có bốn tần số cộng hưởng, nhóm OH lẽ ra có ba tần số cộng hưởng nhưng trong trường hợp này hiệu ứng nhiệt độ không cho phép quan sát thấy.

- (1) ↑↑↑
- (2) ↑↑↓ ↑↓↑ ↓↑↑ CH₃ (a)
- (3) ↓↓↑ ↓↑↓ ↑↓↓
- (4) ↓↓↓
- (1) ↑↑
- (2) ↑↓ ↓↑ CH₂ (b)
- (3) ↓↓



Hình 26.17

Đối với các đại phân tử, để phân biệt tần số cộng hưởng của một nhóm nguyên tử ứng với một kiểu tương tác spin – spin so với các nhóm khác là rất khó khăn. Để khắc phục, người ta phải tiến hành nhiều phép đo với giá trị từ trường B₀ khác nhau, khi đó chỉ có độ dịch chuyển hoá học thay đổi còn tương tác cặp spin – spin vẫn giữ nguyên.

26.2.4. Chụp cắt lớp bằng cộng hưởng từ hạt nhân

Biên độ tín hiệu trong phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân phụ thuộc vào số hạt nhân trong mẫu, nhưng thông tin này lại không cho chúng ta biết vị trí phát sinh tín hiệu. Do đó phải xây dựng phương pháp bổ sung nào đó để xác định được toạ độ các hạt nhân phát tín hiệu cộng hưởng từ.

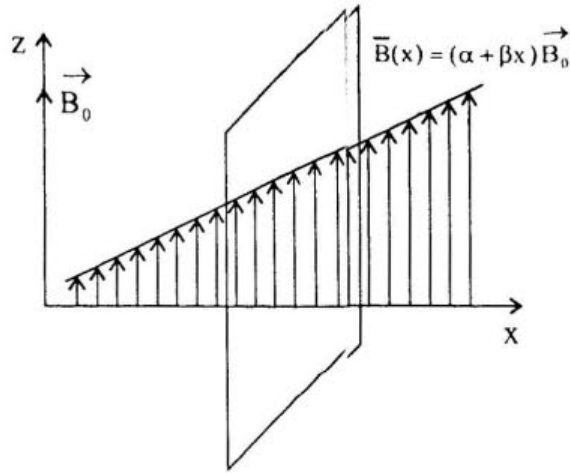
Năm 1973 Lauterbur đề xuất phương pháp đưa từ trường bổ sung có cùng phương, chiều với \vec{B}_0 nhưng có độ lớn biến thiên tuyến tính theo toạ độ x, y hoặc z (hình 26.18). Như vậy có thể thực hiện mã hoá theo trục x (\vec{B}_0 theo hướng trục z) nếu ta đặt thêm $\vec{B}_{(x)}$ sao cho:

$$\vec{B}_{(x)} = (\alpha + \beta \cdot x) \cdot \vec{B}_0$$

Trong đó α, β là hằng số, từ trường $\vec{B}_{(x)}$ này có gradient theo hướng z.

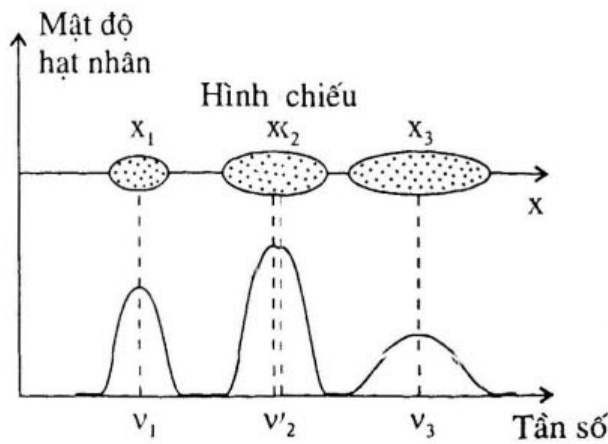
Vì tần số cộng hưởng phụ thuộc từ trường nên hiện tượng cộng hưởng chỉ xảy ra với những hạt nhân có tần số cộng hưởng tương ứng với từ trường đang áp dụng, tức là:

$$\nu = \frac{\gamma}{2\pi} \cdot B_0 \cdot (1 + \alpha + \beta \cdot x) \tag{26.14}$$



Hình 26.118

Như vậy tần số cộng hưởng ν sẽ xác định một mặt phẳng vuông góc với trục Ox , chứa các hạt nhân tham gia hiện tượng; cộng hưởng ở tần số ν , nghĩa là trên trục Ox ta thu được hình chiếu của mật độ các hạt nhân ở mặt phẳng nêu trên (hình 26.19).



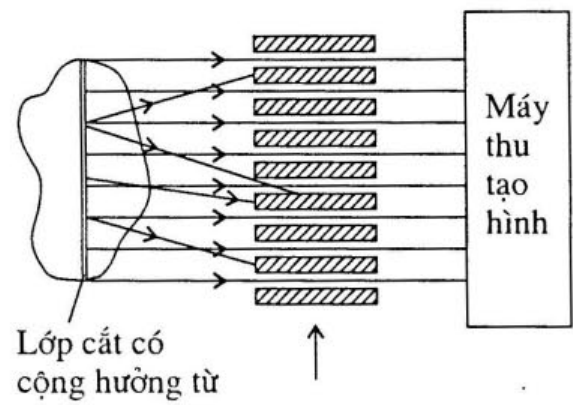
Hình 26.119

Nói khác đi với B_0 và ν xác định, chỉ có hạt nhân nào nằm trong mặt phẳng tọa độ x thỏa mãn công thức (26.14) mới cộng hưởng từ và mới phát tín hiệu. Vì tín hiệu phát đi theo mọi phương nên hình ảnh của một lớp cắt vẫn chưa hiện. Người ta có thể dùng các thủ thuật sau để tạo hình của lớp cắt cần nghiên cứu:

- Dùng các từ trường có chiều dày Δy rất mỏng để quét theo chiều Oy , thu tín hiệu rồi ghép lại (tất nhiên xử lý bằng máy vi tính).

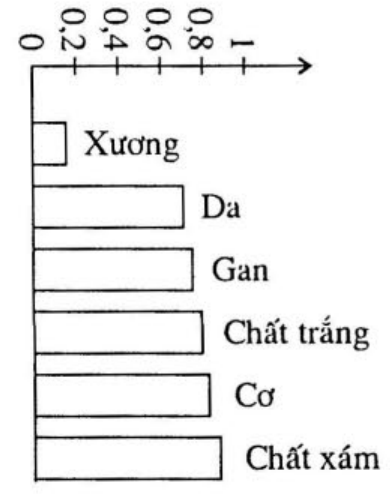
- Dùng từ trường có tiết diện lớn bao trùm vật, rồi lọc bớt các tia không song song đi tới phần máy thu tạo hình (tương tự ghi hình bằng tia γ) (hình 26.20) bằng bản lọc gồm những thanh song song, đặt cách nhau một khoảng nhỏ: tín

hiệu đi song song khoảng trống thì qua được, còn tín hiệu không song song bị chặn lại. để tránh tạo nên những ảnh phụ của các thanh song song trên máy thu tạo hình, người ta cho bản lọc này chuyển động ngang theo chiều mũi tên. Kết quả là máy thu tạo hình chỉ thu được những tia phát ra từ lớp cắt đi song song các thanh lọc, phản ánh trung thực lớp cắt.



