TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG

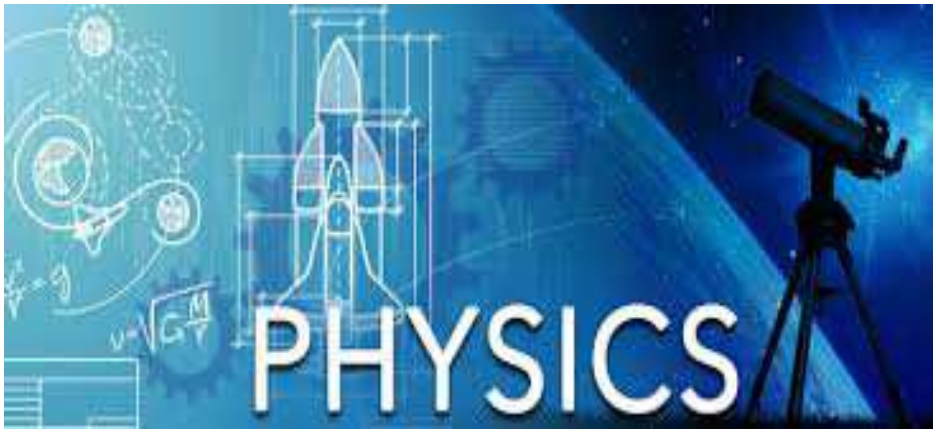
Khoa Điện-Điện tử

BỘ MÔN VẬT LÝ

Phan Văn Tiến, Phan Nhật Nguyên, Lê Văn Hảo

BÀI GIẢNG
VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG

TẬP II: ĐIỆN TỪ – QUANG – LƯỢNG TỬ



NHA TRANG, THÁNG 7 NĂM 2017

MỤC LỤC

CHƯƠNG 8: TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN 4
I. Các khái niệm mở đầu 4
II. Định luật Coulomb về tương tác tĩnh điện 6
III. Trường tĩnh điện 7
IV. Định lí Ostrogradsky – Gauss (O – G) của điện trường 14
V. Điện thế 22
VI. Năng lượng điện của hệ điện tích điểm 27
VII. Vật dẫn 28
VIII. Năng lượng điện trường 30
IX. Hiện tượng điện hưởng 31
X. Hiện tượng phân cực điện môi 32
XI. Hiện tượng áp điện 33
XII. Chất bán dẫn 34
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 8 37
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 8 40

CHƯƠNG 9: TỪ TRƯỜNG 44
I. Dòng điện 44
II. Định luật Biot – Savart – Laplace 46
III. Định lí Ostrogradsky – Gauss (O – G) của từ trường 54
IV. Định lí Ampere 57
V. Định luật Ampere về tương tác từ 58
VI. Vật liệu từ 62
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 9 64
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 9 67

CHƯƠNG 10: TRƯỜNG ĐIỆN TỪ 70
I. Hiện tượng cảm ứng điện từ 70
II. Luận điểm thứ nhất của Maxwell 78
III. Luận điểm thứ hai của Maxwell 79
IV. Trường điện từ 81
V. Sóng điện từ 84
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 10 87
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 10 89

CHƯƠNG 11: QUANG HỌC SÓNG 92
I. Bản chất sóng điện từ của ánh sáng 92
II. Nguồn kết hợp 92
III. Giao thoa ánh sáng gây bởi hai nguồn kết hợp 93
IV. Khảo sát hiện tượng giao thoa gây bởi khe Young 95
V. Hiện tượng giao thoa gây bởi gương Lloyd. 96
VI. Giao thoa gây bởi bản mỏng có bề dày thay đổi - Nêm không khí 97
VII. Nguyên lý Huyhgen – Fresnel 98
VIII. Nhiễu xạ qua một lỗ tròn gây bởi nguồn điểm ở gần 101
IX. Nhiễu xạ qua một đĩa tròn 103
X. Nhiễu xạ qua một khe hẹp gây bởi chùm tia đơn sắc song song 103
XI. Nhiễu xạ qua cách tử 105
XII. Ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực 107
XIII. Sự phân cực do lưỡng chiết 108
XIV. Sự phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ 109
XV. Sự quay mặt phẳng phân cực 110

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 11 114
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 11 115
CHƯƠNG 12: LÍ THUYẾT LƯỢNG TỬ - CƠ HỌC LƯỢNG TỬ 117
I. Bức xạ nhiệt 117
II. Thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein 121
III. Lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng 125
IV. Lưỡng tính sóng hạt của vi hạt 127
V. Nguyên lí bất định Heisenberg 128
VI. Phương trình Schrodinger 128
VII. Hạt trong giếng thế 129
VIII. Nguyên tử Hydro 131
IX. Mômen động lượng toàn phần 139
X. Laser 142
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 12 145
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 12 150
ĐÁP ÁN CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM 152
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 8 152
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 9 152
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 10 152
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 11 152
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 12 152
TÀI LIỆU THAM KHẢO 153

CHƯƠNG 8: TRƯỜNG TĨNH ĐIỆN

I. Các khái niệm mở đầu

I.1 Điện tích nguyên tố

Mọi vật đều được cấu tạo từ nguyên tử, đến lượt nguyên tử được cấu tạo từ ba hạt cơ bản:

a/ Hạt electron (e^-):

- Có khối lượng: $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg
- Có điện tích: $e = -1{,}6 .10^{-19}$ C

b/ Hạt proton (p):

- Có khối lượng: $m_p = 1{,}67.10^{-27}$ kg
- Có điện tích: $Q_p = 1{,}6 .10^{-19}$ C

c/ Hạt neutron (n):

- Có khối lượng: $m_n = 1{,}68.10^{-27}$ kg
- Có điện tích: $Q_n = 0$

Bình thường trong một nguyên tử số hạt electron (N_e) và số hạt proton (N_p) bằng nhau.

Trên một vật nếu $N_e > N_p$: vật mang điện tích âm (-)

Trên một vật nếu $N_e < N_p$: vật mang điện tích dương (+)

Giá trị điện tích của một vật mang điện được xác định bằng:

$$Q = n e_o \qquad (8\text{-}1)$$

Trong đó n = 1 , 2 ,3 ,4 ….. ; $e_o = 1{,}6 .10^{-19}$ C là điện tích nguyên tố.

Câu hỏi:

Trong một bài tập người ta cho điện tích điểm $q = 3.10^{-9}$ C. Sinh viên hãy phân tích trong tự nhiên có tồn tại điện tích có giá trị này không? Giải thích.

I.2. Điện tích điểm

Nếu kích thước của vật mang điện nhỏ không đáng kể, so với khoảng cách từ nó đến điểm khảo sát hay so với kích thước của vật mang điện khác, thì vật mang điện đó được biểu diễn bằng khái miệm điện tích điểm.

Từ thực nghiệm cho thấy: hai điện tích cùng dấu đẩy nhau, hai điện tích trái dấu hút nhau.

Sự nhiễm điện và tương tác tĩnh điện được ứng dụng để tạo ra: máy Photocopy, máy in LASER…

Tham khảo (đọc thêm)

1/ Máy in LASER

Bộ phận rất quan trọng của máy in LASER là một hình trụ bằng kim loại nhẹ, bên ngoài có phủ một lớp vật liệu đặc biệt gọi là quang dẫn. Hình trụ này được gọi đơn giản là cái trống. Trống quay chung quanh trục theo chiều kim đồng hồ và được đặt vào nơi tối, tức bên trong vỏ kín của máy in.

Các bước hoạt động của máy in LASER như sau:

1. *Dây điện thế cao (kỹ thuật Corona) làm cho mặt trống ở dưới dây tích* ***điện dương.***
2. *Khi mặt trống tích điện dương quay đến chỗ có tia sáng LASER chiếu vào, nhờ máy tính điều khiển tia LASER sẽ viết, vẽ từng hàng lên mặt trống, tạo ảnh ẩn mang* ***điện tích âm.***
3. *Mặt trống quay đến chỗ có ru-lô mang các hạt mực điện tích dương. Vì ảnh ẩn mang* ***điện tích âm*** *nên sẽ hút các hạt mực mang* ***điện tích dương****, ảnh ẩn trên trống trở thành ảnh có các hạt mực* ***điện tích dương****.*
4. *Giấy ở khay sau khi tích điện âm chạy qua áp vào mặt trống. Các hạt mực ở trống bị hút lên giấy.*
5. *Giấy được đưa qua chỗ sởi nóng, ép các hạt mực nóng chảy, dính chặt vào giấy. Sau đó giấy được đưa ra ngoài.*
6. *Mặt trống được đưa đến chỗ đèn chiếu sáng, xóa hết điện tích trên mặt trống. Mặt trống chuẩn bị để chạy qua dây điện thế cao, tích điện dương cho mặt trống, tiếp tục quá trình.*

2/ Máy photocopy

Bộ phận rất quan trọng của máy photocopy là một hình trụ bằng kim loại nhẹ, bên ngoài có phủ một lớp vật liệu đặc biệt gọi là quang dẫn. Hình trụ này được gọi đơn giản là cái trống.

Trống quay chung quanh trục theo chiều kim đồng hồ và được đặt vào nơi tối, tức bên trong vỏ kín của máy photocopy.

Các bước quá trình photocopy một trang giấy như sau:

1. *Dây điện thế cao (kỹ thuật Corona) làm cho mặt trống tích* ***điện dương.***
2. *Một đèn chiếu ánh sáng đến tờ giấy có chữ, hình cần sao chụp. Ta gọi tờ giấy này là bản gốc. Ánh sáng chiếu vào bản gốc phản xạ và đi qua thấu kính tạo ra trên mặt trống ảnh rõ nét của chữ và hình của bản gốc.Trên mặt trống chỗ có chữ và hình là chỗ không có ánh sáng (tối), chỗ không có chữ và hình là chỗ có ánh sáng (sáng).*
3. *Trên mặt trống chỗ có ánh sáng sẽ trở nên trung hòa (không mang điện), chỗ có chữ và hình (tối) mang* ***điện tích dương.*** *Trên mặt trống có ảnh ẩn điện dương của bản gốc.*
4. *Cho mực in đã tích* ***điện âm*** *lăn qua trống. Do tương tác tĩnh điện ảnh ẩn trên trống đã trở thành ảnh thực của mực in tích* ***điện âm.***
5. *Tờ giấy trắng dùng để sao chụp được đưa qua dây điện thế cao, làm cho tờ giấy nhiễm* ***điện dương.***

6. *Tờ giấy được đẩy áp sát vào mặt trống. Do tờ giấy tích điện dương hút các hạt mực tích điện âm mạnh hơn ảnh ẩn tích điện dương trên trống hút hạt mực. Trên giấy có các hình chữ bằng các hạt mực.*
7. *Giấy được đưa qua chỗ sởi nóng, làm cho các hạt mực nóng chảy, dính chặt vào giấy. Sau đó giấy được đưa ra ngoài.*

II. Định luật Coulomb về tương tác tĩnh điện

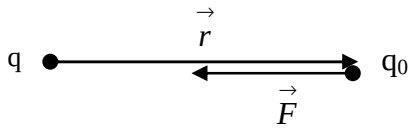
II.1. Định luật Coulomb trong chân không

Hai điện tích điểm có điện tích q và q_o cách nhau một khoảng r trong chân không. Điện tích q tác dụng lên điện tích q_o một lực tĩnh điện $\vec{F}$, ngược lại q_o cũng tác dụng lên q một lực tĩnh điện $\vec{F}'$. Hai lực $\vec{F}$ và $\vec{F}'$ cùng phương ngược chiều và cùng độ lớn:

$$F = F' = k\frac{|q|.|q_o|}{r^2} \qquad (8\text{-}2)$$

Với k là hằng số được xác định bằng thực nghiệm:

$$k = 9.10^9\ Nm^2/C^2 \qquad (8\text{-}2a)$$



H.8.1

Có thể viết: $\vec{F} = k\frac{q\,q_o}{r^3}\vec{r}$ (8-3)

Với $\vec{F}$ là lực tĩnh điện của q tác dụng lên q_o và $\vec{r}$ là véctơ có gốc tại q và ngọn tại q_o.

II.2. Định luật Coulomb trong môi trường

Thực nghiệm cho thấy lực tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm q và q_o đặt trong môi trường nhỏ hơn trong chân không ε lần.

Vậy ta có định luật Coulomb trong môi trường:

$$\vec{F} = \frac{k}{\varepsilon}\frac{q\,q_o}{r^3}\vec{r}$$

Để hợp lí hoá người ta đặt: $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9.10^9\ Nm^2/C^2$

Suy ra: $\varepsilon_o = 8{,}86 .10^{-12}\ C^2/N.m^2$ được gọi là hằng số điện.

Vậy ta có biểu thức định luật Coulomb trong môi trường:

$$\vec{F} = \frac{q\,q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\,r^3}\vec{r} \qquad (8\text{-}4)$$

Trong đó ε là hằng số điện môi, đặc trưng cho tính chất điện của môi trường, không đơn vị.

Trong chân không: ε = 1

Trong không khí: ε = 1,0006

Trong nước: $\varepsilon = 81$

Tương tác tĩnh điện tuân theo định luật Newton thứ ba.

Tương tác tĩnh điện là một trong bốn tương tác cơ bản trong tự nhiên. Nó tạo ra liên kết trong nguyên tử và phân tử.

Phân tích:

Ở trên ta diễn đạt điện tích điểm q tác dụng lên điện tích điểm q_o một lực $\vec{F}$ và ngược lại q_o tác dụng lên q một lực $\vec{F}'$. Cách diễn đạt như vậy là nói đơn giản theo thói quen và không đúng với bản chất vật lý của sự tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm q và q_o. Bản chất vật lý của sự tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm q và q_o như sau:

- Điện tích điểm q gây ra chung quanh nó một điện trường, chính điện trường của q mới tác dụng lên q_o một lực tĩnh điện $\vec{F}$
- Điện tích điểm q_o gây ra chung quanh nó một điện trường, chính điện trường của q_o mới tác dụng lên q một lực tĩnh điện $\vec{F}'$
- Các điện tích tương tác với nhau thông qua điện trường của nó

<u>Bài tập 8.1</u>: Nguyên tử Hydro (H) được cấu tạo bởi hai hạt: hạt nhân là hạt proton (p) có khối lượng: $m_p = 1{,}672.10^{-27}$ kg và điện tích: $q = 1{,}6 .10^{-19}$ C, hạt electron có khối lượng: $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg và điện tích: $e = -1{,}6 .10^{-19}$ C. Hai hạt proton và electron cách nhau một khoảng $r = 0{,}53.10^{-10}$ m.

a) Hãy tính lực tương tác hấp dẫn giữa hai hạt proton và hạt electron

b) Hãy tính lực tương tác tĩnh điện giữa hai hạt proton và electron

Phương pháp giải:

a/ Tính lực tương tác hấp dẫn giữa hai hạt proton và hạt electron

$$F_h = G\frac{m_p m_e}{r^2} = 6,67.10^{-11}\frac{1,672.10^{-27}.9,1.10^{-31}}{(0,53)^2.10^{-20}} = 3,6.10^{-47}\ \text{N}$$

b/ Tính lực tương tác tĩnh điện giữa hai hạt proton và electron

$$F_e = k\frac{|q|.|e|}{r^2} = 9.10^9\frac{1,6.10^{-19}.1,6.10^{-19}}{(0,53)^2.10^{-20}} = 8,2.10^{-8}\ \text{N}$$

Vậy lực tương tác tĩnh điện giữa hai hạt p và e^- trong nguyên tử H lớn hơn lực tương tác hấp dẫn giữa chúng: $2{,}3 .10^{39}$ lần

III. Trường tĩnh điện

III.1. Khái niệm trường tĩnh điện

Các vật thể có điện tích đều gây ra trong không gian chung quanh nó một trường tĩnh điện. Trường tĩnh điện là một dạng vật chất lan truyền trong không gian bằng vận tốc của ánh sáng. Tương tác tĩnh điện giữa các điện tích được thực hiện thông qua trường tĩnh điện của chúng. Tính chất cơ bản của trường tĩnh điện là tác dụng lên điện tích đặt trong trường một lực tĩnh điện.

III.2. Véctơ cường độ điện trường.

III.2.1. Định nghĩa:

Véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$, được định nghĩa:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o} \qquad (8\text{-}5)$$

Nếu q_o = 1C thì $\vec{E} = \vec{F}$

Vậy véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ chính bằng lực tĩnh điện $\vec{F}$ của điện trường tác dụng lên một đơn vị điện tích dương.

Nếu biết véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$, ta hoàn toàn xác định được lực tĩnh điện $\vec{F}$:

$$\vec{F} = q\vec{E} \qquad (8\text{-}6)$$

III.2.2. Véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của điện trường do một điện tích điểm q gây ra.

Theo (8-4) và (8-6) ta có:

$$\vec{F} = \frac{q\,q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^3}\vec{r} = q_o\vec{E}$$

Suy ra véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^3}\vec{r} \qquad (8\text{-}7)$$

Nếu q > 0 : $\vec{E}$ hướng ra xa điện tích: q →

Nếu q < 0 : $\vec{E}$ hướng vào điện tích: q ←

Độ lớn của véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ được gọi là cường độ điện trường E.

Ta có cường độ điện trường tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^2} \qquad (8\text{-}8)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của cường độ điện trường E là V/m.

Câu hỏi:

Cường độ điện trường E tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q phụ thuộc vào các yếu tố nào?

III.2.3. Véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của hệ điện tích điểm

Dễ dàng chứng minh được véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tại một điểm trong điện trường của một hệ điện tích điểm, được xác định:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i \qquad (8\text{-}9)$$

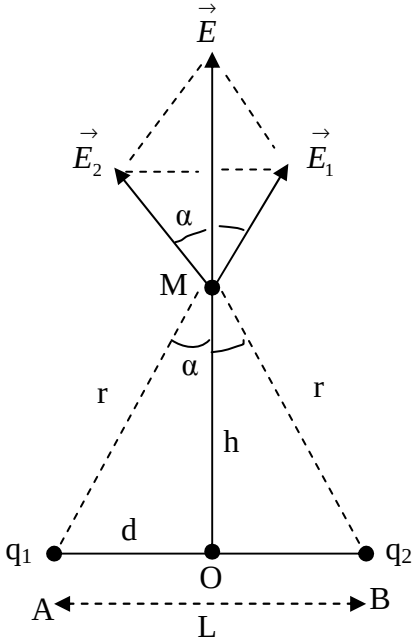
Trong đó $\vec{E}_i$ là véctơ cường độ điện trường gây ra bởi điện tích điểm thứ i (q_i)

<u>Bài tập 8.2</u>: Điện tích điểm $q_1 = 10^{-9}$ C đặt tại vị trí A và điện tích điểm $q_2 = q_1 = 10^{-9}$ C đặt tại vị trí B, với AB = L = 2 m, trong chân không.

1) Tính cường độ điện trường E tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h = 1 m.
2) Tính cường độ điện trường E tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h >> L
3) Tìm giá trị của h tại vị trí cường độ điện trường E cực đại.

Phương pháp giải:

1/ Tính cường độ điện trường E tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h = 1 m.



Điện tích điểm q_1 gây ra tại điểm M véctơ cường độ điện trường $\vec{E}_1$

Điện tích điểm q_2 gây ra tại điểm M véctơ cường độ điện trường $\vec{E}_2$

Điện tích điểm q_1 và q_2 gây ra tại điểm M véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \qquad (1)$$

Vì $q_1 = q_2 = q = 10^{-9}$ C và $r_1 = r_2 = r$ nên ta có:

$$E_1 = E_2 = k\frac{q_1}{r_1^2} = k\frac{q_2}{r_2^2} = k\frac{q}{r^2} \qquad (2)$$

Vì $E_1 = E_2$ nên véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ có phương nằm trên đường trung trực AB.