Hình 26.20

Kỹ thuật chụp hình NMR cho phép lập "bản đồ" của một mặt cắt bất kỳ của cơ thể người. Những "bản đồ" này là cơ sở cho y sinh học và cho phép chẩn đoán sớm nhiều căn bệnh nguy hiểm. Kỹ thuật này có thể thực hiện tốt trên cơ thể người vì cơ thể người gồm rất nhiều các "nam châm" sinh học nhỏ mà nhiều nhất và nhạy nhất chính là proton, hạt nhân của nguyên tử hydro. Dựa vào tính chất từ của proton, sự phân bố của nó cũng như sự phụ thuộc của mật độ proton vào các tổ chức khác nhau (hình 26.21) hoặc vào trạng thái sinh lý chức năng của các tổ chức đó, người ta có thể dựng ảnh của một bộ phận nào đó của cơ thể sống, xác định được ranh giới giữa các tổ chức trong cơ thể, phân biệt được các tổ chức lành với tổ chức bệnh, giúp cho người bác sĩ chẩn đoán bệnh nhanh chóng, chính xác.



Hình 26.21

Ưu điểm lớn nhất của phương pháp này là ở đây hoàn toàn không sử dụng bức xạ ion hoá.

Tuy nhiên để khẳng định việc sử dụng từ trường trong phương pháp chụp hình NMR là hoàn toàn không ảnh hưởng đến cơ thể bệnh nhân cần phải nghiên cứu kỹ hơn các hệ quả có thể xảy ra.

Trong quá trình chụp hình, người bệnh chịu tác dụng của ba tác nhân: từ

trường không đổi \vec{B}_0 , từ trường biến thiên với gradient xác định và sóng tần số vô tuyến. Ta lần lượt xét ảnh hưởng của ba yếu tố này:

- Ảnh hưởng của \vec{B}_0 : mặc dù từ trường B_0 dùng trong phương pháp NMR thường lớn hơn từ trường Trái Đất cỡ 20000 lần, nhưng cho đến nay chưa có một hiệu ứng có hại nào được phát hiện. Tuy nhiên để tránh những hiệu ứng trao đổi chất có thể xảy ra, trong thực hành y học thường giới hạn từ trường B_0 ở dưới mức 2,5T. Một số nghiên cứu cho thấy sự có mặt của B_0 có thể làm thay đổi tốc độ lan truyền xung điện theo sợi thần kinh, tuy nhiên trong từ trường B_0 cỡ 2T thì dù thực nghiệm kéo dài tới 4h cũng không quan sát thấy một sự thay đổi nào.

- Ảnh hưởng của từ trường biến thiên với gradient xác định: trong quá trình chụp hình do phải thu một dãy các tín hiệu FID nên xảy ra hàng loạt những biến thiên nhanh đột ngột của từ trường dẫn đến sự xuất hiện một dòng điện cảm ứng, mật độ dòng cỡ $1\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$, dòng này có thể gây ra các hiệu ứng sinh học. Các phân tích định lượng cho thấy tốc độ biến thiên của cảm ứng từ cho phép cỡ $\frac{dB}{dt} = \frac{1\text{T}}{1\text{s}}$. Với tốc độ này dòng cảm ứng sinh ra có giá trị dưới ngưỡng kích thích thần kinh ($\approx 3\cdot 10^3\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$), ngưỡng nổ đom đóm mắt ($17\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$)... Như vậy gradient từ trường không tỏ ra là có hại đối với người bệnh. Thực tế, ngưỡng của những hiệu ứng kể trên còn phụ thuộc vào dạng hàm số biểu diễn sự biến thiên của từ trường theo thời gian. Các tín hiệu hình sin không gây ra những biến đổi đáng kể và chỉ có các tín hiệu dạng không đối xứng mới gây ra những biến đổi trong các hiệu ứng kể trên ở người bệnh.

- Ảnh hưởng của sóng tần số vô tuyến: sóng tần số cao gây tác dụng nhiệt đối với các tổ chức sống, công suất toả ra trong cơ thể người cỡ 0,7W. Trong khi đó công suất toả ra trong hoạt động chuyển hoá cơ bản cỡ 70W và hoạt động thể dục cỡ hàng trăm W. Sự phân tán nhiệt phụ thuộc nhiều tham số khác: từ trường B_0 , máy thu tín hiệu... thường ta giới hạn tác dụng nhiệt của sóng tần số vô tuyến dưới ngưỡng an toàn là 1W/kg tương ứng với sự tăng nhiệt độ cơ thể cỡ $0,1 \div 0,2^\circ\text{C}$. Nguy hiểm lớn nhất là đối với những người bệnh có trong người vật dụng kim loại như máy kích thích nhịp tim... Chức năng của máy kích thích nhịp tim có thể bị nhiễu bởi từ trường dư ở khoảng cách 8m kể từ tâm của một nam châm 5000G dọc theo trục của nó. Vì vậy phải hỏi kỹ bệnh nhân và thăm khám để tránh những hậu quả có thể xảy ra. Ngoài ra, sự có mặt của các vật kim loại khác nhau như kẹp mạch, mảnh đạn... cũng có thể gây ra những nguy hiểm đáng kể.

Tóm lại phương pháp chụp hình NMR là một phương pháp không gây nguy hiểm cho người bệnh; kết hợp với những ưu điểm trong chất lượng ảnh nhận được phương pháp này đang phát triển rất nhanh, nó cung cấp cho chúng ta những thông tin cả về mặt chức năng lẫn giải phẫu của cơ quan cần nghiên cứu.

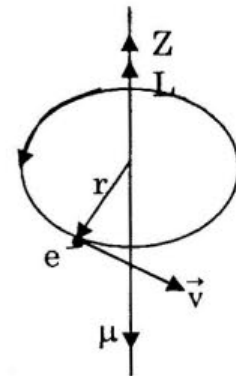
CÂU HỎI LƯỢNG GIÁ KIẾN THỨC

- Hai thỏi sắt bề ngoài giống hệt nhau. Một thỏi là nam châm, một thỏi không. Có thể phân biệt chúng bằng cách nào? Không được treo chúng lên như cái la bàn hoặc dùng các thiết bị khác.
- Làm thế nào xác định được cực của một nam châm khi chưa được đánh dấu N và S?
- Hai thỏi sắt luôn hút nhau, bất kể để các đầu nào của chúng gần nhau. Có thể kết luận một trong hai thỏi không bị từ hoá không?
- Thế nào là thuận từ, nghịch từ, từ trễ?
- Cho A và B với vị trí và hướng như hình vẽ. Giữ A cố định, cho B quay tự do điều gì sẽ xảy ra:
 - Nếu A là lưỡng cực điện, B là lưỡng cực từ.
 - Nếu A và B đều là lưỡng cực từ.
 - Nếu A và B đều là lưỡng cực điện.
- Một cái đinh đặt trên bàn gần nam châm. Nếu thả ra nó bị hút vào nam châm. Hỏi nguồn sinh ra động năng mà cái đinh có được trước khi nó đập vào nam châm.
- Có cách nào để che chắn một miền không gian khỏi ảnh hưởng của từ trường ngoài?
- Một chiếc đinh nhiễm từ thể hiện hút các đinh khác. Tại sao sau một khoảng thời gian nó lại mất từ tính (không hút đinh thứ hai).



BÀI TẬP TỰ GIẢI

- Tính momen từ quỹ đạo của electron (Manheton Bohr) biết $\mu_B = \frac{e h}{2m 2\pi} = \frac{eh}{4\pi m}$. Giả thiết electron quay trên quỹ đạo tròn.
Đáp số: $9,27 \cdot 10^{-24} \text{CJs/kg}$.
- Một điện tích q được phân bố đều quanh một cái vòng mỏng có bán kính r . Vòng quay quanh trục đi qua tâm của nó và vuông góc với mặt phẳng vòng với vận tốc góc ω .



a) Chứng minh rằng momen μ do điện tích quay là: $\mu = \frac{1}{2} \cdot q \cdot \omega \cdot r^2$.

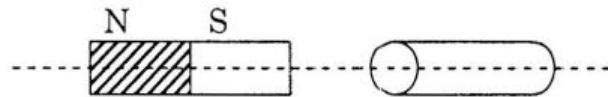
b) Hướng momen từ μ nếu các điện tích (+).

Đáp số: b) Cùng chiều với momen động lượng L.

3. Bạn hãy hình dung cuộn tờ giấy thành hình ống và đặt nó gần đầu một nam châm. Nam châm và ống dây đồng trục.

a) Dấu của từ thông qua tiết diện ống tại từng vị trí: (B.dS).

b) Điều đó có mâu thuẫn với định lý Gauss về từ trường không?



4. Chứng minh rằng nếu đơn vị lực là Newton (N), cường độ dòng điện là Ampere (A), chiều dài tính bằng mét (m) thì momen từ quỹ đạo của điện tử là $9,27 \cdot 10^{-24} \text{J/T}$ (với giá trị momen động lượng quỹ đạo nhỏ nhất cho phép khác không).

Gợi ý: Chúng ta dùng hệ thức tính lực từ

$$F = i \cdot l \cdot B \text{ và } 1\text{T} = 1\text{N/Am.}$$

5. Một chất khí thuận từ, nguyên tử của nó có momen lưỡng cực từ là $1,0\mu_B$. Khối khí được đặt vào một từ trường ngoài $1,5\text{T}$. Hãy tính và so sánh động năng trung bình của chuyển động tịnh tiến $U_T (= \frac{3}{2}kT)$ và năng lượng từ $U_B (= 2\mu \cdot B)$ ở nhiệt độ phòng ($T = 300\text{K}$).

Đáp số: $U_T = 6,2 \cdot 10^{-21} \text{J} = 0,039 \text{eV}$

$$U_B = 2,8 \cdot 10^{-23} \text{J} = 0,00017 \text{eV.}$$

PHỤ LỤC 1. BẢNG CHỮ CÁI HY LẠP

Cách viết	Cách đọc	Cách viết	Cách đọc
A α	alpha	N ν	nu
B β	beta	Ξ ξ	xi
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	Υ υ	upsilon
I ι	iota	Φ φ	phi
K κ	kappa	X χ	chi
Λ λ	labda	Ψ ψ	psi
M μ	mu	Ω ω	omega

PHỤ LỤC 2. HỆ ĐƠN VỊ QUỐC TẾ (SI)

1. NHỮNG ĐƠN VỊ CƠ BẢN CỦA SI

Đại lượng	Tên	Ký hiệu	Định nghĩa
Độ dài	met	m	"... độ dài của quãng đường mà ánh sáng đi được trong chân không trong $\frac{1}{299.792.458}$ giây". (1983)
Khối lượng	kilogram	kg	"... chuẩn gốc [một hình trụ bằng platin – iridi nào đó] được lấy làm đơn vị khối lượng từ đây về sau". (1889)
Thời gian	giây	s	"... khoảng thời gian bằng 9.192.631.770 chu kỳ của bức xạ tương ứng với dịch chuyển giữa hai mức siêu tinh tế của trạng thái cơ bản của nguyên tử Cedi 133". (1967)
Dòng điện	Ampere	A	"... dòng điện không đổi mà nếu được duy trì trong hai dây dẫn thẳng, song song, dài vô hạn, tiết diện không đáng kể, đặt cách nhau 1 mét trong chân không, sẽ gây ra trong các dây dẫn này một lực bằng 2×10^{-7} Newton trên một mét độ dài". (1946)
Nhiệt độ nhiệt động lực học	kenvin	K	"... phần $\frac{1}{273,16}$ của nhiệt độ nhiệt động lực học của điểm ba của nước". (1967)
Lượng chất	mol	mol	"... lượng của một chất của một hệ chứa cùng một lượng phần tử cơ bản bằng số nguyên tử trong 0,012 kilogam cacbon 12". (1971)
Cường độ sáng	candela	cd	"... cường độ phát sáng theo phương vuông góc của một diện tích $\frac{1}{600.000}$ mét vuông của một vật đen ở nhiệt độ đông đặc của platin dưới áp suất 101,325 Newton trên một mét vuông". (1967)

2. MỘT SỐ ĐƠN VỊ DẪN SUẤT

Đại lượng	Tên đơn vị	Kí hiệu	
Diện tích	mét vuông	m^2	
Thể tích	mét khối	m^3	
Tần số	héc	Hz	s^{-1}
Khối lượng riêng	kilôgam trên mét khối	kg/m^3	
Tốc độ, vận tốc	mét trên giây	m/s	
Vận tốc góc	radian trên giây	rad/s	
Gia tốc	mét trên giây bình phương	m/s^2	
Gia tốc góc	radian trên giây bình phương	rad/s^2	
Lực	Newton	N	$kg.m/s^2$
Áp suất	Paxcan	Pa	N/m^2
Công, năng lượng, Nhiệt lượng	Joule	J	N.m
Công suất	Watts	W	J/s
Điện lượng	Coulomb	C	A.s
Hiệu điện thế, suất điện động	Volt	V	W/A
Cường độ dòng điện	Volt trên mét (hoặc Newton trên Coulomb)	V/m	N/C
Điện trở	Ohm	Ω	V/A
Điện dung	Faraw	F	A.s/V
Từ thông	Webe	Wb	V.s
Độ tự cảm	henry	H	V.s/A
Độ cảm ứng từ	tesla	T	Wb/m ²
Cường độ từ trường	Ampere trên mét	A/m	
Entropy	Joule trên kelvin	J/K	
Nhiệt dung riêng	Joule trên kilogam kelvin	J/(kg.K)	
Độ dẫn điện	Watts trên mét kenvin	W/(m.K)	
Cường độ bức xạ	Watts trên stêradian	W/sr	