Chiếu biểu thức (1) lên phương chiều của véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$. Ta được:

$$E = E_1 \cos\alpha + E_2 \cos\alpha = 2E_1 \cos\alpha \qquad (3)$$

Từ hình vẽ ta có:

$$\cos\alpha = \frac{h}{r} \qquad (4)$$

Thế (2) và (4) vào (3), ta được:

$$E = k\frac{2q}{r^3}h \qquad (5)$$

Từ hình vẽ ta có:

$$r = \sqrt{h^2 + d^2} = (h^2 + d^2)^{\frac{1}{2}} \qquad (6)$$

Thế (6) vào (5) ta được cường độ điện trường E do hai điện tích điểm q_1 và q_2 gây ra tại điểm M.

$$E = k\frac{2q}{(h^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}h \qquad (7)$$

Với: $d = \frac{L}{2} = \frac{2}{2} = 1\ m$

$$E = k\frac{2q}{(h^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}h = 9.10^9 \frac{2.10^{-9}}{(1^2 + 1^2)^{\frac{3}{2}}}.1 = 6,36\ V/m$$

2/ Tính cường độ điện trường E do q_1 và q_2 gây ra tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h >> L

Theo biểu thức (7) ta có cường độ điện trường tại điểm M:

$$E = k\frac{2q}{(h^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}h \qquad (a)$$

Nếu h >> L thì $h^2 + d^2 \approx h^2$

Vậy nếu h >> L cường độ điện trường E tại điểm M:

$$E = k\frac{2q}{(h^2 + d^2)^{\frac{3}{2}}}h = k\frac{2q}{(h^2)^{\frac{3}{2}}}h = k\frac{2q}{h^2}$$

$$E = k\frac{2q}{h^2} \qquad (b)$$

Phân tích: Khi h >> L có nghĩa kích thước L của hệ điện tích điểm q_1 và q_2 rất nhỏ so với khoảng cách h. Khi đó hệ hai điện tích điểm q_1 và q_2 là một điện tích điểm có điện tích bằng 2q. Áp dụng công thức (8-8) ta cũng dẫn ra được biểu thức (b).

3/ Tìm giá trị của h tại vị trí cường độ điện trường E cực đại.

Theo biểu thức (7) ta có cường độ điện trường tại điểm M:

$$E = k\frac{2q}{(h^2+d^2)^{\frac{3}{2}}}h$$

Ta thấy E là hàm của h. Khi h = 0 thì E = 0. Khi h → ∞ thì E → 0. Như vậy khi h biến thiên từ 0 đến ∞ thì cường độ điện trường E có một giá trị cực đại E_{max}

Ta đặt: u = 2kh và $v = (h^2+d^2)^{\frac{3}{2}}$

Vậy: $E = \frac{u}{v}$

Đạo hàm E theo h:

$$\frac{dE}{dh} = \frac{u'v - uv'}{v^2}$$

Với: $u' = \frac{du}{dh} = 2kq$ và $v' = \frac{3}{2}.2h(h^2+d^2)^{\frac{1}{2}} = 3h(h^2+d^2)^{\frac{1}{2}}$

Suy ra:

$$\frac{dE}{dh} = \frac{u'v - uv'}{v^2} = \frac{2kq(h^2+d^2)^{\frac{3}{2}} - 2kqh.3h(h^2+d^2)^{\frac{1}{2}}}{(h^2+d^2)^3}$$

Tại vị trí h_m cường độ điện trường cực đại E_{max} thì:

$$\frac{dE}{dh} = \frac{u'v - uv'}{v^2} = \frac{2kq(h_m^2+d^2)^{\frac{3}{2}} - 2kqh_m.3h_m(h_m^2+d^2)^{\frac{1}{2}}}{(h_m^2+d^2)^3} = 0$$

Suy ra: $(h_m^2+d^2)^{\frac{3}{2}} = 3h_m^2(h_m^2+d^2)^{\frac{1}{2}}$

Hay: $h_m = \frac{d}{\sqrt{2}} = \frac{L}{2\sqrt{2}}$

$$h_m = \frac{d}{\sqrt{2}} = \frac{L}{2\sqrt{2}} = \frac{2}{2\sqrt{2}} = 0,7\ m$$

<u>Bài tập 8.3</u>:

Điện tích điểm $q_1 = q_o = 10^{-9}$ C đặt tại vị trí A và điện tích điểm $q_2 = -q_o = -10^{-9}$ C đặt tại vị trí B, với AB = L = 2 m, trong chân không .

Tính cường độ điện trường E do q_1 và q_2 gây ra tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h = 2 m.

Đáp số: $E = k\frac{2q.d}{(h^2+d^2)^{\frac{3}{2}}}$ = 1,6 V/m

III.2.4. Véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tại một điểm trong điện trường của một điện tích bất kì

Để xác định véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của điện trường do một điện tích bất kì Q gây ra tại một điểm M. Người ta chia điện tích Q thành những điện tích rất nhỏ dq, sao cho đối với điểm M dq được xem là điện tích điểm. Theo (8-7) véctơ cường độ điện trường $d\vec{E}$ do dq gây ra tại điểm M.

$$d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r^3}\vec{r}$$

Theo (8-9) véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ do điện tích bất kì Q gây ra tại điểm M được xác định bởi:

$$\vec{E} = \int_{(Q)} \frac{dq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^3}\vec{r} \qquad (8\text{-}10)$$

Phân tích: Ta có một điện tích Q

1/ Nếu tính véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tại điểm M ở rất xa Q, khi đó kích thước của điện tích Q rất nhỏ so với khoảng cách từ M đến Q, điện tích Q được gọi là điện tích điểm. Véctơ cường độ điện trường tại M được tính từ công thức (8-7)

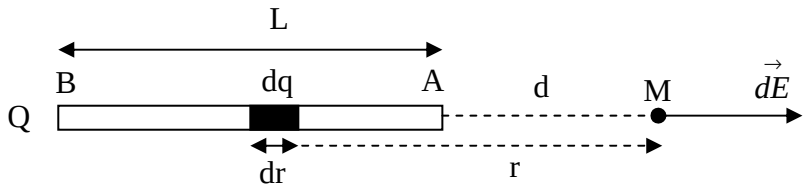
2/ Nếu tính véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tại điểm M ở gần Q, khi đó kích thước của diện tích Q không quá nhỏ so với khoảng cách từ M đến Q, điện tích Q được gọi là điện tích bất kì. Véctơ cường độ điện trường tại M được tính từ công thức (8-10)

<u>Bài tập 8.4</u>: Một thanh thẳng mảnh AB = L = 1 m, mang điện tích Q = 10^{-9} C phân bố đều, trong chân không.

1) Tính cường độ điện trường tại điểm M nằm theo phương của thanh và cách đầu thanh gần nhất một đoạn d = 1 m.
2) Tính cường độ điện trường tại điểm M nằm theo phương của thanh và cách đầu thanh gần nhất một đoạn d >>L.

Phương pháp giải:

1/ Hãy tính cường độ điện trường tại điểm M nằm theo phương của thanh và cách đầu thanh gần nhất một đoạn d = 1 m.



Đối với điểm M điện tích Q không phải là điện tích điểm.

Để tính véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ do điện tích Q phân bố trên thanh L gây ra tại điểm M, ta chia thanh L thành những đoạn rất ngắn dr, điện tích trên dr là dq, đối với điểm M dq là điện tích điểm, dq gây ra tại điểm M một véctơ cường độ điện trường $d\vec{E}$ có cường độ dE:

$$dE = k\frac{dq}{r^2} \qquad (1)$$

Với: $dq = \frac{Q}{L}dr$ (2)

Thế (2) vào (1) ta được:

$$dE = k\frac{Q}{L}\frac{dr}{r^2} \qquad (3)$$

Véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ do điện tích Q gây ra tại điểm M được tính bởi:

$$\vec{E} = \int_{(A)}^{(B)} d\vec{E} \qquad (4)$$

Vì mọi điện tích điểm dq trên thanh L đều gây ra tại điểm M véctơ cường độ điện trường $d\vec{E}$ cùng phương, cùng chiều. Nên cường độ điện trường E do điện tích Q gây ra tại M được tính như sau:

$$E = \int_{(A)}^{(B)} dE \qquad (5)$$

Thế (3) vào (5) ta được:

$$E = k\frac{Q}{L}\int_{d}^{(L+d)}\frac{dr}{r^2} = k\frac{Q}{d(L+d)}$$

$$E = k\frac{Q}{d(L+d)} \qquad (6)$$

Vậy cường độ điện trường E do điện tích Q gây ra tại M

$$E = k\frac{Q}{d(L+d)} = 9.10^9\frac{10^{-9}}{1(1+1)} = 4,5 \text{ V/m}$$

2/ Tính cường độ điện trường tại điểm M nằm theo phương của thanh và cách đầu thanh gần nhất một đoạn d >>L.

Theo (6) ta có:

$$E = k\frac{Q}{d(L+d)}$$

Nếu d >> L thì L + d ≈ d. Khi đó cường độ E tại điểm M:

$$E = k\frac{Q}{d^2} \qquad (7)$$

Phân tích: Nếu d >> L thì điện tích Q trở thành điện tích điểm. Áp dụng công thức (8-8) ta cũng có biểu thức (7)

Bài tập 8.5: Một vòng tròn bán kính R = 1 m, mang điện tích Q = 10^{-9} C phân bố đều, trong chân không.

1) Tính cường độ điện trường E do vòng tròn gây ra tại điểm M nằm trên trục của vòng tròn và cách tâm O của vòng tròn một đoạn h = 1 m
2) Cường độ điện trường E do vòng tròn gây ra tại điểm M nằm trên trục của vòng tròn và cách tâm O của vòng tròn một đoạn h >> R
3) Tìm giá trị h_m tại vị trí cường độ điện trường cực đại E_{max}.

Đáp số:

1/ $E = k\dfrac{Q}{(h^2+R^2)^{\frac{3}{2}}}h = 3,2$ V/m

2/ $E = k\dfrac{Q}{h^2}$ V/m

3/ $h_m = \dfrac{R}{\sqrt{2}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}} = 0,7\ m$

III.2.5. Véctơ cảm ứng điện.

Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng véctơ cảm ứng điện $\vec{D}$ được định nghĩa:

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_o \vec{E} \qquad (8\text{-}11)$$

Từ (8-7) và (8-11) ta suy ra véctơ cảm ứng điện $\vec{D}$ của một điện tích điểm q:

$$\vec{D} = \frac{q}{4\pi r^3}\vec{r} \qquad (8\text{-}12)$$

Độ lớn của véctơ cảm ứng điện $\vec{D}$ gọi là cảm ứng điện D.

Cảm ứng điện D của một điện tích điểm q:

$$D = \frac{|q|}{4\pi r^2} \qquad (8\text{-}13)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của cảm ứng điện là C/ m^2.

Từ (8-9) và (8-11) ta suy ra véctơ cảm ứng điện của hệ điện tích điểm:

$$\vec{D} = \sum_i^n \vec{D}_i \qquad (8\text{-}14)$$

Nhận xét:

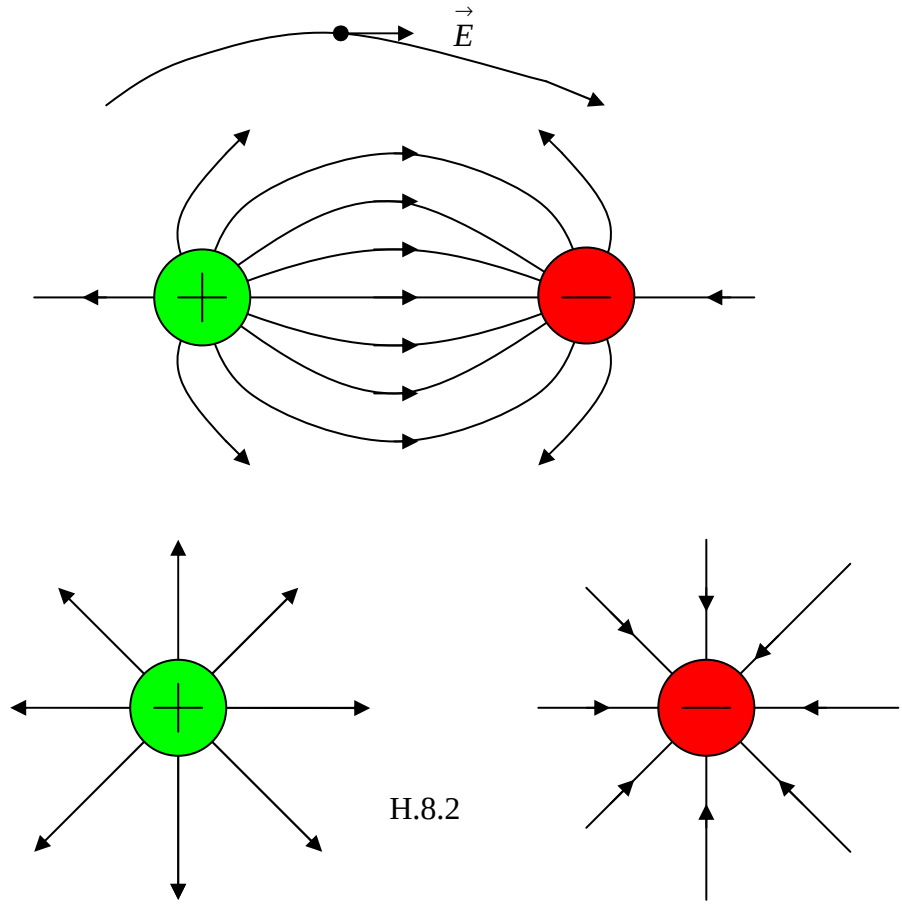
Khác với cường độ điện trường E cảm ứng điện D không phụ thuộc vào môi trường.

IV. Định lí Ostrogradsky – Gauss (O – G) của điện trường

IV.1. Đường sức điện trường

Để đặc trưng điện trường một cách hình ảnh. Người ta dùng khái niệm đường sức điện trường, được định nghĩa như sau:

Đường sức điện trường là đường cong có chiều trong điện trường. Sao cho tiếp tuyến tại mỗi điểm của đường sức trùng với véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tại điểm đó.



H.8.2

Đường sức điện trường có các tính chất sau:

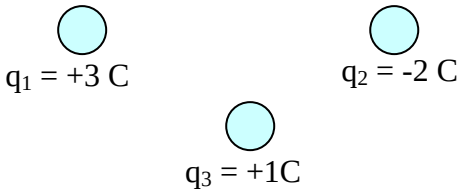
- Đường sức điện trường tĩnh là đường cong hở.
- Phát xuất từ điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm hay vô cùng.
- Các đường sức điện trường không cắt nhau.
- Người ta qui ước vẽ số đường sức điện trường qua một đơn vị diện tích vuông góc với đường sức, bằng cường độ điện trường tại đó. Có nghĩa cường độ điện trường E bằng mật độ đường sức n_e.
- Đường sức điện trường bị gián đoạn khi đi qua mặt phân cách giữa các môi trường.

Đường cảm ứng điện $\vec{D}$ có tính chất tương tự như đường sức điện trường $\vec{E}$, nhưng có điểm khác là không bị gián đoạn khi đi qua mặt phân cách giữa các môi trường.

Đối với điện trường đều đường sức là những đường thẳng song song.

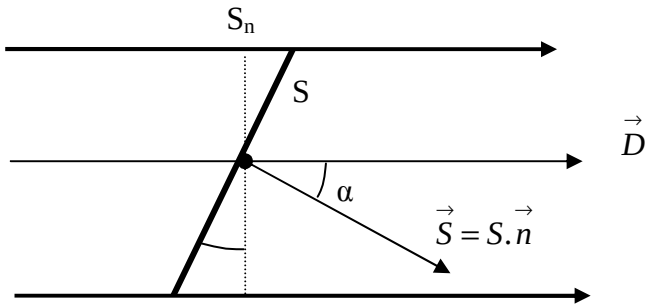
<u>Bài tập 8.6</u>:

Hãy vẽ đường sức điện trường của hệ điện tích điểm sau



IV.2. Điện thông

IV.2.1. Định nghĩa



H.8.3

Điện thông Φ_e của điện trường đều $\vec{D}$ đi qua mặt phẳng S được định nghĩa:

$$\Phi_e = \vec{D}.\vec{S} \qquad (8\text{-}15)$$

$$\Phi_e = D.S.\cos\alpha \qquad (8\text{-}16)$$

Hay: $\Phi_e = D.S_n$ (8-17)

Với:

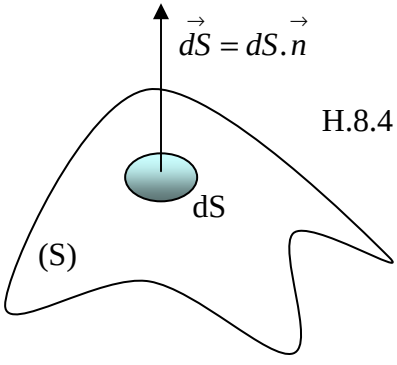
- $S_n = S\cos\alpha$
- $\alpha = (\vec{D}, \vec{S})$
- $\vec{S} = S\vec{n}$ là véctơ vuông góc với mặt S và có độ lớn bằng giá trị của mặt S
- $\vec{n}$ là véctơ pháp tuyến đơn vị của mặt phẳng S.

Nhận xét:

- Điện thông Φ_e đi qua mặt S là đại lượng đại số.
- *Giá trị của điện thông Φ_e đi qua mặt S bằng số đường sức cảm ứng điện xuyên qua mặt S.*

Điện thông có đơn vị là C.

IV.2. Trường hợp tổng quát



H.8.4

Để xác định điện thông Φ_e cuả điện trường bất kì $\vec{D}$ đi qua mặt S bất kì. Ta chia mặt S thành những mặt vi phân dS được xem như phẳng. Trên dS ta thiết lập véctơ $\vec{dS} = dS.\vec{n}$ vuông góc với dS, với $\vec{n}$ là véctơ đơn vị

vuông góc với mặt dS. Trên dS điện trường $\vec{D}$ được xem như đều.

Điện thông qua mặt dS:

$$d\Phi_e = \vec{D}.\vec{dS}$$

Suy ra qua điện thông Φ_e đi qua mặt S được tính theo biểu thức sau:

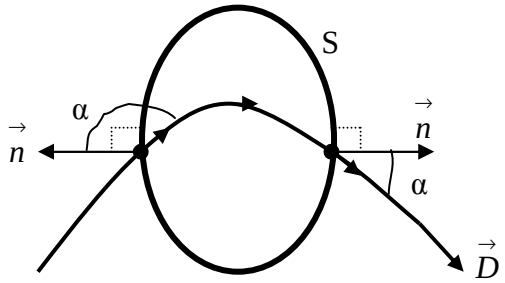
$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} \qquad (8\text{-}18)$$

Đối với mặt kín S người ta qui ước véctơ pháp tuyến đơn vị $\vec{n}$ hướng ra ngoài.

Nên:

Điện thông **đi vào** mặt S có giá trị âm (-).

Điện thông **đi ra** khỏi mặt S có giá trị dương (+).



H.8.5

IV.3. Phát biểu định lí O-G của điện trường

IV.3.1 Dạng tích phân

Điện thông đi qua một mặt kín (S) bất kì bằng tổng đại số các điện tích chứa trong mặt kín (S) đó.

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} = \sum_i^n q_i \qquad (8\text{-}19)$$

IV.3.2. Dạng vi phân

Theo toán giải tích véctơ, ta có:

$$\int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} = \int_{(V)} div\,\vec{D}.dV \qquad (1)$$

Nếu điện tích phân bố liên tục. Ta có:

$$\sum_i^n q_i \quad \rightarrow \quad \int_{(V)} \rho\, dV \qquad (2)$$

Thế (1) và (2) vào (8-19), ta suy ra:

$$\text{div}\,\vec{D} = \rho \qquad (8\text{-}20)$$

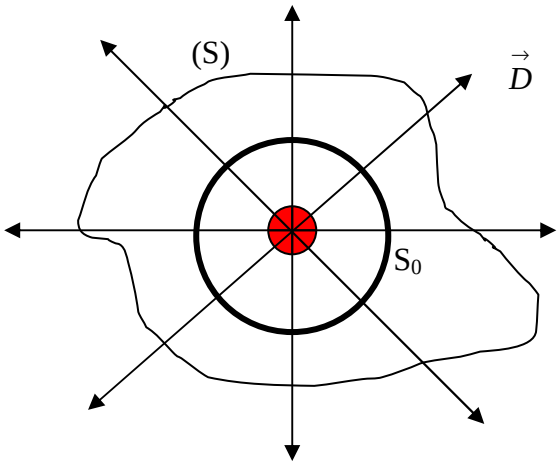
Đọc thêm: Cho véctơ: $\vec{A} = A_x\,\vec{i} + A_y\,\vec{j} + A_z\,\vec{k}$ thì:

$$div\,\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \qquad (8\text{-}21)$$

Tham khảo (đọc thêm)

Chứng minh định lí O-G của điện trường

1/ Trường hợp một điện tích điểm q nằm trong một mặt (S) kín bất kì



Giả sử điện tích q > 0, lấy q làm tâm vẽ một mặt cầu S_0 có bán kính r và nằm trong mặt (S).