3. CÁC ĐƠN VỊ PHỤ SI

Đại lượng	Tên đơn vị	Ký hiệu	
Góc phẳng	radian	rad	
Góc đặc	stêradian	sr	

PHỤ BẢN 3. HẰNG SỐ VẬT LÝ CƠ BẢN

Hằng số	Ký hiệu	Giá trị ước tính	Giá trị tốt nhất (1986)	
			Giá trị ^(a)	Sai số ^(b)
Tốc độ ánh sáng trong chân không	c	$3,00 \times 10^{8\text{m/s}}$	2,99792458	chính xác
Điện tích nguyên tố	e	$1,60 \times 10^{-19}\text{ C}$	1,60217738	0,30
Khối lượng electron	m_e	$9,11 \times 10^{-31}\text{ kg}$	9,1093897	0,59
Khối lượng proton	m_p	$1,67 \times 10^{-27}\text{ kg}$	1,6726230	0,59
Tỷ số khối lượng proton trên khối lượng electron	m_p/m_e	1840	1836,152701	0,020
Khối lượng neutron	m_n	$1,68 \times 10^{-27}\text{ kg}$	1,6749286	0,59
Khối lượng muon	m_μ	$1,88 \times 10^{-28}\text{ kg}$	1,8835326	0,61
Khối lượng electron ^(c)	m_e	$5,49 \times 10^{-4}\text{ u}$	5,48579902	0,023
Khối lượng proton	m_p	1,0073 u	1,007276470	0,012
Khối lượng neutron	m_n	1,0087 u	1,008664704	0,014
Khối lượng nguyên tử hydro ^(c)	$m_{1\text{H}}$	1,0078 u	1,007825035	0,011
Khối lượng nguyên tử đơteri ^(c)	$m_{2\text{H}}$	2,0141 u	2,0141019	0,053
Khối lượng nguyên tử heli	$m_{4\text{He}}$	4,0026 u	4,0026032	0,067
Thương số điện tích trên khối lượng của electron	e/m_e	$1,76 \times 10^{11}\text{ C/kg}$	1,75881961	0,30
Hằng số điện	ϵ_0	$8,85 \times 10^{-12}\text{ F/m}$	8,85418781762	chính xác
Hằng số (từ) thẩm	μ_0	$1,26 \times 10^{-6}\text{ H/m}$	1,25663706143	chính xác
Hằng số Planck	h	$6,63 \times 10^{-34}\text{ Js}$	6,6260754	0,60
Bước sóng Compton của electron	λ_c	$2,43 \times 10^{-12}\text{ m}$	2,42631058	0,089
Hằng số khí lý tưởng	R	8,31 J/mol K	8,314510	8,4
Hằng số Avogadro	N_A	$6,02 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$	6,0221367	0,59
Hằng số Boltzman	k	$1,38 \times 10^{-23}\text{ J/K}$	1,380657	11
Thể tích mol của khí lý tưởng ở STP ^(d)	V_m	$2,24 \times 10^{-2}\text{ m}^3/\text{mol}$	2,241409	8,4
Hằng số Fraday	F	$9,65 \times 10^4\text{ C/mol}$	9,6485309	0,30
Hằng số Stefan – Boltzmann	σ	$5,67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2.\text{K}^4$	5,67050	34
Hằng số Rydberg	R	$1,10 \times 10^7\text{ m}^{-1}$	1,0973731534	0,0012
Hằng số hấp dẫn	G	$6,67 \times 10^{-11}\text{ m}^3/\text{s}^2.\text{kg}$	6,67260	100
Bán kính Bohr	r_B	$5,29 \times 10^{-11}\text{ m}$	5,29177249	0,045
Momen từ của electron	μ_e	$9,28 \times 10^{-24}\text{ J/T}$	9,2847700	0,34
Momen từ của proton	μ_p	$1,41 \times 10^{-26}\text{ J/T}$	1,41060761	0,34
Manheton Bohr	μ_B	$9,27 \times 10^{-24}\text{ J/T}$	9,2740154	0,34
Manheton hạt nhân	μ_N	$5,05 \times 10^{-27}\text{ J/T}$	5,0507865	0,34

a) Các giá trị ghi trong cột này phải cùng đơn vị và lũy thừa của 10 như giá trị ước tính.

b) Phần triệu.

c) Khối lượng được ghi theo đơn vị khối lượng nguyên tử (u) trong đó $1u = 1,6605402 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$.

d) STP (standard temperature and pressure) có nghĩa là nhiệt độ và áp suất tiêu chuẩn: 0°C và $1,0\text{atm}$ ($0,1\text{MPa}$).

PHỤ LỤC 4. TÍNH CHẤT CỦA CÁC NGUYÊN TỐ

Nguyên tố	Ký hiệu	Nguyên tử số Z	Khối lượng mol, gam/mol	Khối lượng riêng g/cm ³ ở 20 ⁰ C	Điểm nóng chảy (°C)	Điểm sôi (°C)	Nhiệt dung riêng J/(g ⁰ C) ở 25 ⁰ C
Actini	Ac	89	(227)	10,06	1323	(3473)	0,092
Amerixi	Am	95	(243)	13,67	1541	–	–
Antimon	Sb	51	121,75	6,691	630,5	1380	0,205
Agon	Ar	18	39,948	$1,6626 \times 10^{-3}$	– 189,4	–185,8	0,523
Asen	As	33	74,9216	5,78	817 (28atm)	613	0,331
Atatin	At	85	(210)	–	(302)	–	–
Bạc	Ag	47	107,870	10,49	960,8	2210	0,234
Bari	Ba	56	137,34	3,594	729	1640	0,205
Beckeli	Bk	97	(247)	14,79	–	–	–
Beri	Be	4	9,0122	1,848	1287	2770	1,83
Bitmut	Bi	83	208,980	9,747	271,37	1560	0,122
Bo	B	5	10,811	2,34	2030	–	1,11
Brom	Br	35	79,909	3,12 (lỏng)	– 7,2	58	0,293
Cadimi	Cd	48	112,40	8,65	321,03	765	0,226
Canxi	Ca	20	40,08	1,55	838	1440	0,624
Canifoni	Cf	98	(251)	–	–	–	–
Cacbon	C	6	12,01115	2,26	3727	4830	0,691
Chi	Pb	82	207,19	11,35	327,45	1725	0,129
Clo	Cl	17	35,453	$3,214 \times 10^{-3}$ (0 ⁰ C)	– 101	– 34,7	0,486
Crom	Cr	24	51,996	7,19	1857	2665	0,448
Coban	Co	27	58,9332	8,85	1495	2900	0,423
Curi	Cm	96	(247)	13,3	–	–	–
Disprozi	Dy	66	162,50	8,55	1409	2330	0,172
Đồng	Cu	29	63,54	8,96	1083,40	2595	0,385
Ecbi	Er	68	167,26	9,15	1522	2630	0,167
Ensteni	Es	99	(254)	–	–	–	–
Europi	Eu	63	151,96	5,243	817	1490	0,163
Fecmi	Fm	100	(237)	–	–	–	–
Flo	F	9	18,9984	$1,696 \times 10^{-3}$ (0 ⁰ C)	– 219,6	–188,2	0,753
Franxi	Fr	87	(223)	–	(27)	–	–
Gadolini	Gd	64	157,25	7,90	1312	2730	0,234
Gali	Ga	31	69,72	5,907	29,75	2237	0,377
Gemani	Ge	32	72,59	5,323	937,25	2830	0,322
Hafini	Hf	72	178,49	13,31	2227	5400	0,144

Nguyên tố	Ký hiệu	Nguyên tử số Z	Khối lượng mol, gam/mol	Khối lượng riêng g/cm ³ ở 20°C	Điểm nóng chảy (°C)	Điểm sôi (°C)	Nhiệt dung riêng J/(g°C) ở 25°C
Heli	He	2	4,0026	$0,1664 \times 10^{-3}$	-269,7	-268,9	5,23
Honmi	Ho	67	164,930	8,79	1470	2330	0,165
Hiđro	H	1	1,00797	$0,08375 \times 10^{-3}$	-259,19	-252,7	14,4
Indi	In	49	114,82	7,31	156,634	2000	0,233
Iot	I	53	126,9044	4,93	113,7	183	0,218
Iridi	Ir	77	192,2	22,5	2447	(5300)	0,130
Kali	K	19	39,102	0,862	63,20	760	0,758
Kẽm	Zn	30	65,37	7,133	419,58	906	0,389
Krypton	Kr	36	83,80	$3,488 \times 10^{-3}$	-157,37	-152	0,247
Lantan	La	57	138,91	6,189	920	3470	0,195
Lorenxi	Lr	103	(257)	-	-	-	-
Liti	Li	3	6,939	0,534	180,55	1300	3,58
Lutexi	Lu	71	174,97	9,849	1663	1930	0,155
Lưu huỳnh	S	16	32,064	2,07	119,0	444,6	0,707
Magiê	Mg	12	24,312	1,738	650	1107	1,03
Mangan	Mn	25	54,9380	7,44	1244	2150	0,481
Mendelevi	Md	101	(256)	-	-	-	-
Molipden	Mo	42	95,94	10,22	2617	5560	0,251
Natri	Na	11	22,9898	0,9712	97,85	892	1,23
Neodim	Nd	60	144,24	7,007	1016	3180	0,188
Neon	Ne	10	20,183	$0,8387 \times 10^{-3}$	-248,597	-246,0	1,03
Neptuni	Np	93	(237)	20,25	637	-	1,26
Nhôm	Al	13	26,185	2,699	660	2450	0,908
Niken	Ni	28	58,71	8,902	1453	2730	0,444
Niobi	Nb	41	92,906	8,57	2468	4927	0,264
Nitơ	N	7	14,0067	$1,1649 \times 10^{-3}$	-210	-195,8	1,03
Nobeli	No	102	(255)	-	-	-	-
Osimi	Os	76	190,2	22,59	3027	5500	0,130
Oxi	O	8	15,9994	$1,3318 \times 10^{-3}$	-218,80	-183,0	0,913
Paladi	Pd	46	106,4	12,02	1552	3980	0,243
Photpho	P	15	30,9738	1,83	44,25	280	0,741
Platin	Pt	78	195,09	21,45	1769	4530	0,134
Plutoni	Pu	94	(244)	19,8	640	3235	0,130
Poloni	Po	84	(210)	9,32	254	-	-
Prazeozim	Pr	59	140,907	6,773	931	3020	0,197
Prometi	Pm	61	(145)	7,22	(1027)	-	-

Nguyên tố	Ký hiệu	Nguyên tử số Z	Khối lượng mol, gam/mol	Khối lượng riêng g/cm ³ ở 20°C	Điểm nóng chảy (°C)	Điểm sôi (°C)	Nhiệt dung riêng J/(g°C) ở 25°C
Protactini	Pa	91	(231)	15,37 ước lượng	(1230)	–	–
Radi	Ra	88	(226)	5,0	700	–	–
Radon	Rn	86	(222)	$9,96 \times 10^{-3}$ (0°C)	(–71)	–61,8	0,092
Reni	Re	75	186,2	21,02	3180	5900	0,134
Rodi	Rh	45	102,905	12,41	1963	4500	0,243
Rubidi	Rb	37	85,47	1,532	39,49	688	0,364
Ruteni	Ru	44	101,107	12,37	2250	4900	0,239
Samari	Sm	62	150,35	7,52	1072	1630	0,197
Sắt	Fe	26	55,847	7,874	1536,5	3000	0,447
Scandi	Sc	21	44,956	2,99	1539	2730	0,569
Selen	Se	34	78,96	4079	221	685	0,318
Silic	Si	14	28,086	2,33	1412	2680	0,712
Stronti	Sr	38	87062	2,54	768	1380	0,737
Tali	Tl	81	204,37	11,85	304	1457	0,130
Tantan	Ta	73	180,948	16,6	3014	5425	0,138
Tecnexi	Tc	43	(99)	11,46	2200	–	0,209
Telu	Te	52	127,60	6,24	449,5	990	0,201
Tebi	Tb	65	158,924	8,229	1357	2530	0,180
Thiếc	Sn	50	118,69	7,2984	231,868	2270	0,226
Thori	Th	90	(232)	11,72	1755	(3850)	0,117
Thủy ngân	Hg	80	200,59	13,55 (lỏng)	–38,87	357	0,138
Titan	Ti	22	47,90	4,54	1670	3260	0,523
Tuli	Tm	69	168,934	9,32	1545	1730	0,159
Unipent ^{a)}	Unp	105	262	–	–	–	–
Uniquadi ^{b)}	Unq	104	261	–	–	–	–
Urani	U	92	(238)	18,95	1132	3818	0,117
Vanadi	V	23	50,942	6,11	1902	3400	0,490
Vàng	Au	79	196,967	19,32	1064,43	2970	0,131
Vonfam	W	74	183,85	19,3	3380	5930	0,134
Xenon	Xe	54	54	$131,30 \times 10^{-3}$	–111,79	–108	0,159
Xêri	Ce	58	140,12	6,768	804	3470	0,188
Xêsi	Cs	55	132,905	1,873	28,4	690	0,243
Ytecbi	Yb	70	173,04	6,965	824	1530	0,155
Ytri	Y	39	88,905	4,469	1526	3030	0,297
Ziriconi	Zr	40	91,22	6,506	1852	3580	0,276