Ta tính điện thông qua mặt S_0 :

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.d\vec{S} = \int_{(S)} DdS$$

Do tính chất đối xứng nên cảm ứng điện tại mọi điểm trên mặt cầu S_0 giống nhau, theo (8-13), ta có:

$$D = \frac{q}{4\pi r^2}$$

Vậy: $$\Phi_e = D \int_{(S_o)} dS = \frac{q}{4\pi r^2}.4\pi r^2 = q$$

Vì mặt S_0 nằm trong mặt (S) nên số đường sức cảm ứng điện $\vec{D}$ xuyên qua mặt (S) bằng số đường sức xuyên qua S_0. Nên:

$$\Phi_e = \oiint_{(S_o)} \vec{D}.d\vec{S} = \oiint_{(S)} \vec{D}.d\vec{S} = q \qquad (đpcm)$$

Đối với điện tích q < 0 cũng tương tự

2/Trường hợp hệ điện tích điểm nằm trong mặt kín (S)

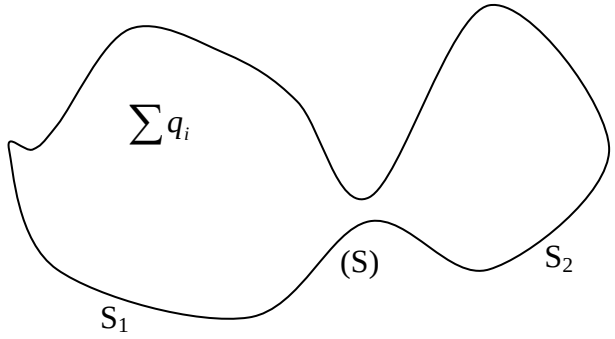
Ta tính điện thông qua mặt (S):

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS}$$

Với: $\vec{D} = \sum_{i=1}^{n} \vec{D_i}$

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} = \int_{(s)} \sum_{i=1}^{n} \vec{D_i}.\vec{dS} = \sum_{i=1}^{n} \int_{(S)} \vec{D_i}.\vec{dS} = \sum_{i=1}^{n} q_i \ (đpcm)$$

3/ Trường hợp hệ điện tích điểm nằm ngoài mặt kín



Ta có hệ điện tích điểm nằm trong mặt kín (S) như hình vẽ

Mặt (S) gồm có hai phần (S) = S_1 + S_2.

Hệ điện tích điểm nằm trong mặt S_1 và nằm ngoài mặt S_2.

Điện thông qua mặt (S):

$$\Phi_S = \Phi_{S1} + \Phi_{S2}$$

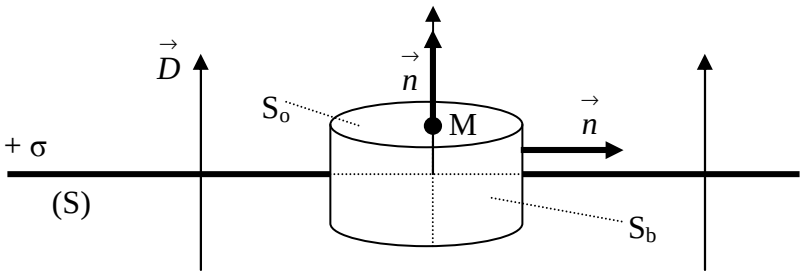
Với : $\Phi_S = \Phi_{S1} = \sum q_i$

Suy ra : $\Phi_{S2} = 0$

IV.3.3. Ứng dụng định lí O-G

1/ Điện trường gây ra bởi mặt phẳng mang điện đều rộng vô hạn

H.8.6



Dễ dàng chứng minh được điện trường gây ra bởi mặt phẳng rộng vô hạn là điện trường đều. Để xác định điện trường tại điểm M, từ M ta vẽ một mặt trụ có diện tích đáy S_0 . Mặt trụ cắt mặt phẳng mang điện như hình vẽ.

Ta có diện tích của mặt trụ: $S = 2S_0 + S_b$, với S_b là diện tích mặt bên của mặt trụ, áp dụng định lí O-G đối với mặt trụ:

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} = 2\int_{(S_o)} \vec{D}.\vec{dS} + \int_{(S_b)} \vec{D}.\vec{dS} = \sigma S_0$$

Trong đó: $\int_{(S_b)} \vec{D}.\vec{dS} = 0$ Vì $\vec{D} \perp \vec{dS} = dS.\vec{n}$

$$\Phi_e = 2\int_{(S_o)} \vec{D}.\vec{dS} = 2\int_{S_0} D.dS = 2D\int_{S_0} dS = 2DS_0 = \sigma S_0$$

Vậy: $D = \frac{\sigma}{2}$

Suy ra: $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_o}$ (8-22)

Với: $\sigma = \frac{Q}{S}$ là mật độ điện mặt, S diện tích của mặt phẳng, Q là điện tích của mặt phẳng.

Câu hỏi:

Hãy chứng minh điện trường gây ra bởi mặt phẳng rộng vô hạn là điện trường đều.

Phân tích:

Giả sử ta có một đĩa tròn bán kính R, mang một điện tích Q. Hãy khảo sát cường độ điện trường E do đĩa tròn gây ra tại một điểm M nằm trên trục của đĩa. Gọi h là khoảng cách từ M đến tâm O của đĩa.

a/ Nếu h >> R thì điện tích Q là điện tích điểm. Áp dụng công thức (8-8) ta tính được cường độ điện E trường tại M:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o h^2} \qquad \text{(a)}$$

b/ Nếu h << R thì đĩa tròn là mặt phẳng rộng vô hạn. Áp dụng công thức (8-22) ta tính được cường độ điện trường tại M:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_o} = \frac{Q}{S2\varepsilon\varepsilon_o} = \frac{Q}{2\pi R^2\varepsilon\varepsilon_o} \qquad \text{(b)}$$

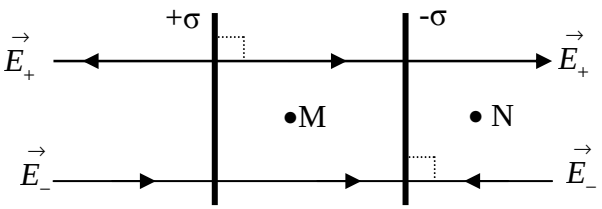
c/ Trường hợp h bất kì, áp dụng công thức (8-10) ta tính được cường độ điện trường E tại M:

$$E = \frac{Q}{2\pi R^2\varepsilon\varepsilon_o}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{R^2}{h^2}}}\right) \qquad \text{(c)}$$

Biểu thức (a) và (b) là hai trường hợp riêng của biểu thức (c)

Câu hỏi : Hãy trình bày cách dẫn từ (c) ra (a) và (b)

2/ Điện trường gây ra bởi hai mặt phẳng song song rộng vô hạn mang điện đều trái dấu



H.8.7

Cường độ điện trường tại điểm M giữa hai bản :

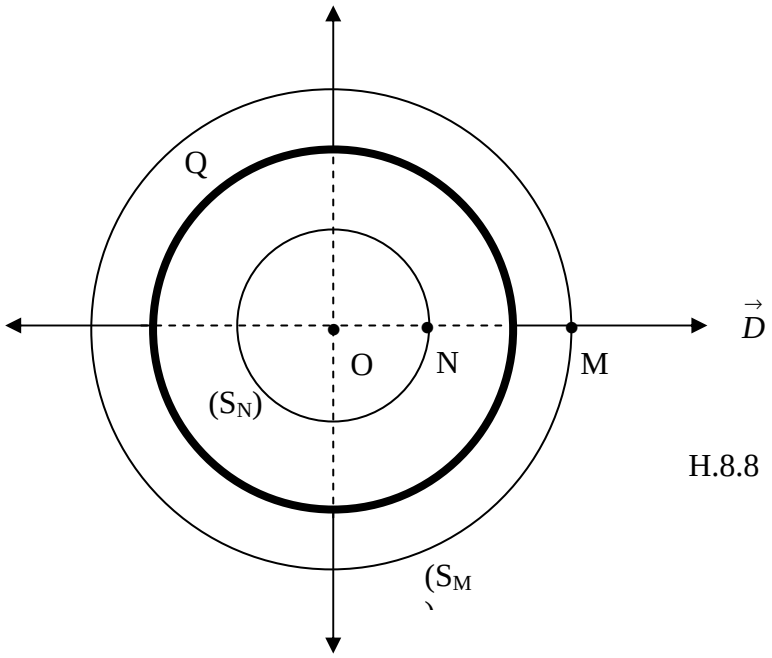
$$\vec{E}_M = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = 2\vec{E}_+ = 2\vec{E}_+$$

$$E_M = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_o} \qquad (8\text{-}23)$$

Cường độ điện trường tại điểm N ngoài hai bản:

$$\vec{E}_N = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = 0$$

3/ Điện trường gây ra bởi một mặt cầu mang điện phân bố đều



H.8.8

Một mặt cầu mang điện tích Q phân bố đều, có tâm O. Do tính chất đối xứng véctơ cảm ứng điện $\vec{D}$ của mặt cầu mang điện tích Q là những đường thẳng có phương xuyên tâm O.

Để xác định điện trường tại một điểm N nằm bất kì bên trong mặt cầu mang điện. Từ điểm N ta vẽ một mặt cầu (S_N) có tâm O. Áp dụng định lí O-G đối với mặt cầu (S_N):

$$\Phi_e = \int_{(S_N)} \vec{D}.d\vec{S} = 0$$

Suy ra: $\vec{D} = 0$

Vì điểm N là điểm bất kì nằm trong mặt cầu mang điện tích Q, nên suy ra điện trường bên trong mặt cầu namg điện tích Q bằng 0.

Để xác định điện trường tại một điểm M nằm ngoài mặt cầu mang điện tích Q và cách tâm O một đoạn r. Từ điểm M ta vẽ một mặt cầu (S_M) có tâm O. Áp dụng định lí O-G đối với mặt cầu (S_M):

$$\Phi_e = \int_{(S_M)} \vec{D}.\vec{dS} = Q$$

$$\Phi_e = \int_{(S_M)} DdS = Q$$

Do tính chất đối xứng nên cảm ứng điện D tại mọi điểm trên mặt S_M giống nhau.

$$\Phi_e = D\int_{(S)} dS = D\,4\pi r^2 = Q$$

Vậy cảm ứng điện tại điểm M:

$$D = \frac{Q}{4\pi r^2}$$

Suy ra cường độ điện trường E tại điểm M nằm ngoài mặt cầu mang điện tích Q:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} \qquad (8\text{-}24)$$

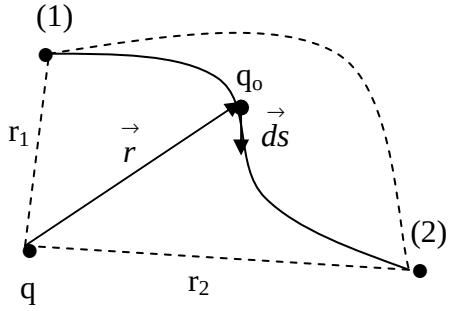
Nhận xét:

Công thức tính cường độ điện trường E tại điểm M nằm ngoài mặt cầu mang điện tích Q (8-24) có dạng toán học giống công thức (8-8) tính cường độ điện trường của một điện tích điểm q:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r^2}$$

V. Điện thế

V.1. Chứng minh trường tĩnh điện là trường lực thế



H.8.9

Một điện tích điểm q_o chuyển động từ vị trí (1) đến vị trí (2) theo một đường cong (C) bất kì trong trường tĩnh điện của điện tích điểm q. Ta có công của lực tĩnh điện $\vec{F}$ tác dụng lên q_o trong dịch chuyển trên.

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}\,\vec{ds} \qquad (1)$$

Với: $$\vec{F} = \frac{q\,q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^3}\vec{r} \qquad (2)$$

Thế (2) vào (1) tương tự như trường hấp dẫn, ta tính được:

$$A_{12} = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_1} - \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_2}$$

Vì đường cong (C) bất kì, nên công A_{12} chỉ phụ thuộc vào r_1 và r_2 .

Vậy trường tĩnh điện là trường lực thế .

Bài tập 8.7:

Hãy tính tích phân: $\int_{(c)} \vec{E}.\vec{ds} = ...?$

V.2 Thế năng của điện tích điểm trong điện trường

V.2.1. Thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường bất kì

Nếu lấy gốc thế năng ở vô cùng (∞), theo (3-9) ta có:

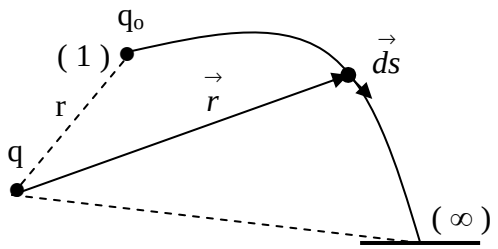
$$W_{t1} = A_{1\infty} = \int_{(1)}^{\infty} \vec{F}\,\vec{ds}$$

Với: $\vec{F} = q_o\,\vec{E}$ là lực tĩnh điện của điện trường tác dụng lên điện tích điểm q_o

Vậy ta có biểu thức thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường:

$$W_{t1} = q_o \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (8\text{-}25)$$

V.2.2. Thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường của điện tích điểm q



H.8.10

Một điện tích điểm q_o đặt tại vị trí (1) trong điện trường của điện tích điểm q, q_o cách q một khoảng r.

Ta có thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường của điện tích điểm q:

$$W_{t1} = q_o \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (1)$$

Ta có véctơ cường độ điện trường tại một điểm trong điện trường của điện tích điểm q:

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r^3}\vec{r} \qquad (2)$$

Theo (1- 9) trong dịch chuyển vi phân: $\vec{ds} = d\vec{r}$ (3)

Theo toán học: $\vec{r}.d\vec{r} = r\,dr$ (4)

Thế (2), (3) và (4) vào (1) ta được:

$$W_t = -\frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o}\int_r^{(\infty)} d\left(\frac{1}{r}\right)$$

Lấy tích phân ta được:

$$W_t = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r} \qquad (8\text{-}26)$$

Nếu hai điện tích cùng dấu thế năng dương.

Nếu hai điện tích trái dấu thế năng âm.

Bài tập 8.8:

Theo mẫu nguyên tử Bohr nguyên tử Hydro gồm có hạt proton mang điện tích $q = e_o = 1{,}6.10^{-19}$ C và hạt electron mang điện tích $e = -e_o = -1{,}6.10^{-19}$ C. Hạt electron chuyển động chung quanh hạt proton trên quỹ đạo tròn bán kính $r = 0{,}53.10^{-10}$ m. Hãy tính cơ năng W của hạt electron.

Đáp số: $W = -21{,}735.10^{-19}$ J = - 13, 585 eV

$1eV = 1{,}6.10^{-19}$ J

V.2.3. Thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường của hệ điện tích điểm

Ta có: $W_{t1} = q_o\int_{(1)}^{\infty}\vec{E}\,\vec{ds}$

Với: $\vec{E} = \sum_i^n \vec{E_i}$

Suy ra: $W_{t1} = q_0\int_{(1)}^{\infty}\sum_i^n \vec{E_i}.\vec{ds} = \sum_i^n\int_i^{\infty}\vec{E_i}.\vec{ds}$

$$W_{t1} = \sum_i^n \frac{q_o q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_i} \qquad (8\text{-}27)$$

Biểu thức (8-27) là công thức thế năng của một điện tích điểm q_o trong điện trường của một hệ điện tích điểm

Bài tập 8.9:

Điện tích điểm $q_1 = q_o$ đặt tại vị trí A và điện tích điểm $q_2 = -q_o$ đặt tại vị trí B.

Tính thế năng của một điện tích điểm q đặt tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h.

V.3. Điện thế

V.3.1. Định nghĩa

Khái niệm điện thế V tại một điểm trong điện trường được định nghĩa:

$$V = \frac{W_t}{q_o} \qquad (8\text{-}28)$$

Đơn vị điện thế là Volt (V).

Nếu biết điện thế V hoàn toàn có thể tính thế năng W_t của một điện tích điểm q trong điện trường.

$$W_t = qV \qquad (8\text{-}29)$$

V.3.2. Điện thế tại một điểm trong điện trường bất kì

Từ (8-25) và (8-28) ta suy ra điện thế tại vị trí (1) trong điện trường:

$$V_1 = \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (8\text{-}30)$$

Phân tích:

Trong vật lý học để đo sự tương tác người ta dùng hai khái niệm:

- Lực $\vec{F}$ đại lượng véctơ
- Thế năng W_t đại lượng vô hướng.

Các điện tích tương tác với nhau thông qua điện trường của chúng.

- Để đặc trưng điện trường về phương diện lực, người ta dùng khái niệm véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$, là lực của điện trường tác dụng lên một đơn vị điện tích dương (q = +1 C) đặt trong điện trường. Lực của điện trường tác dụng lên điện tích điểm q đặt trong điện trường là: $\vec{F} = q\vec{E}$
- Để đặc trưng điện trường về phương diện năng lượng, người ta dùng khái niệm điện thế V, là thế năng của một đơn vị điện tích dương (q = +1 C) đặt trong điện trường. Thế năng của một điện tích điểm q tại một điểm trong điện trường là: $W_t = qV$

Quan hệ giữa véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và điện thế V được thiết lập bởi công thức (8-30)

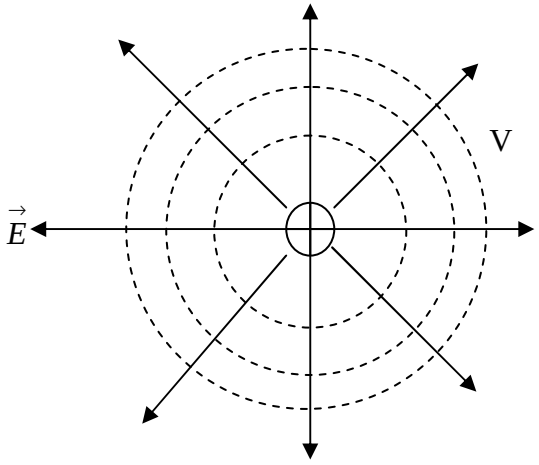
V.3.3. Điện thế tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q

Từ (8-26) và (8-28) ta suy ra điện thế V tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q:

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r} \qquad (8\text{-}31)$$

Nhận xét:

Tại mọi điểm trên mặt cầu bán kính r, có tâm là điện tích điểm q, có điện thế V bằng nhau, được gọi là mặt đẳng thế. Đường sức điện trường vuông góc với mặt đẳng thế.Véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ có chiều hướng theo chiều giảm của điện thế.



V.3.4. Điện thế tại một điểm trong điện trường của hệ điện tích điểm

Từ (8-27) và (8-28) ta suy ra điện thế V tại một điểm trong điện trường của một hệ điện tích điểm:

$$V = \sum_{i}^{n} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_i} \qquad (8\text{-}32)$$

<u>Bài tập 8.10</u>:

Điện tích điểm $q_1 = q_o$ đặt tại vị trí A và điện tích điểm $q_2 = -q_o$ đặt tại vị trí B.

Tính điện thế V tại điểm M nằm trên đường trung trực của AB và cách trung điểm O của AB một đoạn h.

V.3.5. Hiệu điện thế

Theo (8-30) ta có hiệu điện thế giữa hai điểm (1) và (2) trong điện trường:

$$U = V_1 - V_2 = \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} - \int_{(2)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} = \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} + \int_{(\infty)}^{(2)} \vec{E}\,\vec{ds} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}\,\vec{ds}$$

Vậy: $$U = V_1 - V_2 = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (8\text{-}33)$$

Đơn vị hiệu điện thế là (V).

V.3.6. Công của lực tĩnh điện

Một điện tích điểm q chuyển động trong điện trường, sẽ bị điện trường tác dụng một lực tĩnh điện: $\vec{F} = q\vec{E}$

Ta có công của lực tĩnh điện $\vec{F}$ tác dụng lên điện tích q trong dịch chuyển từ vị trí (1) đến vị trí (2) trong điện trường.

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}\,\vec{ds} = \int_{(1)}^{(2)} q\vec{E}.\vec{ds} = q\int_{(1)}^{(2)} \vec{E}.\vec{ds} = q(V_1 - V_2)$$

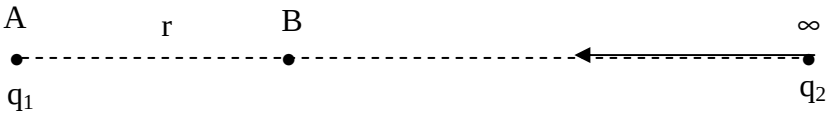
$$A_{12} = q\,(V_1 - V_2) \qquad (8\text{-}34)$$

$$A_{12} = q\,(V_1 - V_2) = qV1 - qV2 = W_{t1} - W_{t2}$$

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2} \qquad (8\text{-}35)$$

Biểu thức (8-35) chính là định lí thế năng

VI. Năng lượng điện của hệ điện tích điểm



Ta có hai điện tích điểm q_1 và q_2 ở rất xa nhau và không tương tác nhau. Điện tích q_1 ở điểm A, điện tích q_2 ở vị trí vô cùng (∞).