PHỤ LỤC 5. KHỐI LƯỢNG RIÊNG CỦA NƯỚC CẤT THEO NHIỆT ĐỘ

t (°C)	D ₀ (g/cm ³)	t (°C)	D ₀ (g/cm ³)	t (°C)	D ₀ (g/cm ³)	t (°C)	D ₀ (g/cm ³)
-10	0,99815	8	0,99988	22	0,99780	40	0,99224
-8	0,99869	9	0,99981	23	0,99756	45	0,99024
-6	0,99912	10	0,99973	24	0,99732	50	0,98807
-4	0,99945	11	0,99963	25	0,99707	55	0,98573
-2	0,99970	12	0,99952	26	0,99681	60	0,98324
-1	0,99979	13	0,99940	27	0,99654	65	0,98059
0	0,99987	14	0,99927	28	0,99626	70	0,97781
1	0,99993	15	0,99913	29	0,99597	75	0,97489
2	0,99997	16	0,99897	30	0,99567	80	0,97183
3	0,99999	17	0,99880	31	0,99537	85	0,96865
4	1,00000	18	0,99862	32	0,99505	90	0,96534
5	0,99999	19	0,99843	33	0,99472	95	0,96192
6	0,99997	20	0,99823	34	0,99440		
7	0,99993	21	0,99802	35	0,99406		

PHỤ LỤC 6. HỆ SỐ NHỚT η_0 CỦA NƯỚC THEO NHIỆT ĐỘ

t (°C)	η_0 (N.s/m ²)	t (°C)	η_0 (N.s/m ²)	t (°C)	η_0 (N.s/m ²)
0	0,001797	21	0,000980	30	0,000788
5	0,001518	22	0,000957	40	0,000655
10	0,001307	23	0,000938	50	0,000551
15	0,001140	24	0,000915	60	0,000470
16	0,001110	25	0,000895	70	0,000407
17	0,001082	26	0,000874	80	0,000357
18	0,001055	27	0,000853	90	0,000317
19	0,001029	28	0,000832	100	0,000284
20	0,001004	29	0,000809		

PHỤ LỤC 7. HỆ SỐ SỨC CĂNG MẶT NGOÀI CỦA NƯỚC THEO NHIỆT ĐỘ

t (°C)	α_0 (N/m)	t (°C)	α_0 (N/m)	t (°C)	α_0 (N/m)
0	75,49.10 ⁻³	30	71,03.10 ⁻³	60	60,0.10 ⁻³
5	74,75.10 ⁻³	35	70,29.10 ⁻³	65	65,1.10 ⁻³
10	74,01.10 ⁻³	40	69,54.10 ⁻³	70	64,2.10 ⁻³
15	73,26.10 ⁻³	45	68,8.10 ⁻³	75	63,3.10 ⁻³
20	72,53.10 ⁻³	50	67,8.10 ⁻³	80	62,3.10 ⁻³
25	71,78.10 ⁻³	55	66,9.10 ⁻³		

PHỤ LỤC 8. HỆ SỐ CHUYỂN ĐỔI

Hệ số chuyển đổi có thể được đọc trực tiếp từ những bảng này. Ví dụ 1 độ = $2,778 \times 10^{-3}$ vòng, vậy $16,7^\circ = 16,7 \times 2,778 \times 10^{-3}$ vòng. Các đại lượng SI được viết hoa hoàn toàn. Một phần lấy từ G. Shortley và D. Williams, Elements of Physics. Prentice – Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971.

GÓC PHẪNG

°	'	''	Radian	Vòng	
1 độ	= 1	60	3600	$1,745 \times 10^{-2}$	$2,778 \times 10^{-3}$
1 phút	= $1,667 \times 10^{-2}$	1	60	$2,909 \times 10^{-4}$	$4,630 \times 10^{-5}$
1 giây	= $2,778 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1	$4,848 \times 10^{-6}$	$7,716 \times 10^{-7}$
1 RADIAN	= 57,30	3438	$2,063 \times 10^5$	1	0,1592
1 vòng	= 360	$2,16 \times 10^4$	$1,296 \times 10^6$	6,283	1

GÓC KHỐI

1 hình cầu = 4π steradian = 12,57 steradian

ĐỘ DÀI

cm	Met	km	in	ft	mi	
1 centimet	= 1	10^{-2}	10^{-5}	0,3937	$3,281 \times 10^{-2}$	$6,214 \times 10^{-6}$
1 MET	= 100	1	10^{-3}	39,37	3,281	$6,214 \times 10^{-4}$
1 kilomet	= 10^5	1000	1	$3,937 \times 10^4$	3281	0,6214
1 inch	= 2,540	$2,540 \times 10^{-2}$	$2,540 \times 10^{-5}$	1	$8,333 \times 10^{-2}$	$1,578 \times 10^{-5}$
1 fut	= 30,48	0,348	$3,048 \times 10^{-4}$	12	1	$1,894 \times 10^{-4}$
1 dặm	= $1,609 \times 10^5$	1609	1,609	$6,336 \times 10^4$	5280	1
1 angström = 10^{-10} m 1 hải lí = 1852 m = 1,151 dặm = 6076 ft	1 fermi = 10^{-15} m 1 năm ánh sáng = $9,460 \times 10^{12}$ km 1 parsec = $3,084 \times 10^{13}$ km	1 fathom = 6 ft 1 bán kính Bohr = $5,292 \times 10^{-11}$ m 1 yard = 3 ft	1 rod = 16,5 ft 1 mil = 10^{-3} in 1 nm = 10^{-9} m			

DIỆN TÍCH

Met ²	cm ²	ft ²	in ²	
1 MET vuông	= 1	10^4	10,76	1550
1 centimet vuông	= 10^{-4}	1	$1,076 \times 10^{-3}$	0,1550
1 fut vuông	= $9,290 \times 10^{-2}$	929,0	1	144
1 inch vuông	$6,452 \times 10^{-4}$	6,452	$6,944 \times 10^{-3}$	1
1 dặm vuông = $2,788 \times 10^7$ ft ² = 640 acres 1 barn = 10^{-28} m ²	1 acres = 43,560 ft ² 1 hecta = 10^4 m ² = 2,471 acres			

THỂ TÍCH

Met ³		cm ³	L	ft ³	in ³
1 MET khối	= 1	10 ⁶	1000	35,31	6,102×10 ⁻⁴
1 centimet	= 10 ⁻⁶	1	1,000×10 ⁻³	3,531×10 ⁻⁵	6,102×10 ⁻²
khối	= 1,000×10 ⁻³	1000	1	3,531×10 ⁻²	61,02
1 lít		2,832×10 ⁴	28,32	1	1728
1 fut khối	= 2,832×10 ⁻²	16,39	1,639×10 ⁻²	5,787×10 ⁻⁴	1
1 inch khối	= 1,639×10 ⁻⁵				

1 gallon chất lỏng U.S = 4 quarts chất lỏng U.S = 128 auxơ chất lỏng U.S = 231 in³.
1 gallon hoàng gia Anh = 277,4 in³ = 1,201 gallon chất lỏng U.S.

KHỐI LƯỢNG

Các đại lượng ở bên phải hoặc ở phía dưới đường chấm chấm phải là đơn vị khối lượng nhưng thường được dùng như thế. Ví dụ, khi ta viết 1 kg “ = ” 2,205 lb nghĩa là 1 kilogam là một khối lượng nặng 2,205 pound tại nơi mà g có giá trị tiêu chuẩn là 9,8065m/s².

	g	Kilogam/m ³	slug	u	oz	lb	ton
1 gam	1	0,001	6,852×10 ⁻⁵	6,022×10 ²³	3,527×10 ⁻³	2,205×10 ⁻³	1,102×10 ⁻⁶
1 kilogam	1000	1	6,852×10 ⁻²	6,022×10 ²⁶	35,27	2,205	1,102×10 ⁻³
1 slug	1,459×10 ⁴	14,59	1	8,786×10 ²⁷	514,8	32,17	1,609×10 ⁻²
1 đơn vị khối lượng nguyên tử	1,661×10 ⁻²⁴	1,661×10 ⁻²⁷	1,138×10 ⁻²⁸	1	5,857×10 ⁻²⁶	3,662×10 ⁻²⁷	1,830×10 ⁻³⁰
1 auxơ	= 28,35	2,385×10 ⁻²	1,943×10 ⁻³	1,718×10 ²⁵	1	6,250×10 ⁻²	3,125×10 ⁻⁵
1 pao	= 435,6	0,4536	3,108×10 ⁻²	2,732×10 ²⁶	16	1	0,0005
1 ton	= 9,072×10 ⁻⁵	907,2	62,16	5,463×10 ²⁹	3,2×10 ⁴	2000	1

1 tấn hệ met = 1000kg

KHỐI LƯỢNG RIÊNG

Các đại lượng ở bên phải hoặc ở phía dưới đường chấm chấm là trọng lượng riêng có khối lượng riêng, xin xem chú thích về bảng khối lượng

	Slug/ft ³	Kilogam/mét ³	g/cm ³	lb/ft ³	lb/in ⁻³
1 slug trên fut ³	= 1	515,4	0,5154	32,17	1,862×10 ⁻²
1 kilogam trên mét ³	= 1,940×10 ⁻³	1	0,001	6,243×10 ⁻²	3,613×10 ⁻⁵
1 gam trên centimet ³	= 1,940	1000	1	62,43	3,613×10 ⁻²
1 pao trên fut ³	= 3,108×10 ⁻²	16,02	1,602×10 ⁻²	1	5,787×10 ⁻⁴
1 pao trên inch ³	= 53,71	2,768×10 ⁴	27,68	1728	1

THỜI GIAN

	năm	ngày	giờ	phút	giây
1 năm	= 1	365,25	$8,766 \times 10^3$	$5,259 \times 10^5$	$3,156 \times 10^7$
1 ngày	= $2,738 \times 10^{-3}$	1	24	1440	$8,640 \times 10^4$
1 giờ	= $1,141 \times 10^{-4}$	$4,167 \times 10^{-2}$	1	60	3600
1 phút	= $1,901 \times 10^{-6}$	$6,944 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1	60
1 giây	= $3,169 \times 10^{-8}$	$1,157 \times 10^{-5}$	$2,778 \times 10^{-4}$	$1,667 \times 10^{-2}$	1

VẬN TỐC

	ft/s	km/h	Mét/giây	mi/h	cm/s
1 fut trên giây	= 1	1,097	0,3048	0,6818	30,48
1 kilomet trên giờ	= 0,9113	1	0,2778	0,6214	27,78
1 met trên giây	= 3,281	3,6	1	2,237	100
1 mile trên giờ	= 1,467	1,609	0,4470	1	44,70
1 centimet trên giây	= $3,281 \times 10^{-2}$	$3,6 \times 10^{-2}$	0,01	$2,237 \times 10^{-2}$	1

LỰC

Các đơn vị lực ở bên phải hoặc phía dưới đường chấm chấm hiện nay ít dùng. Để làm sáng tỏ: 1 gam lực (1gl) là trọng lực tác dụng lên một vật có khối lượng 1 gam tại địa điểm mà g có giá trị tiêu chuẩn là $9,80665 \text{m/s}^2$

	Dyn	Newton	lb	pdl	glực	kglực
1dyne	= 1	10^{-5}	$2,248 \times 10^{-6}$	$7,233 \times 10^{-5}$	$1,020 \times 10^{-3}$	$1,020 \times 10^{-6}$
1Niuton	= 10^5	1	0,2248	7,233	102,0	0,1020
1pao	= $4,448 \times 10^5$	4,448	1	32,17	453,6	0,4536
1paodal	= $1,383 \times 10^4$	0,1383	$3,108 \times 10^{-2}$	1	14,10	$1,410 \times 10^{-2}$
1gram lực	= 980,7	$9,807 \times 10^{-3}$	$2,205 \times 10^{-3}$	$7,093 \times 10^{-2}$	1	0,001
1kilogram lực	= $9,807 \times 10^5$	9,807	2,205	70,93	1000	1

ÁP SUẤT

	atm	dyn/cm ²	Inch of water	cm Hg	Paxcan	1b/in ²	1b/ft ²
1atmôphe	= 1	1,013×10 ⁵	406,8	76	1,013×10 ⁵	14,70	2116
1dyn trên centimet ²	= 9,869×10 ⁻⁷	1	4,015×10 ⁴	7,501×10 ⁻⁵	0,1	1,405×10 ⁻⁵	2,089×10 ⁻³
1inch nước ở 4°C	= 2,458×10 ⁻³	2491	1	0,1868	249,1	3,613×10 ⁻²	5,202
1centimet thủy ngân ở 0°C ^{a)}	= 1,316×10 ⁻²	1,333×10 ⁴	5,353	1	1333	0,1934	27,85
1paxcan	= 9,869×10 ⁻⁶	10	4,015×10 ⁻³	7,501×10 ⁻⁴	1	1,450×10 ⁻⁴	2,089×10 ⁻²
1pao trên inch ²	= 6,805×10 ⁻²	6,895×10 ⁴	27,68	5,171	6,895×10 ³	1	144
1pao trên fút ²	= 4,725×10 ⁻⁴	478,8	0,1922	3,591×10 ⁻²	47,88	6,944×10 ⁻³	1

a) Tại nơi mà gia tốc trọng trường có giá trị tiêu chuẩn là 9,80665m/s²

1bar = 10⁶ dyn/cm² = 0,1 Mpa, 1millibar = 10³dyn/cm² = 10²Pa, 1tor = 1mmHg

NĂNG LƯỢNG, CÔNG, NHIỆT

Những đại lượng bên phải hoặc bên dưới đường chấm chấm không thực sự là đơn vị năng lượng nhưng đưa vào cho tiện. Chúng phát sinh từ công thức tương đương – khối lượng năng lượng tương đối tính $E = mc^2$ và biểu diễn năng lượng toả ra nếu 1 kg hoặc 1 đơn vị khối lượng nguyên tử hợp nhất (u) hoàn toàn chuyển thành năng lượng (hai hàng cuối) hoặc khối lượng được chuyển hoàn toàn thành 1 đơn vị năng lượng (hai cột cuối bên phải)