Ta có công của lực tĩnh điện do q_1 tác dụng lên q_2 khi đưa điện tích q_2 từ vô cùng (∞) đến vị trí B cách A một đoạn r.

$$A_{\infty B} = q_1\,(V_\infty - V_B)$$

Với: $V_\infty = 0$ là điện thế tại ∞ trong điện trường của q_1

Và $V_B = \dfrac{q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$ là điện thế tại vị trí B trong điện trường của q_1

Vậy: $A_{\infty B} = -\dfrac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$

Gọi $\vec{F}$ là lực ta tác dụng lên q_2 để đưa q_2 về vị trí B và $\vec{F}_e$ là lực tĩnh điện mà q_1 tác dụng lên q_2. Ta có: $\vec{F} = -\vec{F}_e$

Vậy công A của lực $\vec{F}$ tạo nên hệ điện tích điểm:

$$A = -A_{\infty B} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng công mà ta tiêu tốn để tạo nên hệ điện tích điểm bằng năng lượng điện của hệ điện tích điểm.

$$W_e = A = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$$

Ta có thể viết:

$$W_e = \frac{1}{2} q_1 \left(\frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}\right) + \frac{1}{2} q_2 \left(\frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}\right)$$

Hay:

$$W_e = \frac{1}{2} q_1 V_1 + \frac{1}{2} q_2 V_2$$

Trong đó:

- $V_1 = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r}$ là điện thế tại vị trí đặt q_1 trong điện trường của q_2

- $V_2 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r}$ là điện thế tại vị trí đặt q_2 trong điện trường của q_1

Suy rộng ra năng lượng điện của hệ n điện tích điểm.

$$W_e = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} q_i V_i \qquad (8\text{-}36)$$

Trong đó V_i là điện thế tại vị trí đặt điện tích q_i trong điện trường của các điện tích còn lại, được xác định theo (8-32).

VII. Vật dẫn

VII.1. Điều kiện cân bằng tĩnh điện của vật dẫn

Vật dẫn là vật ở bên trong nó có các hạt điện tự do, Ví dụ kim loại.

Một vật dẫn mang một điện tích Q khi ở trạng thái cân bằng tĩnh điện thì điện trường trong vật dẫn bằng không và đường sức điện trường ở lân cận vật dẫn vuông góc với mặt ngoài vật dẫn.

Người ta ứng dụng tính chất này để chế tạo màn chắn tĩnh điện. Một vật dẫn bằng kim loại đặt trong điện trường ngoài, điện trường ngoài không vào được trong phần rỗng, vì trong phần rỗng điện trường bằng không.

VII.2. Các tính chất của vật dẫn mang điện ở trạng thái cân bằng tĩnh điện

VII.2.1. Vật dẫn là vật đẳng thế

Lấy hai điểm bất kì (1) và (2) ở trong hay trên vật dẫn. Ta tính hiệu điện thế giữa hai điểm (1) và (2):

$$V_1 - V_2 = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}\, \vec{ds} = 0$$

- (Vì $\vec{E} = 0$)
- Suy ra $V_1 = V_2$
- Vậy *mọi điểm trên vật dẫn có điện thế bằng nhau.*

VII.2.2. Điện tích chỉ phân bố ở mặt ngoài vật dẫn

Tưởng tượng một mặt (S) nằm ở trong và sát mặt ngoài vật dẫn. Áp dụng định lí O- G đối với mặt (S).

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} = \sum_{i}^{n} q_i = 0$$

(Vì $\vec{D} = 0$)

Vậy điện tích chỉ phân bố ở mặt ngoài vật dẫn và tập trung lớn nhất ở mũi nhọn. *Người ta ứng dụng tính chất này để chế tạo cột thu lôi (chống sét)*

VII.3. Năng lượng điện của vật dẫn

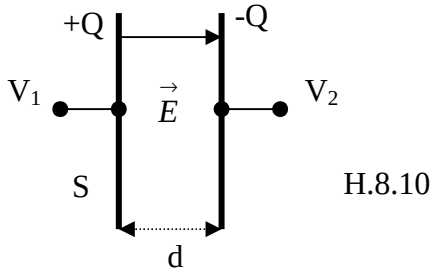
Để tính năng lượng điện của một vật dẫn mang một điện tích Q, ta chia vật dẫn thành những điện tích điểm q_i ($Q = \sum_i q_i$), mọi điện tích điểm q_i có điện thế giống nhau ($V_i = V$)

Theo (8-36) ta có năng lượng điện của vật dẫn mang điện tích Q và có điện thế V:

$$W_e = \sum_i \frac{1}{2} q_i V_i = \sum \frac{1}{2} q_i V = \frac{1}{2} V \sum_i q_i = \frac{1}{2} QV$$

$$W_e = \frac{1}{2} QV \qquad (8\text{-}37)$$

VII.4. Tụ điện phẳng



H.8.10

Tụ điện phẳng gồm hai mặt phẳng bằng kim loại có cùng diện tích S, đặt đối diện song song nhau, cách nhau một doạn d. Khi tụ điện tích điện, giá trị điện tích trên hai bản bằng Q và trái dấu. Điện thế trên bản dương là V_1, điện thế trên bản âm là V_2. Điện trường giữa hai bản là điện trường đều:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_o} \qquad (1)$$

Để đặt trưng cho khả năng tích điện của tụ điện. Người ta dùng khái niệm điện dung C, được định nghĩa:

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} \qquad (3\text{-}38)$$

Nếu: $V_1 - V_2 = 1V$, suy ra: $C = Q$. Vậy điện dung C của tụ điện có giá trị bằng điện tích tích cho tụ điện, để hiệu điện thế giữa hai bản tụ điện bằng 1V, hay tăng lên 1V.

Đơn vị của điện dung là Fara (F)

$1\ \mu F = 10^{-6}\ F$

$1\ pF = 10^{-12}\ F$

Theo (8-33) ta có hiệu điện thế giữa hai bản:

$$U = V_1 - V_2 = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}\,\vec{ds} = \int_0^d Eds = E\int_0^d ds = Ed$$

$$U = E\,d \qquad (8\text{-}39)$$

Ta có: Q = σ S, mặt khác theo (1) $\sigma = \varepsilon\varepsilon_o E$

Suy ra: Q = $\varepsilon\varepsilon_o SE$ (2)

Thế (2) và (8-39) vào (8-38), ta được:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_o S}{d} \qquad (8\text{-}40)$$

Vậy điện dung C của tụ điện chỉ phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và môi trường giữa hai bản.

VIII. Năng lượng điện trường

VIII.1. Năng lượng của tụ điện:

Hai bản của tụ điện là hai vật dẫn có cùng giá trị điện tích Q, nhưng trái dấu.

Theo (8-37) ta có năng lượng của tụ điện.

$$W_e = W_e(Q_+) + W_e(Q_-) = \frac{1}{2}QV_1 - \frac{1}{2}QV_2 = \frac{1}{2}Q(V_1 - V_2) = \frac{1}{2}QU$$

$$W_e = \frac{1}{2}QU \qquad (8\text{-}41)$$

VIII.2. Năng lượng của điện trường đều

Với U = Ed và Q = $\varepsilon\varepsilon_o SE$ thế vào (8-41), ta được:

$$W_e = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_o E^2 Sd = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_o E^2 v$$

$$W_e = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_o E^2 v \qquad (8\text{-}42)$$

Hay: $W_e = \frac{1}{2}ED\,v$ (8-43)

Trong đó:

v = Sd là thể tích chứa điện trường đều giữa hai bản tụ

D = $\varepsilon\varepsilon_o$ E là cảm ứng điện

Năng lượng của tụ điện chứa trong điện trường đều giữa hai bản. Suy rộng ra các biểu thức (8-42) và (8-43) được dùng để tính năng lượng của điện trường đều chứa trong thể tích v nào đó.

Ta có mật độ năng lượng của điện trường đều:

$$\omega_e = \frac{W_e}{v} = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2$$

$$\omega_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0\varepsilon E^2 \qquad (8\text{-}44)$$

VIII.3. Năng lượng của điện trường bất kì

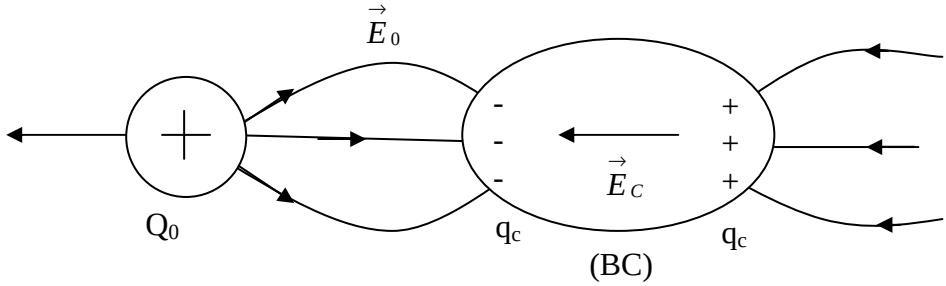
Để tính năng lượng của một điện trường bất kì E chứa trong thể tích v, ta chia thể tích v thành những thể tích dv rất nhỏ, sao cho trong phạm vi dv điện trường được xem như đều Ta có năng lượng điện trường trong phạm vi dv:

$$dW_e = \omega_e\, dv = \frac{1}{2}\varepsilon_0 \varepsilon E^2\, dv$$

Suy ra năng lượng của điện trường bất kì E trong thể tích v.

$$W_e = \int_{(v)} \frac{1}{2}\varepsilon_0\, \varepsilon E^2 dv = \int_{(v)} \frac{1}{2} DE dv \qquad (8\text{-}45)$$

IX. Hiện tượng điện hưởng



H.8.11

IX.1. Hiện tượng điện hưởng

Hiện tượng điện hưởng là hiện tượng, khi ta đặt một vật dẫn (BC) vào trong một điện trường ngoài $\vec{E}_0$ thì trên các mặt đối diện (B) và (C) của vật dẫn (BC) có xuất hiện các điện tích cảm ứng q_c trái dấu.

IX.2.Giải thích hiện tượng điện hưởng

Khi ta đặt vật dẫn (BC), ví dụ kim loại, vào trong điện trường ngoài có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}_0$ tạo ra bởi điện tích Q_0. Điện trường ngoài tác dụng lên hạt electron tự do của kim loại một lực tĩnh điện $\vec{F} = e\vec{E}_0$. Dưới tác dụng của lực tĩnh điện $\vec{F}$ hạt electron dịch chuyển về đầu (B), làm cho đầu (B) tích điện âm (-) và đầu (C) tích điện dương (+). Điện tích trên đầu (B) và đầu (C) được gọi là điện tích cảm ứng q_c.

IX.3. Hiện tượng điện hưởng một phần và toàn phần

Trong hiện tượng điện hưởng một phần chỉ có một phần đường sức từ điện tích Q_0 kết thúc trên vật dẫn (BC).

Trong hiện tượng điện hưởng một phần: $Q_0 > q_c$

Trong hiện tượng điện hưởng toàn phần toàn bộ đường sức từ điện tích Q_0 đều kết thúc trên vật dẫn (BC), giữa hai bản của tụ điện xảy ra hiện tượng điện hưởng toàn phần.

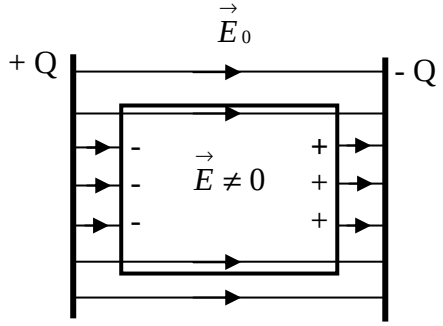
Trong hiện tượng điện hưởng toàn phần: $Q_0 = q_c$

X. Hiện tượng phân cực điện môi

X.1. Hiện tượng phân cực điện môi

Điện môi là môi trường cách điện, trong điện môi không có các điện tích tự do.

Hiện tượng phân cực điện môi là hiện tượng khi ta đặt một khối điện môi (BC) vào trong một điện trường ngoài có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}_0$ thì trên các mặt đối diện (B) và (C) của khối điện môi (BC) có xuất hiện các điện tích lên kết q_{lk} trái dấu.

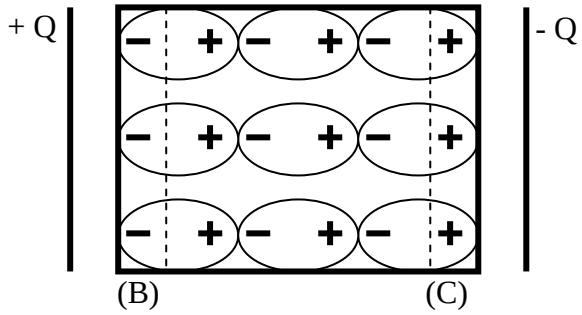


H.8.12

X.2. Giải thích hiện tượng phân cực điện môi

Đối với chất điện môi được cấu tạo từ những *phân tử tự phân cực*, Ví dụ như (H_2O), *mỗi phân tử là một lưỡng cực điện*. Khi chưa đặt trong điện trường ngoài có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}_0$ do chuyển động nhiệt các phân tử sắp xếp một cách hỗn loạn.

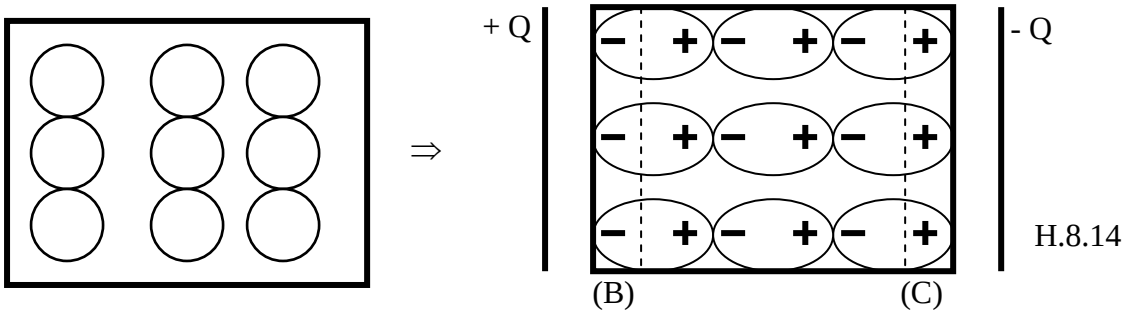
Khi dặt trong điện trường ngoài, điện trường ngoài tác dụng lên lưỡng cực điện phân tử, làm cho các lưỡng cực điện phân tử quay định hướng theo điện trường ngoài $\vec{E}_0$. Kết quả làm cho các mặt giới hạn (B) và (C) của khối điện môi mang các điện tích liên kết trái dấu.



H.8.13

Đối với chất điện môi được cấu tạo từ những *phân tử không tự phân cực* (ví dụ H_2 *mỗi phân tử không phải là một lưỡng cực điện)*

Khi đặt trong điện trường ngoài có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}_0$, điện trường ngoài tác dụng lên phân tử, làm biến dạng phân tử và biến phân tử thành một lưỡng cực điện, định hướng theo điện trường ngoài. Kết quả làm cho các mặt giới hạn (B) và (C) của khối điện môi mang các điện tích kiên kết trái dấu.



H.8.14

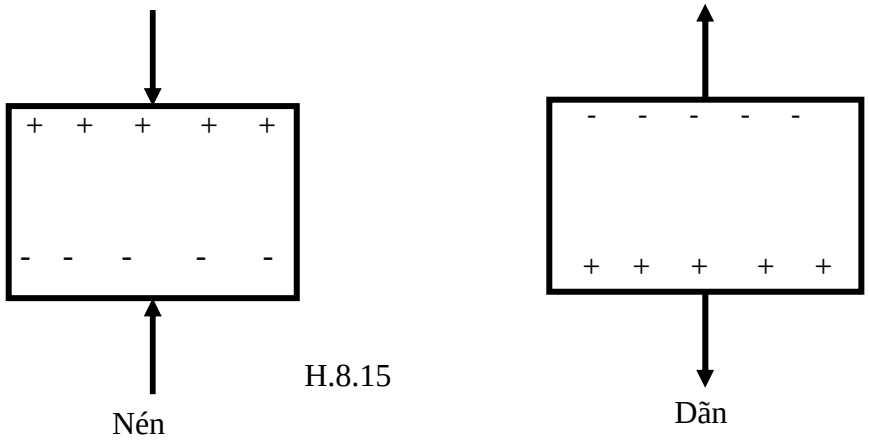
Hiện tượng phân cực điện môi là cơ sở lí thuyết để giải thích tại sao véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ trong môi trường nhỏ hơn trong chân không ε lần.

XI. Hiện tượng áp điện

Hiện tượng áp điện do hai Nhà vật lý người Pháp Pierre Curie và Jacques Curie phát hiện năm 1880.

XI.1. Hiện tượng áp điện thuận

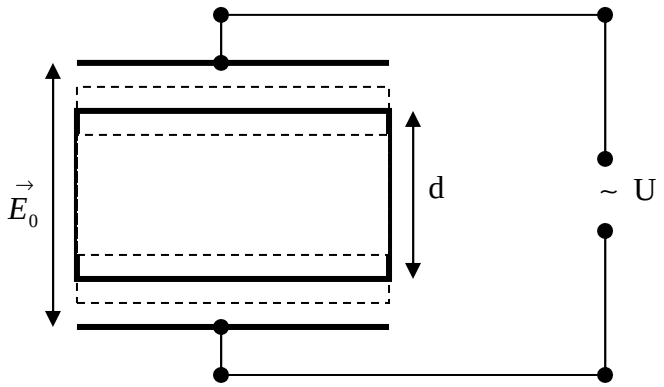
Hiện tượng áp điện thuận là hiện tượng, khi ta nén hay dãn lên hai mặt đối diện của khối điện môi, ví dụ thạch anh, thì trên hai mặt đối diện của khối điện môi có xuất hiện các điện tích trái dấu. Trong hiện tượng áp điện thuận đã biến dao động cơ thành dao động điện, *được ứng dụng để chế tạo đầu nhận siêu âm…*



H.8.15

XI.2.Hiện tượng áp điện nghịch

Hiện tượng áp điện nghịch là hiện tượng khi ta đặt một khối điện môi vào trong một điện trường ngoài $\vec{E}_0$ biến thiên xoay chiều theo thời gian thì khối điện môi co dãn theo phương của điện trường ngoài $\vec{E}_0$ và có tần số co dãn bằng tần số của điện trường ngoài $\vec{E}_0$ biến thiên xoay chiều. Trong hiện tượng áp điện nghịch đã biến dao động điện thành dao động cơ, *được ứng dụng để chế tạo đầu phát siêu âm…*



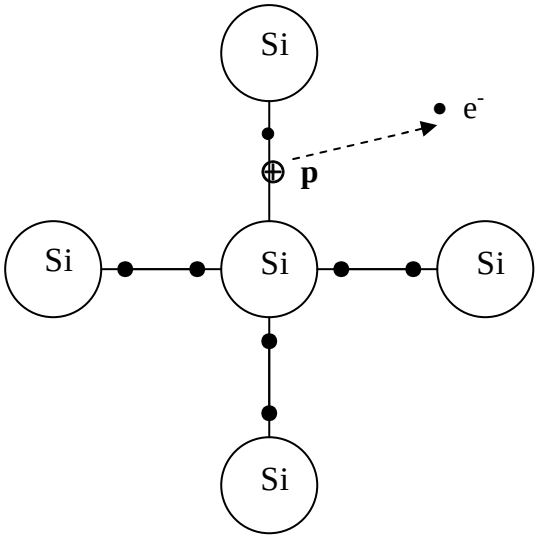
XII. Chất bán dẫn

XII.1.Chất bán dẫn

Trong chất bán dẫn các hạt electron (e^-) có liên kết yếu với nguyên tử của chất bán dẫn.Ví dụ: Trong chất bán dẫn Silic (Si) để hạt e^- thoát ra khỏi nguyên tử Si cần một năng lượng E_g = 1,1 eV, với 1eV = $1,9.10^{-19}$ J. (Cho biết năng lượng của hạt photon của ánh sáng đỏ λ = 0,7 μm bằng E = $2,84.10^{-19}$ J)

Ở nhiệt độ thấp chất bán dẫn là chất cách điện. Ở nhiệt độ bình thường năng lượng chuyển động nhiệt của hạt e^- đủ để bức hạt e^- thoát ra khỏi nguyên tử chất bán dẫn trở thành hạt e^- tự do. Vậy ở nhiệt độ bình thường chất bán dẫn là chất dẫn điện

XII.2.Chất bán dẫn tinh khiết



H.8.17

Ở nhiệt độ phòng hạt e^- có năng lượng nhiệt đủ để thoát ra khỏi nguyên tử của chất bán dẫn để trở thành hạt e^- tự do. Và tạo ra ở nguyên tử chất bán dẫn một lỗ trống p .