	Btu	erg	ft.1b	hp.h	jun	cal	kw.h	eV	MeV	kg	u
1British thermal unit (đ.vị nhiệt của Anh)	1	1,055 ×10 ¹⁰	777,9	3,929 ×10 ⁻⁴	1055	252,0	2,930 ×10 ⁻⁴	6,585 ×10 ²¹	6,585 ×10 ¹⁵	1,174 ×10 ⁻¹⁴	7,070 ×10 ¹²
1erg	9,481 ×10 ⁻¹¹	1	7,376 ×10 ⁻⁸	3,725 ×10 ⁻¹⁴	10 ⁻⁷	2,389 ×10 ⁻⁸	2,778 ×10 ⁻¹⁴	6,242 ×10 ¹¹	6,242 ×10 ⁵	1,113 ×10 ⁻²⁴	670,2
1foot – pound	1,285 ×10 ⁻³	1,356 ×10 ⁷	1	5,051 ×10 ⁻⁷	1,356	0,3238	3,766 ×10 ⁻⁷	8,464 ×10 ¹⁸	8,646 ×10 ¹²	1,509 ×10 ⁻⁷	9,037 ×10 ⁹
1mã lực – giờ	2545	2,685 ×10 ¹³	1,980 ×10 ⁶	1	2,685 ×10 ⁶	6,413 ×10 ⁵	0,7457	1,676 ×10 ²⁵	1,676 ×10 ¹⁹	2,988 ×10 ⁻¹¹	1,799 ×10 ¹⁶

1Joule	9,481 $\times 10^{-4}$	10^7	0,7376	3,725 $\times 10^{-7}$	1	0,2389	2,778 $\times 10^{-7}$	6,242 $\times 10^{18}$	6,242 $\times 10^{12}$	1,113 $\times 10^{-17}$	6,702 $\times 10^9$
1calo	3,969 $\times 10^{-3}$	4,186 $\times 10^7$	3,088	1,506 $\times 10^{-6}$	4,186	1	1,163 $\times 10^{-6}$	2,613 $\times 10^{19}$	2,613 $\times 10^{13}$	4,660 $\times 10^{-17}$	2,806 $\times 10^{10}$
1kilo Watts – giờ	3413	3,600 $\times 10^{13}$	2,655 $\times 10^6$	1,341	3,600 $\times 10^6$	8,600 $\times 10^5$	1	2,247 $\times 10^{25}$	2,247 $\times 10^{19}$	4,007 $\times 10^{-11}$	2,413 $\times 10^{16}$
1electron – Volt	1,519 $\times 10^{-22}$	1,602 $\times 10^{-12}$	1,182 $\times 10^{-19}$	5,967 $\times 10^{-26}$	1,602 $\times 10^{-19}$	3,827 $\times 10^{-20}$	4,450 $\times 10^{-25}$	1	10^{-6}	1,783 $\times 10^{-36}$	1,074 $\times 10^{-9}$
1mêga electron – Volt	1,519 $\times 10^{-16}$	1,602 $\times 10^{-6}$	1,182 $\times 10^{-13}$	5,967 $\times 10^{-20}$	1,602 $\times 10^{-13}$	3,287 $\times 10^{-14}$	4,450 $\times 10^{-20}$	10^{-6}	1	1,783 $\times 10^{-30}$	1,074 $\times 10^{-3}$
1kilogram	8,521 $\times 10^{13}$	8,987 $\times 10^{23}$	6,629 $\times 10^{16}$	3,348 $\times 10^{10}$	8,987 $\times 10^{16}$	2,146 $\times 10^{16}$	2,497 $\times 10^{10}$	5,610 $\times 10^{35}$	5,610 $\times 10^{29}$	1	6,022 $\times 10^{26}$
1đơn vị khối lượng nguyên tử hợp nhất	1,415 $\times 10^{-13}$	1,492 $\times 10^{-3}$	1,101 $\times 10^{-10}$	5,559 $\times 10^{-17}$	1,492 $\times 10^{-10}$	3,564 $\times 10^{-11}$	4,416 $\times 10^{-17}$	9,320 $\times 10^8$	932,0	1,661 $\times 10^{-27}$	1

CÔNG SUẤT

	Btu/h	ft.lb/s	hp	cal/s	kW	OAT
1 đơn vị nhiệt của Anh trên giờ	= 1	0,2161	$3,929 \times 10^{-4}$	$6,998 \times 10^{-2}$	$2,930 \times 10^{-4}$	0,2930
1 foot – pound trên giây	= 4,268	1	$1,818 \times 10^{-3}$	1,3239	$1,356 \times 10^{-3}$	1,356
1mã lực	= 2545	550	1	178,1	0,7457	745,7
1 calo trên giây	= 14,29	3,088	$5,615 \times 10^{-3}$	1	$4,186 \times 10^{-3}$	4,186
1kilowatts	= 3413	737,6	1,341	238,9	1	1000
1 watts	= 3,413	0,7376	$1,341 \times 10^{-3}$	0,2389	0,001	1

TỪ THÔNG

	Maxwell	Vebe
1 Maxwell	= 1	10^{-8}
1 Vebe	= 10^8	1

TỪ TRƯỜNG

	Gauss	Tesla	miliGauss
1 Gauss	= 1	10^{-4}	1000
1 tesla	= 10^4	1	10^7
1 miliGauss	= 0,001	10^{-7}	1

$$1 \text{tesla} = 1 \text{Vebe/m}^2$$

PHỤ LỤC 9. HỆ SỐ NHỚT CỦA GLYCERIN Ở CÁC NHIỆT ĐỘ KHÁC NHAU

(ở áp suất 760mmHg)

Nồng độ phần trăm	$\eta \cdot 10^2 \text{gcm}^{-1} \text{s}^{-1} *$			Nồng độ phần trăm	$\eta \cdot 10^2 \text{gcm}^{-1} \text{s}^{-1} *$		
	20°C	25°C	30°C		20°C	25°C	30°C
100	1495,0	942,0	622,0	95	543,5	365,0	248,0
99	1194,0	772,0	509,0	80	61,8	45,72	34,81
98	971,0	627,0	423,0	50	6,032	5,204	4,233
97	802,0	521,5	353,0	25	2,089	1,804	1,586
96	659,0	434,0	295,8	10	1,307	1,149	1,021

$$* . 1 \text{gcm}^{-1} \text{s}^{-1} = 1 \text{poiseuille} = 10^{-1} \text{Nsm}^{-2}$$

TÀI LIỆU THAM KHẢO CHÍNH

- [1]. *Bài giảng vật lý đại cương*, chương trình 3, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội, 1994.
- [2]. *Giáo trình vật lý đại cương*, Bộ môn Vật lý – Toán, Đại học Dược Hà Nội, 2000.
- [3]. *Vật lý đại cương*, Lương Duyên Bình chủ biên, Nhà xuất bản Giáo dục, 1998.
- [4]. *Lý sinh Y học*, Đại học Y Hà Nội, Nhà xuất bản Y học, 1998.
- [5]. *Fundamentals of physics*, David Halliday etall., Fourth edition, John Wiley & Sons, Inc., New York.