Như vậy trong chất bán dẫn tinh khiết số hạt e^- tự do (n_e) và số lỗ trống p ở mạng tinh thể chất bán dẫn (n_p) bằng nhau: $n_e = n_p$

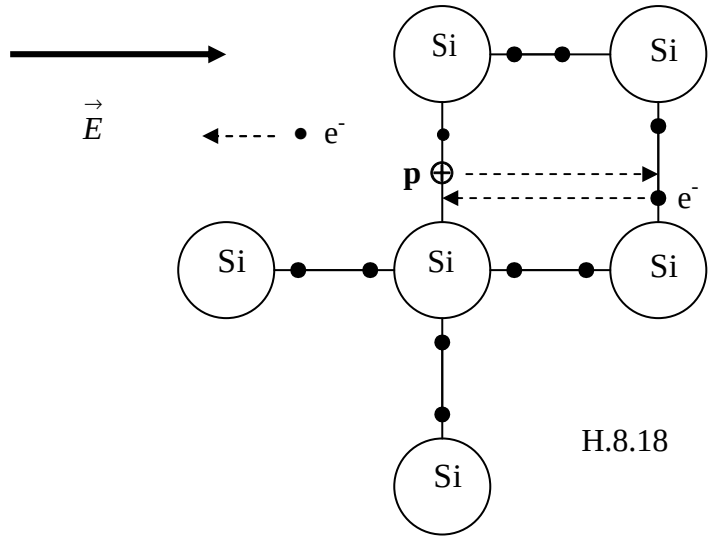
Khi đặt chất bán dẫn trong điện trường $\vec{E}$. Điện trường $\vec{E}$ tác dụng lên hạt e^- tự do làm chúng chuyển động có hướng (ngược chiều $\vec{E}$) tạo nên dòng điện I_e.

Mặt khác điện trường $\vec{E}$ cũng tác dụng lên hạt e^- còn liên kết với nguyên tử, làm nó thoát ra khỏi liên kết với nguyên tử tới "chiếm" một lỗ trống p và tạo ra một lỗ trống p mới.

Các lỗ trống p chuyển động ngược chiều với chiều chuyển động của hạt e^-. Sự chuyển động của hạt e^- liên kết cũng tạo nên dòng điện I_p.

Người ta diễn đạt một cách khác dòng điện I_p này được tạo ra bởi sự chuyển động của lỗ trống p.

Như vậy dòng điện trong chất bán dẫn tinh khiết được tạo ra bởi các hạt e^- tự do và lỗ trống p: $I = I_e + I_p$.



H.8.18

XII.3. Chất bán dẫn loại n

Nếu pha vào chất bán dẫn Silic (hoá trị 4) một tạp chất Photpho (hoá trị 5).

Nguyên tử tạp chất P có dư một hạt e^- hoá trị không tham gia vào liên kết với mạng chất bán dẫn Si. Hạt e^- dư này liên kết rất yếu với nguyên tử tạp chất P. Chỉ cần nhận một năng lượng rất nhỏ $\Delta E = 0{,}045$ eV, nó dễ dàng thoát ra khỏi nguyên tử P trở thành hạt e^- tự do.

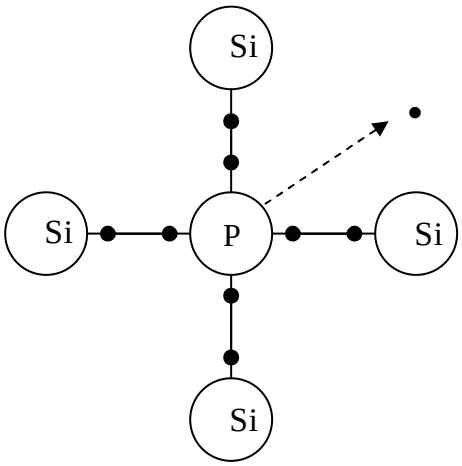
Như vậy cứ pha vào chất bán dẫn Silic một nguyên tử tạp chất P, sẽ tạo ra một hạt e^- tự do dẫn điện.

Trong chất bán dẫn Silic pha P số hạt e^- tự do (n_e) lớn hơn số lỗ trống p (n_p): $n_e > n_p$.

Các hạt e^- tự do được gọi là các *hạt tải điện đa số*.

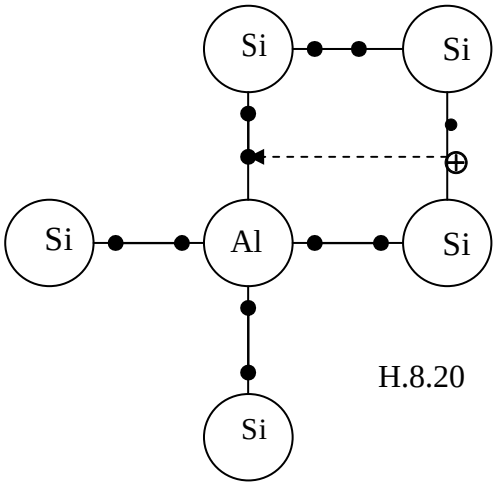
Các lỗ trống p được gọi là các *hạt tải điện thiểu số*.

Trong chất bán dẫn mà: $n_e > n_p$ được gọi là chất *bán dẫn loại n*.



H.8.1

XII.4. Chất bán dẫn loại p



H.8.20

Nếu pha vào chất bán dẫn Silic (hoá trị 4) một tạp chất Nhôm (Al có hoá trị 3)

Nguyên tử tạp chất Al còn thiếu một hạt e^- hoá trị tham gia vào liên kết với mạng chất bán dẫn Si . Để lấp vào chỗ thiếu này, nguyên tử tạp chất Al "mượn" một hạt e^- hoá trị của nguyên tử Silic và tạo ra một lỗ trống p.

Năng lượng mà hạt e^- liên kết của nguyên tử Si nhận vào để thoát ra khỏi nguyên tử Si và cho nguyên tử tạp chất Al "mượn" để tạo liên kết với mạng chất bán dẫn Si là rất nhỏ $\Delta E = 0{,}0057$ eV.

Như vậy cứ pha vào chất bán dẫn Silic một nguyên tử tạp chất Al sẽ tạo ra một lỗ trống

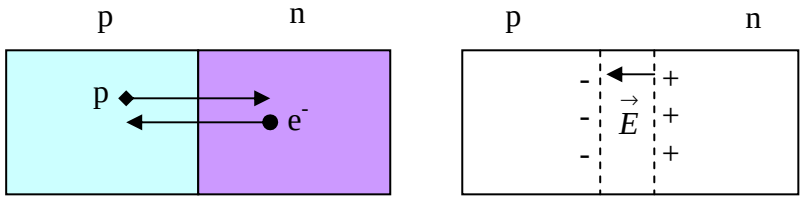
Trong chất bán dẫn Silic pha Al số hạt e^- tự do (n_e) nhỏ hơn lỗ trống p (n_p): $n_p > n_e$.

Các hạt e^- tự do được gọi là các *hạt tải điện thiểu số*.

Các lỗ trống p được gọi là các *hạt tải điện đa số*.

Trong chất bán dẫn mà: $n_p > n_e$ được gọi là chất *bán dẫn loại p*.

XII.5. Lớp chuyển tiếp p-n



H.8.22

Khi cho hai chất bán dẫn loại p và n tiếp xúc nhau. Do số lỗ trống ở bên p lớn hơn số lỗ trống ở bên n. Nên có sự khuếch tán lỗ trống từ bên p sang bên n.

Do số hạt e^- dẫn ở bên n lớn hơn số hạt e^- dẫn ở bên p. Nên có sự khuếch tán hạt e^- dẫn từ bên n sang bên p.

Dẫn đến kết quả tại vùng tiếp giáp p-n: bên n mang điện tích dương (+) và bên p mang điện tích âm (-).

Tại nơi tiếp xúc p-n xuất hiện một điện trường tiếp xúc có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ hướng từ n sang p. Điện trường tiếp xúc $\vec{E}$ có tác dụng chống lại dòng các hạt tải điện đa số đi qua lớp chuyển tiếp p-n, nhưng lại có tác dụng kéo các hạt tải điện thiểu số qua lớp chuyển tiếp p-n.

Từ lớp chuyển tiếp p-n người ta chế tạo ra các linh kiện điện tử:

Diod bán dẫn, Tranzito bán dẫn, vi mạch (IC), pin mặt trời, diod phát quang quang (LED), LASER bán dẫn…

Tham khảo (đọc thêm)

Lò vi sóng

Lò vi sóng là thiết bị tạo ra điện trường $\vec{E}$ xoay chiều cao tần có tần số khoảng 2.500 MHz. Thức ăn nấu trong lò vi sóng phải có thấm nước (H_2O).

Phân tử nước là một lưỡng cực điện. Cứ hai hay ba phân tử nước liên kết với nhau thành nhóm. Năng lượng chuyển động nhiệt của từng phân tử chuyển thành thế năng tương tác của nhóm.

Khi nước được đặt trong điện trường $\vec{E}$ xoay chiều cao tần. Điện trường $\vec{E}$ tác dụng lên những phân tử nước làm nó quay xoay chiều, động năng tăng dẫn đến nhiệt độ tăng, nhóm ba phân tử nước khi quay xoay chiều bị phân rã, thế năng biến thành nhiệt năng cũng làm nhiệt độ tăng.

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 8

1/ Định luật Coulomb

$$\vec{F} = \frac{q\,q_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^3}\vec{r} \qquad (8\text{-}1)$$

$$F = \frac{|q|.|q_o|}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^2} \qquad (8\text{-}2)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9.10^9\ Nm^2/C^2$$

Hằng số điện: $\varepsilon_o = 8{,}86 .10^{-12}\ C^2/N.m^2$

2/ Vetơ cường độ điện trường $\vec{E}$

$$\vec{F} = q.\vec{E} \qquad (8\text{-}3)$$

3/ Véctơ cường độ điện trường của một điện tích điểm q

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^3}\vec{r} \qquad (8\text{-}4)$$

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r^2} \qquad (8\text{-}5$$

4/ Véctơ cường độ điện trường của hệ điện tích điểm

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i \qquad (8\text{-}6)$$

5/ Véctơ cường độ điện trường của một điện tích bất kì

$$\vec{E} = \int_{(Q)} \frac{dq}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^3} \vec{r} \qquad (8\text{-}7)$$

6/ Véctơ cảm ứng điện

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_o \vec{E} \qquad (8\text{-}8)$$

7/ Điện thông

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} \qquad (8\text{-}9)$$

8/ Phát biểu định lí O-G của điện trường

Dạng tích phân

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} = \sum_{i}^{n} q_i \qquad (8\text{-}10)$$

Dạng vi phân

$$\text{div}\,\vec{D} = \rho \qquad (8\text{-}11)$$

9/ Điện trường gây ra bởi mặt phẳng mang điện đều rộng vô hạn

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_o} \qquad (8\text{-}12)$$

10/ Điện trường giữa hai mặt phẳng song song rộng vô hạn mang điện đều trái dấu

$$E_M = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_o} \qquad (8\text{-}13)$$

11/ Cường độ điện trường E tại điểm M nằm ngoài mặt cầu mang điện tích Q

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} \qquad (8\text{-}14)$$

12/ Thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường bất kì

$$W_{t1} = q_o \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (8\text{-}15)$$

13/ Thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường của điện tích điểm q

$$W_t = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r} \qquad (8\text{-}16)$$

14/ Thế năng của điện tích điểm q_o trong điện trường của hệ điện tích điểm

$$W_{t1} = \sum_i^n \frac{q_o q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_i} \qquad (8\text{-}17)$$

15/ Điện thế V

$$W_t = qV \qquad (8\text{-}18)$$

16/ Điện thế tại một điểm trong điện trường bất kì

$$V_1 = \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (8\text{-}19)$$

17/ Điện thế tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r} \qquad (8\text{-}20)$$

18/ Điện thế tại một điểm trong điện trường của hệ điện tích điểm

$$V = \sum_i^n \frac{q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_i} \qquad (8\text{-}21)$$

19/ Hiệu điện thế

$$U = V_1 - V_2 = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (8\text{-}22)$$

20/ Công của lực tĩnh điện

$$A_{12} = q(V_1 - V_2) \qquad (8\text{-}23)$$

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2} \qquad (8\text{-}24)$$

21/ Năng lượng điện của hệ điện tích điểm

$$W_e = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} q_i V_i \qquad (8\text{-}25)$$

22/ Năng lượng điện của vật dẫn

$$W_e = \frac{1}{2} QV \qquad (8\text{-}26)$$

23/ Tụ điện phẳng

$$C = \frac{Q}{V_1 - V_2} = \frac{Q}{U} \qquad (3\text{-}27)$$

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_o S}{d} \qquad (8\text{-}28)$$

24/ Năng lượng của tụ điện

$$W_e = \frac{1}{2} QU \qquad (8\text{-}29)$$

25/ Năng lượng của điện trường đều

$$W_e = \frac{1}{2} \varepsilon\varepsilon_o E^2 v \qquad (8\text{-}30)$$

$$W_e = \frac{1}{2} ED v \qquad (8\text{-}31)$$

26/ Năng lượng của điện trường bất kì

$$W_e = \int_{(v)} \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon E^2 dv = \int_{(v)} \frac{1}{2} DEdv \qquad (8\text{-}32)$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 8

Câu 1: Lực tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm $q_1 = q_2 = q_o > 0$ đặt tại A và B là f. Nếu đặt thêm vào trung điểm của AB một điện tích $q_3 = qo$. Khi đó lực tác dụng lên điện tích q_1 hay q_2 là F bằng :

a) F = 2f

b) F = 3f

c) F = 4f

d) F = 5f

Câu 2: Hai diện tích điểm $q_1 = qo$ và $q_2 = - q_o$ đặt tại hai điểm A và B . Vậy véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của hệ tại những điểm nằm trên đường trung trực của AB hợp với đường trung trực một góc α ?

a) $\alpha = 0$

b) $\alpha < \pi/2$ khi ra xa hệ

c) $\alpha = \pi/2$

d) $\alpha < \pi/2$ khi lại gần hệ

Câu 3: Tại vị trí 1 cách điện tích điểm q một khoảng $r_1 = 1m$ có cường độ điện trường $E_1 = 10$ V/m . Vậy tại vị trí 2 cách q một khoảng $r_2 = 2m$ có cường độ điện trường E_2 bằng:

a) $E_2 = 2,5$ V/m

b) $E_2 = 3$ V/m

c) $E_2 = 5$ V/m

d) $E_2 = 7,5$ V/m

Câu 4: Chọn phát biểu sai về tính chất của đường sức điện trường E:

a) không cắt nhau

b) đi ra từ điện tích dương

c) hướng vào điện tích âm

d) liên tục khi đi qua mặt ngăn cách giữa hai môi trường

Câu 5: Nước có hằng số điện môi ε = 81. Trên $1m^2$ của mặt nước có 162 đường sức điện trường E đi từ chân không vào nước .Vậy sau khi qua mặt nước còn lại mấy đường:

a) 2

b) 27

c) 81

d) 162

Câu 6: Nước có hằng số điện môi ε = 81. Trên $1m^2$ của mặt nước có 162 đường cảm ứng điện D đi từ chân không vào nước. Vậy sau khi qua mặt nước còn lại mấy đường:

a) 2

b) 27

c) 81

d) 162

Câu 7: Điện thông đi qua một mặt kín S nhận giá trị:

a) luôn bằng không

b) dương

c) âm

d) có thể âm , dương hay bằng không tuỳ theo môi trường trong mặt kín .

Câu 8: Điện thông đi vào một mặt kín S nhận giá trị :

a) luôn bằng không

b) dương

c) âm

d) có thể âm , dương hay bằng không tuỳ theo môi trường trong mặt kín .

Câu 9: Điện thông đi ra một mặt kín S nhận giá trị:

a) luôn bằng không

b) dương

c) âm

d) có thể âm , dương hay bằng không tuỳ theo môi trường trong mặt kín .

Câu 10: Hai mặt cầu đồng tâm, mặt cầu một có bán kính r_1 và diện tích S_1, mặt cầu hai có bán kính $r_2 = 2\ r_1$ và diện tích S_2. Tại tâm của hai mặt cầu có một điện tích điểm q.Gọi ϕ_1 và ϕ_2 là điện thông qua S_1 và S_2 . Vậy:

a) $\phi_2 = \phi_1$

b) $\phi_2 = 2\ \phi_1$

c) $\phi_2 = 4\ \phi_1$

d) $\phi_1 = 2\ \phi_2$

Câu 11: Lưu số của véctơ cường độ điện trường tĩnh $\vec{E}$ dọc theo một đường cong kín (C) có giá trị :

a) luôn luôn bằng không

b) phụ thuộc vào kích thước đường cong kín

c) phụ thuộc vào điện trường $\vec{E}$

d) phụ thuộc vào hình dạng đường cong kín .

Câu 12: Công của lực tĩnh điện $\vec{F}$ dọc theo một đường cong kín (C) có giá trị:

a) luôn luôn bằng không

b) phụ thuộc vào kích thước đường cong kín

c) phụ thuộc vào điện trường $\vec{F}$

d) phụ thuộc vào hình dạng đường cong kín .

Câu 13: Điện tích điểm $q_o = -10^{-4}$ C chuyển động chung quanh điện tích điểm $q = 10^{-4}$C trên quỹ đạo tròn bán kính r = 1m trong chân không. Vậy thế năng W_t của điện tích q_o trong điện trường của điện tích q bằng :

a) $W_t = -45$ J

b) $W_t = -90$ J

c) $W_t = 45$ J

d) $W_t = 90$ J

Câu 14: Một điện tích điểm $q_o = 10^{-6}$ C chuyển động trong điện trường của một điện tích điểm $q = 10^{-3}$ C từ vị trí 1 cách q một đoạn $r_1 = 1$m đến vị trí 2 cách q một đoạn $r_2 = 2$m trong chân không . Vậy công của lực tĩnh điện tác dụng lên q_o:

a) A = 4,5 J

b) A = - 4,5 J

c) A = 9 J

d) A = - 9 J

Câu 15: Hai điện tích $q_1 = q_o$ và $q_2 = -q_o$ đặt tại hai điểm A và B trong chân không . Vậy công A của lực tĩnh điện tác dụng lên điện tích điểm q khi dịch chuyển theo đường trung trực của AB ?

a) A = 0

b) A tăng khi lại gần hệ

c) A giảm khi ra xa hệ

d) A cực đại tại O trung điểm của AB

Câu 16: Đường sức điện trường hợp với mặt đẳng thế một góc :

a) $\alpha = 0$

b) $\alpha = \pi/2$

c) $\alpha > \pi/2$

d) $\alpha < \pi/2$

Câu 17: Một quả cầu kim loại mang điện. Phát biểu nào sau đúng .

a) điện trường giảm từ mặt cầu vào tâm

b) điện thế giảm từ mặt cầu vào tâm

c) điện thế tại tâm quả cầu bằng không

d) điện thế tại mọi điểm trong quả cầu bằng nhau

Câu 18 : Khi điện tích Q của tụ điện thay đổi thì đại lượng nào sau của tụ điện không thay đổi:

a) điện dung

b) điện trường

c) hiệu điện thế

d) năng lượng

CHƯƠNG 9: TỪ TRƯỜNG

I. Dòng điện

Năm 1800 Nhà vật lý người Ý là Volta đã phát minh ra nguồn điện một chiều đầu tiên. Chiếc pin Volta đầu tiên được chế tạo gồm một bản Kẽm và một bản Đồng nhúng trong dung dịch acid sunfuric.

I.1. Dòng điện

Dòng điện là dòng chuyển động có hướng của các điện tích . Chiều dòng điện được qui ước là chiều chuyển động của hạt mang điện tích dương hay ngược chiều chuyển động hạt mang điện tích âm hay cùng chiều với véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ tạo ra dòng điện.

Phân Tích:

Bình thường trong một dây dẫn, ví dụ dây Đồng, các hạt electron tự do trong dây dẫn chuyển động nhiệt hỗn loạn, trong dây dẫn không có dòng điện.

Nếu trong dây dẫn có tồn tại một điện trường vĩ mô, khác với điện trường trong nguyên tử cấu tạo dây dẫn là điện trường vi mô, điện trường tác dụng lên hạt electron một lực tĩnh điện $\vec{F} = e\vec{E}$. Dưới tác dụng của lực tĩnh điện $\vec{F}$ các hạt electron chuyển động có hướng , ngược chiều với véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$, tạo nên dòng điện.

Điện trường lan truyền theo dây dẫn rất nhanh bằng vận tốc ánh sáng. Khi lan truyền theo dây dẫn điện trường tác dụng lên các hạt electron một lực tĩnh điện $\vec{F} = e\vec{E}$ làm cho các hạt electron tự do tại đó chuyển động có hướng và tạo dòng điện tại đó.

I.2. Cường độ dòng điện

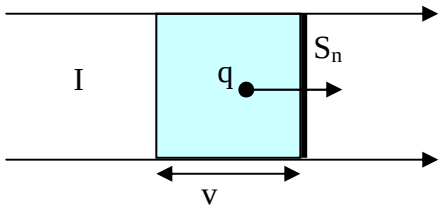
Cường độ dòng điện I có giá trị bằng điện lượng dịch chuyển qua tiết diện dây dẫn trong một giây .

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad (9\text{-}1)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của cường độ dòng điện là Ampere (A).

Đối với dòng điện không đổi:

$$q = I\,t \qquad (9\text{-}2)$$



H.9.1

Theo (9-1) Cường độ dòng điện I có giá trị bằng **điện lượng** dịch chuyển qua tiết diện S_n của dây dẫn trong một giây.

Theo hình vẽ: v là đoạn đường hạt điện q dịch chuyển trong một giây. Vậy số hạt điện q dịch chuyển qua tiết diện S_n trong một giây bằng số hạt điện chứa trong thể tích $dV = v.S_n$. Gọi n_o là mật độ hạt điện trong dây dẫn (số hạt điện trên một đơn vị thể tích), số hạt điện chứa trong thể tích dV là $n = n_o\, v.\, S_n$

Vậy **điện lượng** dịch chuyển qua tiết diện S_n của dây dẫn trong một giây hay cường độ dòng điện I chạy qua tiết diện S_n.

$$I = n_o \,|q|\, v \,.\, S_n \qquad (9\text{-}3)$$

I.3.Véctơ mật độ dòng điện :

Véctơ mật độ dòng điện $\vec{J}$ là đại lượng đặt trưng cho phương chiều và độ lớn của dòng điện tại một điểm, được định nghĩa :

$$\vec{J} = n_o\, q\, \vec{v} \qquad (9\text{-}4)$$

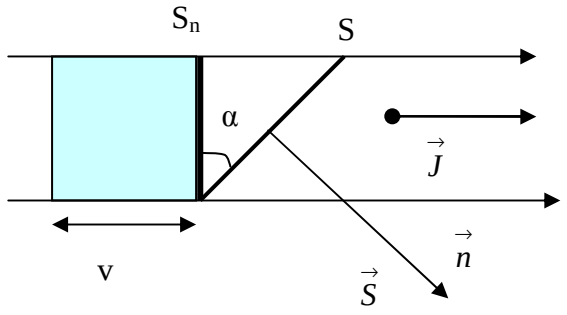
Với :

- n_o là mật độ hạt điện.
- q là điện tích của hạt điện.
- $\vec{v}$ vận tốc có hướng của hạt điện .

Ta có độ lớn của $\vec{J}$:

$$J = n_o \,|q|\, v \qquad (9\text{-}5)$$

H.9.2



Giả sử có dòng điện không đổi I chuyển động trong một dây dẫn hình trụ tiết diện S_n.

Nhân hai vế biểu thức (9-5) với S_n. Ta được:

$$S_n\, J = n_o \,|q|\, v \,.\, S_n$$

Theo (9-3) ta có:

$$S_n\, J = n_o \,|q|\, v \,.\, S_n = I$$

Vậy: $I = J.\, S_n$ (9-6)

Như vậy véctơ mật độ dòng điện $\vec{J}$ cùng chiều với dòng điện, có độ lớn bằng cường độ dòng điện qua một đơn vị tiết diện dây dẫn.

Từ hình vẽ và biểu thức (9-6) ta có:

$$I = J \cdot S_n = J.S.\cos\alpha = \vec{J}.\vec{S} \qquad (9\text{-}7)$$

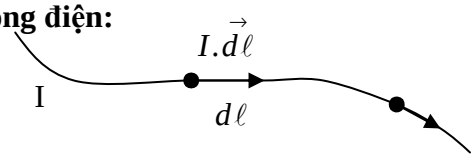
Với:

- S là mặt bất kì
- $\vec{S} = S.\vec{n}$ là véctơ vuông góc với mặt S, có độ lớn bằng giá trị của mặt S.
- $\vec{n}$ là véctơ pháp tuyến đơn vị của mặt phẳng S.

Trong trường hợp tổng quát, ta có:

$$I = \int_{(S)} \vec{J}.d\vec{S} \qquad (9\text{-}8)$$

I.4. Phần tử dòng điện:



H.9.3

Trên dòng điện I tạo một đoạn rất ngắn $d\ell$ được xem như thẳng . Trên $d\ell$ thiết lập véctơ $\vec{d\ell}$ theo chiều dòng điện. Phần tử dòng điện là một đại lượng véctơ được định nghĩa: $I\,\vec{d\ell}$

Theo (9-6) ta có:

$I\,\vec{d\ell} = J.S_n.\vec{d\ell}$ (1)

Vì $\vec{J}$ và $\vec{d\ell}$ cùng chiều nên ta viết lại (1)

$I\,\vec{d\ell} = J.S_n.\vec{d\ell} = S_n.d\ell.\vec{J}$ (2)

Thế (9-4) vào (2) ta được:

$I\,\vec{d\ell} = S_n.d\ell.n_o q\vec{v} = n\,q\,\vec{v}$

Hay: $I\,\vec{d\ell} = n\,q\,\vec{v}$ (9-9)

Với $n = n_o S_n d\ell$ là số hạt điện q chứa trong dây dẫn ứng với phần tử dòng điện $I\,\vec{d\ell}$

II. Định luật Biot – Savart – Laplace

Năm 1820 Nhà vật lý người Đan Mạch Oersted đã khám phá ra dòng điện tạo ra chung quanh nó một từ trường. Từ đó đã khai sinh ra một lĩnh vực nghiên cứu vật lý mới là điện từ học.

II.1. Từ trường

Dòng điện hay hạt điện chuyển động tạo ra trong không gian chung quanh nó một từ trường. Từ trường là một dạng vật chất lan truyền trong không gian bằng vận tốc của

ánh sáng. Tương tác từ giữa các dòng điện được thực hiện thông qua từ trường của chúng . Tính chất cơ bản của từ trường là tác dụng lên dòng điện hay hạt điện chuyển động một lực từ.

Để đặc trưng từ trường về phương diện lực. Người ta dùng khái niệm véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$.

Độ lớn của véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ được gọi là cảm ứng từ B.

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của cảm từ B là Tesla (T).

Năm 1826 Nhà vật lý người Pháp Ampere đã đưa ra cách giải thích từ trường do các nam châm tự nhiên tạo ra là do các ***dòng điện phân tử*** tạo ra và cũng chính Ampere là người tạo ra nam châm điện đầu tiên.

II.2 . Định luật Biot – Savart – Laplace (1820)

Véctơ cảm ứng từ $d\vec{B}$ của từ trường do phần tử dòng điện $I\,d\vec{\ell}$ gây ra được xác định theo định luật Biot – Savart – Laplace**.**

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{I\,d\vec{\ell}\times\vec{r}}{r^3} \qquad (9\text{-}10)$$

- $d\vec{B}$ có độ lớn: $dB = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{Id\ell.\sin\theta}{r^2}$ (9-11)

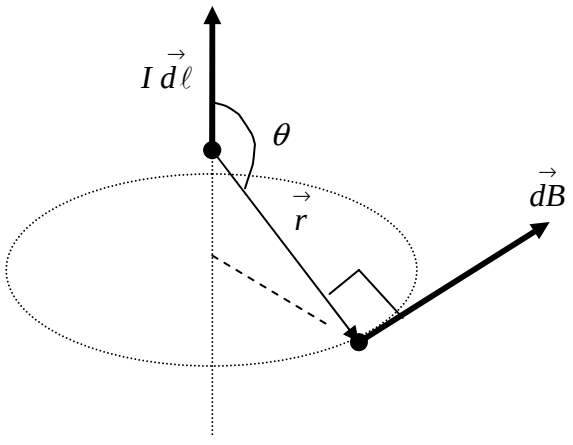
  Với: θ = $(I\,d\vec{\ell}, \vec{r})$

- $d\vec{B}$ có phương vuông góc với $I\,d\vec{\ell}$ và $\vec{r}$

- $d\vec{B}$ có chiều được xác định theo qui tắc bàn tay phải: đặt bàn tay phải theo chiều dòng điện , sao cho lòng bàn tay nhìn về điểm xác định từ trường, chiều ngón cái dang ra là chiều của $d\vec{B}$.

Với:

- $\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ H/m là hằng số từ
- μ là độ từ thẩm tỉ đối của môi trường, đặc trưng cho tính chất từ của môi trường, trong chân không μ = 1



H.9.4

II.3. Véctơ cường độ từ trường

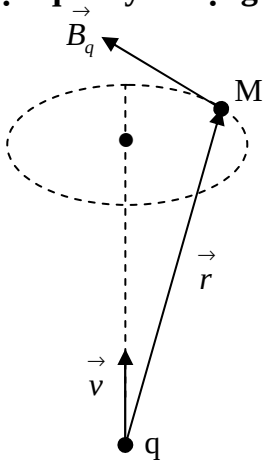
Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ được định nghĩa:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_o} \qquad (9\text{-}12)$$

Độ lớn của véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ được gọi là cường độ từ trường H.

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của cường độ từ trường H là A/m .

II.4. Từ trường của một hạt điện q chuyển động



H.9.5

Gọi n là số hạt điện chứa trong dây dẫn ứng với phần tử dòng điện $I\,d\vec{\ell}$ và $d\vec{B}$ là véctơ cảm ứng từ do phần tử dòng điện $I\,d\vec{\ell}$ gây ra. Ta suy ra véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_q$ của từ trường do hạt điện q chuyển động gây ra:

$$\vec{B}_q = \frac{d\vec{B}}{n} \qquad (1)$$

Thế (9-10) vào (1) ta được:

$$\vec{B}_q = \frac{1}{n}.\ \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{I\,d\vec{\ell}\times\vec{r}}{r^3} \qquad (2)$$

Thế (9-9) vào (2) ta được:

$$\vec{B}_q = \frac{1}{n}.\ \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{n\,q\,\vec{v}\times\vec{r}}{r^3}$$

Vậy véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_q$ của từ trường do hạt điện q chuyển động với véctơ vận tốc $\vec{v}$ gây ra tại điểm M cách q một đoạn r được xác định theo biểu thức sau:

$$\vec{B}_q = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{q\vec{v}\times\vec{r}}{r^3} \qquad (9\text{-}13)$$

- $\vec{B}_q$ có độ lớn: $B_q = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{|q|.v.\sin\theta}{r^2}$ (9-14)

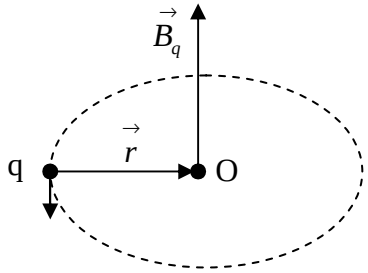
  Với θ = ($\vec{v}$, $\vec{r}$)

- $\vec{B}_q$ có phương vuông góc với $\vec{v}$ và $\vec{r}$

- Chiều của $\vec{B}_q$ được xác định theo qui tắc bàn tay phải: Nếu q > 0 đặt bàn tay phải theo chiều $\vec{v}$, nếu q < 0 đặt bàn tay phải ngược chiều $\vec{v}$, sao cho lòng bàn tay nhìn về điểm xác định từ trường, chiều ngón cái dang ra là chiều của $\vec{B}_q$.

Phân tích:

Một hạt điện q > 0 chuyển động với vận tốc v trên quỹ đạo tròn bán kính r. Hãy xác định véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_q$ của từ trường do hạt điện q gây ra tại tâm của O của quỹ đạo.



Vì θ = ($\vec{v}$, $\vec{r}$) = $\frac{\pi}{2}$ nên sin θ = 1

Véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_q$ có phương nằm theo trục quỹ đạo tròn, có chiều xác định theo quy tắc bàn tay phải.

Theo (9-14) có độ lớn: $B_q = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{|q|.v}{r^2}$ **(9-14a)**

II.4. Từ trường của dòng điện

Để xác định véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường gây ra bởi dòng điện I bất kì, ta chia dòng điện I thành nhiều phần tử dòng điện $I\,d\vec{\ell}$. Khi đó véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường do dòng điện I gây ra được tính theo:

$$\vec{B} = \int_{(I)} d\vec{B} \qquad (9\text{-}15)$$

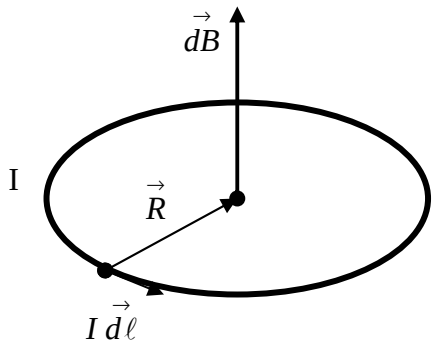
Trong đó $d\vec{B}$ là véctơ cảm ứng từ gây ra bởi phần tử dòng điện $I\,d\vec{\ell}$.

Véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của từ trường gây ra bởi nhiều dòng điện, được xác định theo :

$$\vec{B} = \sum_i^n \vec{B}_i \qquad (9\text{-}16)$$

Trong đó $\vec{B}_i$ là véctơ cảm ứng của từ trường gây ra bởi dòng điện thứ i (I_i) .

II.4.1. Từ trường gây ra bởi dòng điện tròn



H.9.6

Để xác định véctơ cảm ứng $\vec{B}$ của từ trường do dòng điện tròn gây ra tại tâm O, ta chia dòng điện tròn thành những phần tử dòng điện $I\,\vec{d\ell}$. Khi đó véctơ cảm ứng $\vec{B}$ tại tâm O được tính theo:

$$\vec{B} = \int_{(I)} \vec{dB} \qquad (1)$$

Vì véctơ cảm ứng từ $\vec{dB}$ của mọi phần tử dòng điện $I\,\vec{d\ell}$ đều nằm trên trục của dòng điện tròn và cùng chiều. Nên (1) được viết lại:

$$B = \int_{(I)} dB$$

Theo (9-11) ta có: $dB = \dfrac{\mu\mu_o}{4\pi}\dfrac{Idl}{R^2}$, vì sin θ = 1

Suy ra : $B = \dfrac{\mu\mu_o I}{4\pi R^2}\int_o^{2\pi R} dl$

Lấy tích phân ta được:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2R} \qquad (9\text{-}17)$$

Để đo từ trường gây ra bởi một dòng điện tròn, người ta đưa ra khái niệm véctơ mômen từ $\vec{p}_m$ được định nghĩa như sau:

$$\vec{p}_m = I\vec{S} \qquad (9\text{-}18)$$

Với: $\vec{S} = S\vec{n}$, S = π R^2 là diện tích giới hạn bởi dòng điện tròn, $\vec{n}$ là véctơ đơn vị cùng phương với trục dòng điện tròn, có chiều xác định theo qui tắc bàn tay phải:

đặt bàn tay phải theo chiều dòng điện, lòng bàn tay hướng vào tâm, chiều ngón cái dang ra là chiều của $\vec{n}$.

Biểu thức (9-17) được viết lại như sau:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu \vec{p}_m}{2\pi R^3} \qquad (9\text{-}19)$$

Từ (9-12) và (9-17) ta suy ra cường độ từ trường H của dòng điện tròn tại tâm O:

$$H = \frac{I}{2R} \qquad (9\text{-}20)$$

Phân tích:

Một hạt điện q chuyển động với vận tốc v trên quỹ đạo tròn bán kính R. Hãy áp dụng công thức (9-17) xác định véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ do hạt điện q gây ra tại tâm của O của quỹ đạo.

Hạt điện q chuyển động với vận tốc v trên quỹ đạo tròn bán kính R, tạo ra trên quỹ đạo tròn dòng điện I. Theo định nghĩa cường độ dòng điện I bằng điện lượng dịch chuyển qua tiết diện dây dẫn trong một giây.

Ta có I = n q:

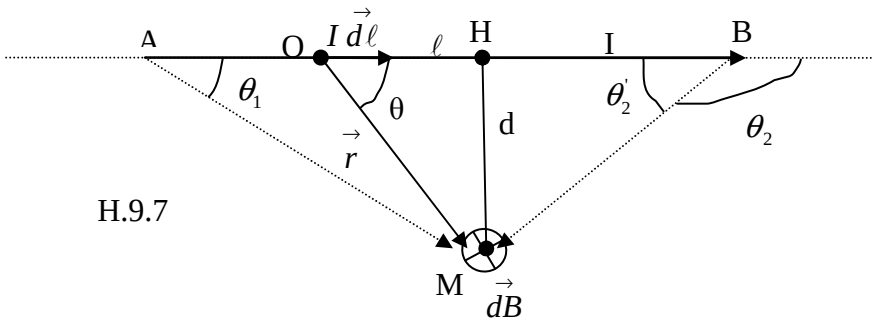
- n là số lần hạt điện q đi qua tại một điểm trên quỹ đạo trong một giây.
- $n = \frac{v}{2\pi R}$, với v là tốc độ của hạt điện q (đoạn đường hạt điện q đi được trong một giây) và 2π R là chu vi quỹ đạo tròn tròn.
- Vậy $I = \frac{qv}{2\pi R}$ (1)

Thế (1) vào (9-17) ta được:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2R} = \frac{\mu\mu_o qv}{4\pi R^2} \qquad (9\text{-}17a)$$

Nhận xét: Ta thấy (9-17a) giống (9-14a)

II.4.2. Từ trường gây ra bởi dòng điện thẳng.



H.9.7

Để xác định véctơ cảm ứng $\vec{B}$ của từ trường do dòng điện thẳng AB gây ra tại điểm M, ta chia dòng điện AB thành những phần tử dòng điện $I\vec{d\ell}$. Khi đó véctơ cảm ứng $\vec{B}$ của từ trường tại M được tính theo:

$$\vec{B} = \int_{(AB)} \vec{dB} \qquad (1)$$

Với $\vec{dB}$ là véctơ cảm ứng của từ trường do phần tử dòng điện $I\vec{d\ell}$ gây ra tại điểm M.

Vì véctơ cảm ứng từ $\vec{dB}$ của mọi phần tử dòng điện $I\vec{d\ell}$ đều cùng phương chiều . Nên (1) được viết lại:

$$B = \int_{(AB)} dB \qquad (2)$$

Theo (9-11) ta có: $dB = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{Id\ell.\sin\theta}{r^2}$

Vậy :

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{4\pi}\int_{(AB)}\frac{d\ell\sin\theta}{r^2} \qquad (3)$$

Xét tam giác vuông HOM:

- Đặt OH = ℓ, OM = d
- r = d/sinθ (4)
- ℓ = d. cotgθ . Suy ra dℓ = - d.dθ/sin^{2}θ , vì dℓ là độ dài có giá trị dương,
- Nên dℓ = d. dθ /sin^{2}θ (5)

Thế (4) và (5) vào (3), ta được:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{4\pi d}\int_{\theta_1}^{\theta_2}\sin\theta.d\theta$$

Lấy tích phân, ta được :

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{4\pi d}\left(\cos\theta_1 - \cos\theta_2\right) \qquad (9\text{-}21)$$

Hay: $$B = \frac{\mu\mu_o I}{4\pi d}\left(\cos\theta_1 + \cos\theta_2^{'}\right) \qquad (9\text{-}22)$$

Suy ra cường độ từ trường:

$$H = \frac{I}{4\pi d}\left(\cos\theta_1 + \cos\theta_2^{'}\right) \qquad (9\text{-}23)$$

Với : $\theta_1 = \left(\vec{AB}, \vec{AM}\right)$ và $\theta_2 = \left(\vec{AB}, \vec{BM}\right)$

Ghi chú: $\theta_2 + \theta_2^{'} = \pi \Rightarrow \cos\theta_2 = -\cos\theta_2^{'}$

II.4.2. Từ trường gây ra bởi dòng điện thẳng dài vô hạn

Trường hợp dòng điện thẳng dài vô hạn: $\theta_1 \sim 0$ và $\theta_2^{'} \sim 0$. Từ (9-22) ta suy ra:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2\pi d} \qquad (9\text{-}24)$$

Hay : $$H = \frac{I}{2\pi d} \qquad (9\text{-}25)$$

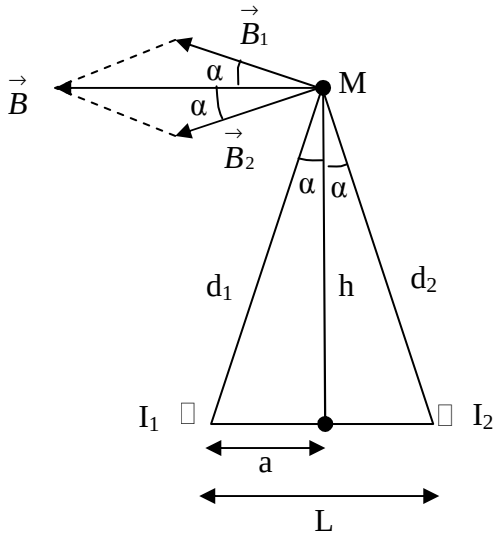
Bài 9.1: Hai dòng điện thẳng $I_1 = I_2 = I = 2$ A song song **cùng chiều** dài vô hạn, cách nhau một đoạn L = 4 m trong chân không. Hãy tính cảm ứng từ B tại điểm M trong mặt phẳng vuông góc với hai dòng điện và nằm trên đường trung trực của L, cách trung điểm O của L một đoạn h = 1 m

Phương pháp giải:

Hai dòng điện I_1 và I_2 vuông góc với mặt phẳng hình vẽ và hướng ra.

Dòng điện I_1 gây ra tại điểm M từ trường $\vec{B}_1$ có phương vuông góc với d_1, có chiều như hình vẽ.

Dòng điện I_1 gây ra tại điểm M từ trường $\vec{B}_2$ có phương vuông góc với d_2, có chiều như hình vẽ.



Vì $I_1 = I_2 = I$ và $d_1 = d_2 = d$ nên: $B_1 = B_2 = \frac{\mu_o I}{2\pi d}$ (1)

Vì $B_1 = B_2$ nên hình bình hành tạo bởi $\vec{B}_1$ và $\vec{B}_2$ là hình thoi.

Theo hình vẽ hai góc $(\vec{B}_1, \vec{B}_2)$ và (d_1, d_2) bằng nhau.

Từ trường $\vec{B}$ do hai dòng điện I_1 và I_2 gây ra tại điểm M.

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \qquad (2)$$

Chiếu biểu thức (2) lên phương chiều của $\vec{B}$, ta được:

$$B = B_1 \cos\alpha + B_2 \cos\alpha = 2 B_1 \cos\alpha \qquad (3)$$

Theo hình vẽ ta có:

$$\cos\alpha = \frac{h}{d} \qquad (4)$$

Thế (1) và (4) vào (3) , ta được cảm ứng từ B do hai dòng điện I_1 và I_2 gây ra tại điểm M.

$$B = 2\frac{\mu_o I h}{2\pi d^2} \quad (5)$$

Từ hình vẽ ta có: $d^2 = a^2 + h^2$ (6)

Thế (6) vào (5) ta được:

$$B = 2\frac{\mu_o I\, h}{2\pi(a^2+h^2)} = \frac{\mu_o I\, h}{\pi(a^2+h^2)} \qquad (7)$$

Với: $a = \frac{L}{2} = \frac{4}{2} = 2\ m$

Vậy từ trường tại M:

$$B = \frac{\mu_o I\, h}{\pi(a^2+h^2)} = \frac{4\pi.10^{-7}.2.1}{\pi(2^2+1^1)} = 1,6.10^{-7}\ T$$

$B = 1,6.10^{-7}$ T

<u>Bài 9.2</u>: Hai dòng điện thẳng $I_1 = I_2 = I = 2$ A song song cùng chiều dài vô hạn, cách nhau một đoạn L = 5 cm trong chân không. Hãy tính cảm ứng từ B tại điểm M trong mặt phẳng vuông góc với hai dòng điện, cách I_1 một đoạn $d_1 = 3$ cm và cách I_2 một đoạn

$d_2 = 4$ cm.

Đáp số:

$B = 1,67.10^{-5}$ T

<u>Bài 9.3</u>: Hai dòng điện thẳng $I_1 = I_2 = I = 2$ A song song ngược chiều dài vô hạn, cách nhau một đoạn L = 4 m, trong chân không . Hãy tính cảm ứng từ B tại điểm M trong mặt phẳng vuông góc với hai dòng điện và nằm trên đường trung trực của L, cách trung điểm O của L một đoạn h = 1 m

Đáp số:

B = $\frac{\mu_o I\, a}{\pi(a^2+h^2)} = 3,2.10^{-7}$ T - với a = L/2

<u>Bài 9.4</u>: Một dòng điện vuông cạnh a = 8cm, cường độ dòng điện I = 4 A, trong chân không. Tìm cảm ứng từ B tại tâm đối xứng của hình vuông.

Đáp số:

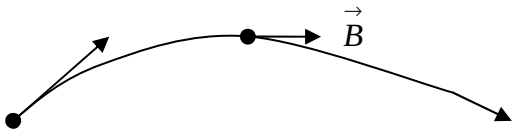
$B = 5,6.10^{-5}$ T

III. Định lí Ostrogradsky – Gauss (O – G) của từ trường

III.1. Đường sức từ

Để diễn tả từ trường một cách hình ảnh. Người ta dùng khái niệm đường sức từ trường, được định nghĩa như sau:

Đường sức từ trường là đường cong có chiều trong từ trường. Sao cho tiếp tuyến tại mọi điểm của đường sức trùng với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ tại điểm đó .



H.9.8

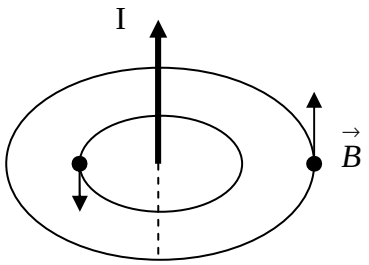
Đường sức từ trường có các tính chất sau :

- Đường sức từ trường là đường cong kín
- Các đường sức từ trường không cắt nhau
- Người ta qui ước vẽ số đường sức từ trường qua một đơn vị diện tích vuông góc với đường sức, bằng giá trị cảm ứng từ B tại đó. Có nghĩa giá trị cảm ứng từ B bằng mật độ đường sức từ n_m .

Đối với từ trường đều đường sức là những đường thẳng song song.

Đường sức từ của dòng điện thẳng là những đường tròn có tâm ở trên dòng điện.

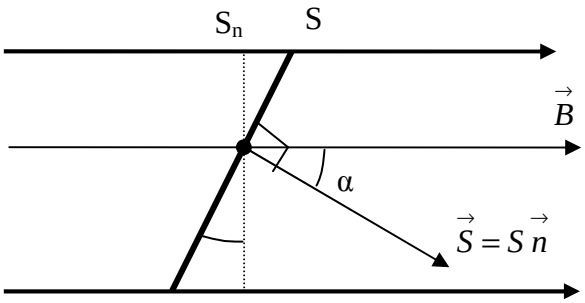
H.9.9



III. 2. Từ thông

III.2.1. Định nghĩa

H.9.10



Từ thông Φ_m của từ trường đều có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ đi qua mặt phẳng S được định nghĩa:

$$\Phi_m = \vec{B}.\vec{S} \qquad (9\text{-}26)$$

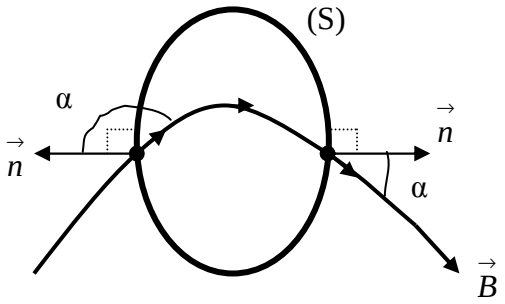
Hay: $\Phi_m = B.S.\cos\alpha$ (9-27)

Hay: $\Phi_m = B.S_n$

- Với $S_n = S\cos\alpha$

- $\alpha = (\vec{B}, \vec{S})$
- $\vec{S} = S.\vec{n}$ là véctơ vuông góc với mặt S, có độ lớn bằng giá trị của mặt S
- Véctơ $\vec{n}$ là véctơ pháp tuyến đơn vị của mặt phẳng S
- Nhận xét: từ thông Φ_m đi qua mặt S là đại lượng đại số . Giá trị của từ thông Φ_m đi qua mặt S bằng số đường sức từ xuyên qua mặt S.
- Từ thông có đơn vị là Wêbe (Wb) .

III.2.2. Trường hợp tổng quát



H.9.11

Để xác định từ thông Φ_m của từ trường bất kì có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ đi qua mặt S bất kì. Ta chia mặt S thành những mặt vi phân dS được xem như phẳng. Trên dS từ trường được xem như đều. Khi đó từ thông Φ_m đi qua mặt S được tính theo biểu thức sau:

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} \qquad (9\text{-}28)$$

Đối với mặt kín S người ta qui ước véctơ pháp tuyến đơn vị $\vec{n}$ hướng ra ngoài . Nên:

- Từ thông đi vào mặt S có giá trị âm (-)
- Từ thông đi ra khỏi mặt S có giá trị dương (+)

III.3.3. Phát biểu định lí O-G của từ trường

III.3.3.1 Dạng tích phân

Từ thông đi qua một mặt kín bất kì (S) bằng không.

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} = 0 \qquad (9\text{-}29)$$

III.3.3.2. Dạng vi phân

Theo toán học:

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} = \int_{(V)} div\,\vec{B}.dV = 0$$

Suy ra : $\text{div}\,\vec{B} = 0 \qquad (9\text{-}30)$

IV. Định lí Ampere

IV.1. Phát biểu định lí Ampere

IV.1.1. Dạng tích phân

Lưu số véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ dọc theo một đường cong kín (C) bất kì bằng tổng đại số các cường độ dòng điện xuyên qua diện tích giới hạn bởi đường cong (C).

$$\int_{(c)} \vec{H}.\vec{d\ell} = \sum_{i}^{n} I_i \qquad (9\text{-}31)$$

- Trong đó $I_i > 0$: nếu chiều lấy tích phân cùng chiều với $\vec{H}$ của dòng điện I_i .
- Trong đó $I_i < 0$: nếu chiều lấy tích phân ngược chiều với $\vec{H}$ của dòng điện I_i .

IV.1.2 Dạng vi phân

Trong môi trường dẫn điện liên tục:

$$\sum_{i}^{n} I_i \Rightarrow \int_{(S)} \vec{J}.\vec{dS} \qquad (1)$$

Theo giải tích véctơ: $\int_{(c)} \vec{H}.\vec{d\ell} = \int_{(S)} rot\,\vec{H}.\vec{dS}$ (2)

Với: S là diện tích giới hạn bởi đường cong (C).

Thế (1) và (2) vào (9-31). Ta được:

$$\int_{(S)} rot\,\vec{H}.\vec{dS} = \int_{(S)} \vec{J}.\vec{dS}$$

Suy ra: $rot\,\vec{H} = \vec{J}$ (9-32)

Với: $\vec{J} = n_o\, q\, \vec{v}$ là véctơ mật độ dòng điện

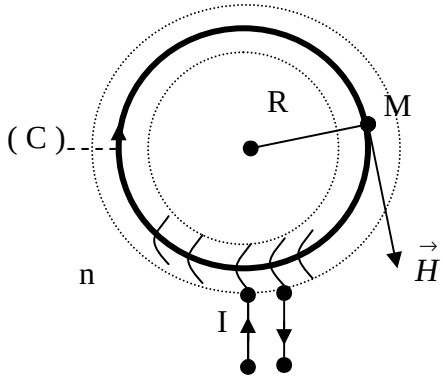
Đọc thêm:

Cho véctơ : $\vec{A} = A_x\,\vec{i} + A_y\,\vec{j} + A_z\,\vec{k}$

$$rot\,\vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}\right)\vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}\right)\vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right)\vec{k} \ .$$

IV.2 Ứng dụng định lí Ampere

IV.2.1. Từ trường trong ống dây tròn



H.9.12

Một ống dây điện tròn có n vòng và cường độ dòng điện I chạy trong ống dây. Để xác định cường độ từ trường H tại điểm M trong lòng ống dây và cách tâm ống dây một đoạn R . Từ M ta vẽ một vòng tròn (C) bán kính R cùng tâm với ống dây. Áp dụng định lí Ampere đối với vòng tròn (C):

$$\int_{(c)} \vec{H}.\vec{d\ell} = \int_{(c)} H.d\ell = nI$$

Do tính chất đối xứng tại mọi điểm trên vòng tròn cường độ từ trường H giống nhau.

Vậy: $H \int_{(c)} d\ell = H.2\pi R = nI$

Hay: $H = \frac{n}{2\pi R} I = n_o I$

$$H = n_o I \qquad (9\text{-}33)$$

Suy ra: $B = \mu \mu_o n_o I \qquad (9\text{-}34)$

Với $n_o = \frac{n}{2\pi R}$ là mật độ vòng dây.

IV.2.2. Từ trường trong ống dây thẳng dài vô hạn

Một ống dây thẳng có chiều dài ℓ rất lớn so với đường kính của ống, được xem là ống dây thẳng dài vô hạn. Từ trường trong ống dây thẳng dài vô hạn là từ trường đều. Có thể xem ống dây thẳng là một phần của ống dây tròn. Do đó ta có từ trường trong ống dây thẳng.

$$H = n_o I \qquad (9\text{-}35)$$

$$B = \mu \mu_o n_o I \qquad (9\text{ -}36)$$

Với $n_o = \frac{n}{\ell}$ là mật độ vòng dây

V. Định luật Ampere về tương tác từ

V.1. Định luật Ampere (1826)

Một phần tử dòng điện $I\vec{d\ell}$ đặt trong từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{dB}$. Từ trường sẽ tác dụng lên phần tử dòng điện $I\vec{d\ell}$ một từ lực $\vec{dF}$, được xác định theo định luật Ampere:

$$\vec{dF} = I\,\vec{d\ell} \times \vec{dB} \qquad (9\text{-}37)$$

- $\vec{dF}$ có độ lớn: $dF = Id\ell \,.\, dB.\sin\theta$ (9-38)

  Với: $\theta = (I\,\vec{d\ell},\ \vec{dB})$

- $\vec{dF}$ có phương vuông góc với $I\,\vec{d\ell}$ và $\vec{dB}$

- $\vec{dF}$ có chiều được xác định theo qui tắc bàn tay trái, đặt bàn tay trái theo chiều dòng điện, sao cho từ trường xuyên vào lòng bàn tay, chiều của ngón cái dang ra là chiều của từ lực.

Nếu từ trường $\vec{dB}$ được tạo ra bởi phần tử dòng điện $I_0\,\vec{d\ell}_0$ theo (9-10) ta có:

$$\vec{dB} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{I_0\,\vec{d\ell}_0 \times \vec{r}}{r^3}$$

Suy ra từ lực $\vec{dF}$ do phần tử dòng điện $I_0\,\vec{d\ell}_0$ tác dụng lên phần tử dòng điện $I\,\vec{d\ell}$:

$$\vec{dF} = \frac{\mu\,\mu_0}{4\pi}\frac{I\,\vec{d\ell} \times (I_o\,\vec{d\ell}_o \times \vec{r})}{r^3} \qquad (9\text{-}39)$$

Từ trường tác dụng lên dòng điện một từ lực Ampere được ứng dụng trong kỹ thuật để chế tạo động cơ điện.

Chú ý: Tương tác từ giữa hai phần tử dòng điện không tuân theo định luật Newton thứ ba.

Câu hỏi:

1) Hai dòng điện thẳng song song cùng chiều hút nhau hay đẩy nhau? Giải thích
2) Hai dòng điện thẳng song song ngược chiều hút nhau hay đẩy nhau? Giải thích

V.2. Lực Lorentz

Từ (9-37) dễ dàng suy ra, khi hạt điện q chuyển động với véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$, sẽ bị từ trường tác dụng một lực Lorentz (từ lực):

$$\vec{F_L} = q\,\vec{v} \times \vec{B} \qquad (9\text{-}40)$$

- $\vec{F_L}$ có giá trị: $F_L = q\,v\,B\sin\theta$ (9-41)

  Với: $\theta = (\vec{v}, \vec{B})$

- $\vec{F_L}$ có phương vuông góc với $\vec{v}$ và $\vec{B}$

- Chiều của $\vec{F}_L$ được xác định theo qui tắc bàn tay trái như từ lực Ampere. Nếu q > 0 đặt bán tay trái theo chiều vận tốc $\vec{v}$. Nếu q < 0 đặt bàn tay trái ngược chiều vận tốc $\vec{v}$

Hạt điện chuyển động trong từ trường bị từ trường tác dụng một lực Lorentz được ứng dụng: tạo thấu kính từ trong kính hiển vi điện tử, tạo máy gia tốc Cyclotron trong việc nghiên cứu hạt nhân và các hạt cơ bản, tạo máy khối phổ kế là một trong những thiết bị phân tích chất hóa học hiện đại không thể thiếu được trong các phòng thí nghiệm hóa học, sinh học, môi trường…

Câu hỏi:

1) Hãy trình bày cách dẫn từ công thức (9-37): $\vec{F}_A = I\,\vec{d\ell} \times \vec{B}$ ra công thức (9-40): $\vec{F}_L = q\,\vec{v} \times \vec{B}$

2) Một hạt điện q chuyển động với véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường đều có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$, sẽ bị từ trường đều tác dụng một lực Lorentz. Nếu phương của véctơ vận tốc $\vec{v}$ song song với phương của đường sức từ thì tốc độ v và quỹ đạo của hạt điện q thế nào?

3) Một hạt điện q chuyển động với véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường đều có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$, sẽ bị từ trường đều tác dụng một lực Lorentz. Nếu phương của véctơ vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với phương của đường sức từ thì tốc độ v và quỹ đạo của hạt điện q thế nào?

4) Một hạt điện q chuyển động với véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$, sẽ bị từ trường tác dụng một lực Lorentz. Vậy lực Lorentz có tác dụng làm thay đổi:
   a) Tốc độ v của hạt điện q
   b) Phương chiều của véctơ vận tốc $\vec{v}$ của hạt điện q
   c) Véctơ vận tốc $\vec{v}$ của hạt điện q

   Hãy chọn phương án nào đúng và giải thích

<u>Bài 9.5</u>:

Một thanh kim loại dài L = 2 m chuyển động tịnh tiến trong từ trường đều có cảm ứng từ B = 0,5 T, với tốc độ v = 3 m/s , phương của thanh L vuông góc với đường sức từ và cắt đường sức từ . Hãy tính cường độ điện trường E trong thanh và hiệu điện thế U giữa hai đầu thanh.

Đáp số:

E = 1,5 V/m và U = 3 V

Tham khảo (đọc thêm)

1/ Khối phổ kế

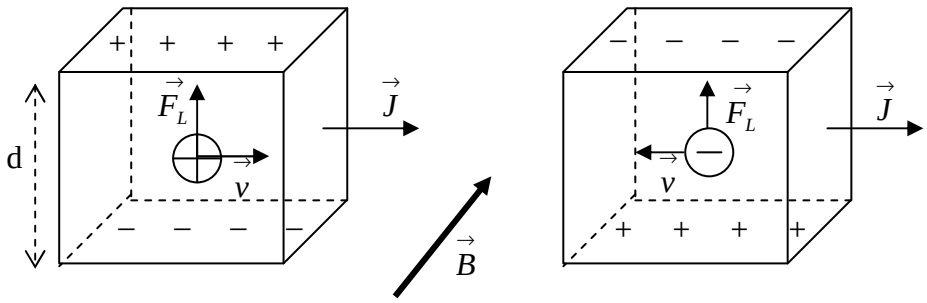
Các nguyên tử, phân tử khác nhau thì có khối lượng nguyên tử, phân tử khác nhau. Dựa vào đó, khối phổ kế sẽ xác định được nguyên tử, phân tử nào có trong mẫu chất. Ví dụ, muối NaCl hấp thụ năng lượng tách ra thành các phần tử tích điện, gọi là ion. Các ion Na^+, Cl^- có khối lượng nguyên tử khác biệt và mang điện dương hay âm.

Các ion được đưa vào buồng gia tốc và đi qua một khe. Sau đó đi qua một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$. Từ trường sẽ tác động lên mỗi ion một lực Lorentz làm lệch hướng chuyển động của chúng về phía đầu đo. Ion có khối lượng nhỏ hơn sẽ bị lệnh nhiều hơn ion có khối lượng lớn hơn. Đầu đo sẽ xác định xem ion bị lệch bao nhiêu, và từ giá trị đo này, tỉ lệ khối lượng trên-điện tích của ion có thể được tính toán. Từ đó, có thể xác định được thành phần hóa học của mẫu gốc.

2/ Hiệu ứng Hall

Hiện tượng xuất hiện một hiệu điện thế ở hai mặt bên của vật dẫn đặt trong từ trường $\vec{B}$ khi có dòng điện không đổi chạy qua gọi là hiệu ứng Hall.

Hiệu ứng Hall được phát hiện vào năm 1879 bởi Edwin H. Hall (người Mỹ) , lúc đó Hall mới 24 tuổi đang là sinh viên Cao học.



Khi đặt vật dẫn có mật độ dòng điện $\vec{J}$ vào trong một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ vuông góc với dòng điện. Từ trường sẽ tác dụng lên hạt điện q của dòng điện một lực Lorentz $\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$. Nên hạt điện q có thêm chuyển động phụ theo phương của lực Lorentz. Chiều chuyển động phụ thuộc vào dấu của hạt mang điện q. Kết quả hai mặt bên (A) và (B) của vật dẫn mang điện tích trái dấu và bên trong vật dẫn xuất hiên một điện trường $\vec{E}$. Điện trường này tác dụng lên hạt điện q một lực tĩnh điện $\vec{F}_e = q\vec{E}$ cùng phương và ngược chiều với lực Lorentz $\vec{F}_L$. Khi lực tĩnh điện và lực Lorentz cân bằng, ta có :

- $F = F_L$ *(1)*
- *Với:* $F = qE$ *(2)*
- *Và:* $F_L = qvB$ *(3)*

- *Thế (2) và (3) vào (1) ta được: E = vB*
- *Hiệu điện thế Hall giữa hai mặt (A) và (B) : $U_H = E.d = v.B.d$ (4)*
  Với d là khoảng cách giữa hai mặt (A) và (B).
- *Theo (9-5) mật độ dòng điện $J = n_0qv$ suy ra $v = \frac{J}{n_0 q}$ (5)*
- *Thế (5) vo (4) ta được: $U_H = \frac{J B d}{q n_0}$ (6)*
- *Trong đó n_0 là mật độ hạt điện, $R = \frac{1}{q n_0}$ là hằng số Hall*

Hiệu ứng Hall được ứng dụng để chế tạo máy đo từ trường gọi là Tesla kế. Ngoài ra còn được ứng dụng để xác định hạt mang điện chạy trong vật dẫn là hạt điện âm hay dương - Chính Hall là người đầu tiên xác định hạt điện chạy trong các kim loại tạo nên dòng điện là hạt mang điện tích âm. Đến năm 1897 J.J Thomson mới tìm ra được hạt electron , xác định mật độ hạt điện n_0, đo vận tốc hạt điện q trong vật dẫn, đo mật độ dòng điện không tiếp xúc…

VI. Vật liệu từ

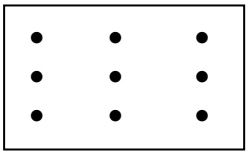
Một khối chất (tập hợp nhiều nguyên tử hay phân tử) tạo ra một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$, ta gọi khối chất đó bị từ hóa. Mọi khối chất khi được đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ đều bị từ hóa.

VI.1. Chất nghịch từ

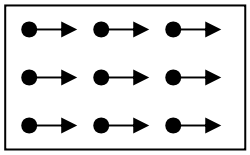
Chất nghịch từ là những chất, khi đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, chúng tạo ra một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_n$ ngược chiều với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ của từ trường ngoài ($B_n << B_0$): Nước, thủy tinh….

Tính chất nghịch từ được giải thích như sau:

Khi chưa đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$. Nguyên tử hay phân tử của chất nghịch từ có véctơ mômen từ $\vec{p}_m = 0$. Khi đặt vào trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, từ trường ngoài tác dụng lên các hạt electron của nguyên tử hay phân tử một lực Lorentz, làm cho các hạt electron của các nguyên tử hay phân tử có thêm chuyển động phụ chung quanh từ trường ngoài. Sự chuyển động phụ này của các hạt electron tạo ra từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_n$ ngược chiều với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ của trường ngoài, chất nghịch từ bị từ hóa.



$\vec{B}_0 = 0$



$\vec{B}_0 \neq 0$

H.9.13

VI.2.Chất thuận từ

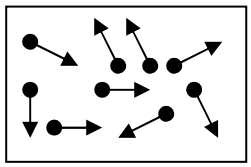
Chất thuận từ là những chất, khi đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, chúng tạo ra một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_t$ cùng chiều với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ của trường ngoài ($B_t << B_0$): Al, Na….

Tính chất thuận từ được giải thích như sau:

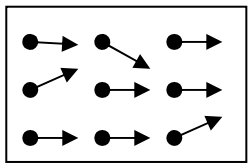
Khi chưa đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$. Nguyên tử hay phân tử của chất thuận từ đã có véctơ mômen từ $\vec{p}_m \neq 0$ và chúng chuyển động nhiệt một cách hỗn loạn, nên không bị từ hóa.

Khi đặt vào trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, các nguyên tử hay phân tử của chất thuận từ bị từ trường ngoài tác dụng, làm cho các véctơ mômen từ $\vec{p}_m$ của nguyên tử hay phân tử định hướng theo từ trường ngoài.

Sự định hướng này của các véctơ mômen từ $\vec{p}_m$ của nguyên tử hay phân tử tạo ra từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_t$ cùng chiều với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ của từ trường ngoài, chất thuận từ bị từ hóa.



$\vec{B}_0 = 0$



$\vec{B}_0 \neq 0$

H.9.14

VI.3 Chất sắt từ

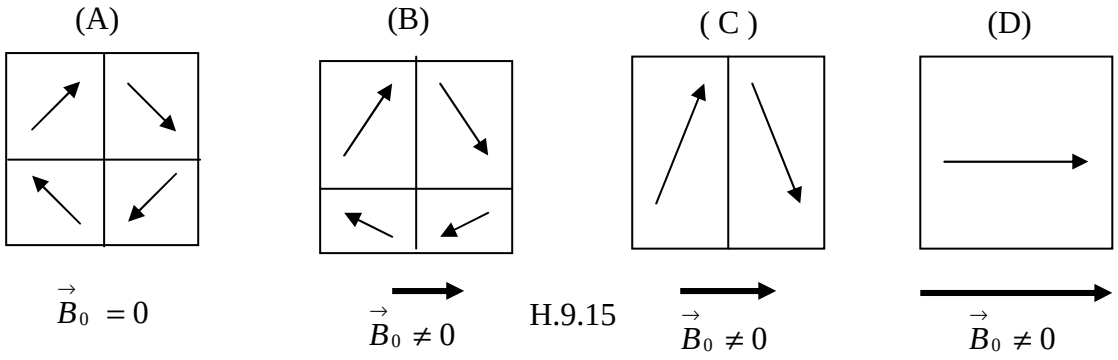
Chất sắt từ là những chất, khi đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, chúng tạo ra một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_S$ cùng chiều với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ của từ trường ngoài ($B_S >> B_0$): Fe, Ni, Co….

Tính chất sắt từ được giải thích như sau:

Khi chưa đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ nguyên tử hay phân tử của chất sắt từ đã có véctơ mômen từ $\vec{p}_m \neq 0$. Do có sự ***tương tác trao đổi*** của các véctơ mômen từ $\vec{p}_m$ của các nguyên tử hay phân tử định hướng song song nhau tạo thành ***miền từ hóa tự nhiên*** có kích thước khoảng 1 μm. Các miền từ hóa tự nhiên này sắp xếp một cách hỗn loạn, sao cho cả khối chất (vĩ mô) không bị từ hóa.

Khi đặt vào trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, từ trường ngoài tác dụng lên các miền từ hóa tự nhiên, miền từ hóa tự nhiên nào cùng chiều với từ trường ngoài sẽ mở rộng thể tích , còn miền từ hóa tự nhiên nào ngược chiều với từ trường ngoài sẽ co hẹp thể tích, rồi mất hẳn. Sự mở rộng hay co hẹp thể tích miền từ hóa tự

nhiên phụ thuộc vào cường độ của từ trường ngoài. Sự định hướng của các miền từ hóa tự nhiên theo từ trường ngoài tạo ra từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_S$, chất sắt từ bị từ hóa.



H.9.15

- Trường hợp (B), nếu bỏ từ trường ngoài $\vec{B}_0$, sẽ trở về trường hợp (A) chất sắt từ không bị từ hóa.

- Trường hợp (C) và (D), nếu bỏ từ trường ngoài $\vec{B}_0$, sẽ không trở về trường hợp (A) chất sắt từ còn bị từ hóa. Hiện tượng khi bỏ từ trường ngoài $\vec{B}_0$ mà chất sắt từ còn bị từ hóa được gọi là ***hiện tượng từ dư*** . Mọi chất sắt từ đều có hiện tượng từ dư.

Mọi chất sắt từ khi bị nung nóng, do chuyển động nhiệt hỗn loạn miền từ hóa tự nhiên sẽ bị phá vỡ, chất sắt từ trở thành chất thuận từ. Nhiệt độ để chất sắt từ trở thành chất thuận từ, gọi là nhiệt độ Curie (T_c), nhiệt độ Curie của:

Fe ($T_c = 770\ ^0C$), Ni ($T_C = 360\ ^0C$), Co ($T_C = 1150\ ^0C$).

Khi nhiệt độ hạ xuống dưới nhiệt độ Curie thì chất sắt từ trở về tính sắt từ. Tính chất này của chất sắt từ được ứng dụng để làm rơle nhiệt.

Vật liệu từ có nhiều ứng dụng trong kỹ thuật điện tử: làm các phần tử logic và bộ nhớ trong máy tính, lưu trữ thông tin…

VI.4. Hiện tượng từ giảo

Hiện tượng từ giảo do Nhà vật lý người Anh Joule phát hiện năm 1842.

Hiện tượng từ giảo là hiện tượng kích thước chất sắt từ thay đổi khi bị từ hóa. Nếu ta đặt một thanh sắt từ vào trong một từ trường biến thiên xoay chiều theo thời gian. Do bị từ hóa chiều dài của thanh sắt từ sẽ co dãn cùng tần số với từ trường ngoài.

Người ta ứng dụng hiện tượng từ giảo để tạo ra: đầu phát siêu âm, rơle, bộ rung.

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 9

1/ Cường độ dòng điện

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad (9\text{-}1)$$

2/Đối với dòng điện không đổi

$$q = I\,t \qquad (9\text{-}2)$$

$$I = n_o \,|q|\, v \,.\, S_n \qquad (9\text{-}3)$$

3/Véctơ mật độ dòng điện

$$\vec{J} = n_o\, q\, \vec{v} \qquad (9\text{-}4)$$

$$J = n_o \,|q|\, v \qquad (9\text{-}5)$$

$$I = J.\, S_n \qquad (9\text{-}6)$$

$$I = \vec{J}.\vec{S} \qquad (9\text{-}7)$$

$$I = \int_{(S)} \vec{J}.d\vec{S} \qquad (9\text{-}8)$$

4/ Phần tử dòng điện

$$I\,d\vec{\ell} = n\,q\,\vec{v} \qquad (9\text{-}9)$$

5/ Định luật Biot – Savart – Laplace

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\,\frac{I\,d\vec{\ell}\times\vec{r}}{r^3} \qquad (9\text{-}10)$$

$$dB = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\,\frac{Id\ell.\sin\theta}{r^2} \qquad (9\text{-}11)$$

$\mu_o = 4\pi.10^{-7}$ H/m là hằng số từ

6/ Véctơ cường độ từ trường

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_o} \qquad (9\text{-}12)$$

7/ Từ trường gây ra bởi hạt điện q chuyển động

$$\vec{B_q} = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\,\frac{q\vec{v}\times\vec{r}}{r^3} \qquad (9\text{-}13)$$

$$B_q = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\,\frac{|q|.v.\sin\theta}{r^2} \qquad (9\text{-}14)$$

6/ Từ trường gây ra bởi dòng điện tròn tại tâm

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2R} \qquad (9\text{-}15)$$

$$H = \frac{I}{2R} \qquad (9\text{-}16)$$

7/ Từ trường gây ra bởi dòng điện thẳng

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{4\pi d}\left(\cos\theta_1 + \cos\theta_2'\right) \qquad (9\text{-}17)$$

$$H = \frac{I}{4\pi d}\left(\cos\theta_1 + \cos\theta_2^{'}\right) \qquad (9\text{-}18)$$

8/ Từ trường gây ra bởi dòng điện thẳng dài vô hạn

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2\pi d} \qquad (9\text{-}19)$$

$$H = \frac{I}{2\pi d} \qquad (9\text{-}20)$$

9/ Từ thông

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} \qquad (9\text{-}21)$$

10/ Định lí O-G của từ trường

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} = 0 \qquad (9\text{-}22)$$

$$\text{div}\,\vec{B} = 0 \qquad (9\text{-}23)$$

11/ Định lí Ampere

$$\int_{(c)} \vec{H}.\vec{d\ell} = \sum_i^n I_i \qquad (9\text{-}24)$$

$$\text{rot}\ \vec{H} = \vec{J} \qquad (9\text{-}25)$$

12/ Từ trường trong ống dây tròn

$$H = n_o I \qquad (9\text{-}26)$$

$$B = \mu\,\mu_o\, n_o\, I \qquad (9\text{-}27)$$

13/ Từ trường trong ống dây thẳng dài vô hạn

$$H = n_o I \qquad (9\text{-}28)$$

$$B = \mu\,\mu_o\, n_o\, I \qquad (9\text{-}29)$$

14/ Định luật Ampere về tương tác từ

$$\vec{dF} = I\,\vec{d\ell}\times\vec{dB} \qquad (9\text{-}30)$$

$$dF = Id\ell\,.\,dB.\sin\theta \qquad (9\text{-}31)$$

15/ Từ lực do phần tử dòng điện $I_0\,\vec{d\ell}_0$ tác dụng lên phần tử dòng điện $I\,\vec{d\ell}$:

$$\vec{dF} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi}\frac{I\,\vec{d\ell}\times(I_o\,\vec{d\ell}_o\times\vec{r})}{r^3} \qquad (9\text{-}32)$$

16/ Lực Lorentz

$$\vec{F_L} = q\,\vec{v}\times\vec{B} \qquad (9\text{-}33)$$

$$F_L = q\,v\,B\sin\theta \qquad (9\text{-}34)$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 9

Câu 1: Cường độ từ trường H tại tâm của dòng điện tròn bán kính R= 1m, cường độ dòng điện I= 2A , nhận giá trị nào sau ?

a) H = 1 A/m

b) H = 2 A/m

c) H = 3 A/m

d) H = 4 A/m

Câu 2: Cảm ứng từ B do dòng điện thẳng dài vô hạn I = 5 A trong chân không gây ra tại điểm cách dòng điện một đoạn d = 1m , nhận giá trị nào sau ?

a) $B = 10^{-5}$ T

b) $B = 10^{-6}$T

c) $B = 10^{-7}$T

d) $B = 10^{-8}$T

Câu 3: Hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn cùng chiều, có cùng cường độ dòng điện I = 2 A , đặt trong chân không cách nhau 4cm. Vậy cảm ứng từ B tại điểm M là trung điểm của hai dòng điện nhận giá trị nào sau ?

a) B = 0

b) $B = 2\ 10^{-5}$T

c) $B = 4\ 10^{-5}$T

d) $B = 4\ 10^{-7}$T

Câu 4: Hai dòng điện thẳng song song dài vô hạn ngược chiều , có cùng cường độ dòng điện I = 2 A đặt trong chân không cách nhau 4cm. Vậy cảm ứng từ B tại điểm M là trung điểm của hai dòng điện nhận giá trị nào sau ?

a) B = 0

b) $B = 2\ 10^{-5}$T

c) $B = 4\ 10^{-5}$T

d) $B = 4\ 10^{-7}$T

Câu 5: Một dòng điện vuông cạnh a = 8cm, cường độ dòng điện I = 4 A đặt trong chân không. Vậy cảm ứng từ B tại tâm đối xứng của hình vuông nhận giá trị nào sau ?

a) $B = 5{,}6.10^{-2}$ T

b) $B = 5{,}6.10^{-3}$ T

c) $B = 5{,}6.10^{-4}$ T

d) $B = 5{,}6.10^{-5}$ T

Câu 6: Một ống dây thẳng có mật độ vòng n_o = 100, có cường độ dòng điện I = 2A. Vậy cường độ từ trường H trong ống dây nhận giá trị nào ?

a) H = 200 A/m

b) H = 400 A/m

c) H = 500 A/m

d) H = 600 A/m

Câu 7: Đường sức từ của dòng điện thẳng dài vô hạn là đường :

a) đường tròn

b) đường thẳng

c) đường hyperbol

d) đường cong từ dòng điện ra vô cùng

Câu 8: Véctơ cảm ứng từ $\vec{B}$ của dòng điện tròn tại những điểm nằm trên trục Δ của dòng điện tròn , có phương hợp với trục Δ một góc α ?

a) $\alpha = 0$

b) α giảm khi ra xa dòng điện

c) α tăng khi lại gần dòng điện

d) $\alpha = \pi/2$ tại tâm dòng điện

Câu 9: Từ thông đi qua một mặt kín S nhận giá trị :

a) luôn bằng không

b) dương

c) âm

d) có thể âm, dương, bằng không tùy theo môi trường trong mặt kín

Câu 10: Từ thông đi ra từ một mặt kín S nhận giá trị:

a) luôn bằng không

b) dương

c) âm

d) có thể âm, dương, bằng không tùy theo môi trường trong mặt kín

Câu 11: Từ thông đi vào một mặt kín S nhận giá trị:

a) luôn bằng không

b) dương

c) âm

d) có thể âm, dương, bằng không tùy theo môi trường trong mặt kín

a) có thể âm, dương, bằng không tùy theo vị trí mặt S trong từ trường

Câu 12: Lưu số của véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ theo một đường cong kín (c) bao quanh hai dòng điện ngược chiều nhau, có cùng cường độ I = 2 A ?

a) bằng không

b) phụ thuộc vào hình dạng của đường cong (c)

c) phụ thuộc vào kích thước của đường cong (c)

d) có thể âm hay duơng tùy theo chiều lấy tích phân trên đường cong (c)

Câu 13: Công của từ lực tác dụng lên mạch điện bằng không khi:

a) Từ thông qua mạch điện tăng

b) Từ thông qua mạch điện giảm

c) Từ thông qua mạch điện cực đại

d) Từ thông qua mạch điện không đổi

Câu 14: Lực Lorentz $\vec{F}_L$ tác dụng lên hạt điện q và vận tốc $\vec{v}$ của hạt điện q hợp với nhau một góc α ?

a) $\alpha = 0$

b) $\alpha = \pi/2$

c) $\alpha = \pi$

d) α : bất kì

Câu 15: Công A của lực Lorentz ?

a) A = 0

b) A phụ thuộc vào lực Lorentz

c) A phụ thuộc vào từ trường B

d) A phụ thuộc vào quĩ đạo hạt điện q

Câu 16: Với tác dụng của lực Lorentz động năng W_d của hạt điện q ?

a) W_d không đổi

b) W_d tăng

c) W_d giảm

d) W_d có thể tăng hay giảm tùy theo hình dạng của quỹ đạo

Câu 17: Lực Lorentz có tác dụng ?

a) làm hạt điện q chuyển động theo phương của lực

b) làm thay đổi phương chuyển động của hạt điện q

c) làm tăng độ lớn vận tốc của hạt điện

d) làm giảm độ lớn vận tốc của hạt điện

Câu 18: Một hạt điện q chuyển động vuông góc với đường sức của từ trường đều B.Vậy hạt điện q:

a) Chuyển động nhanh dần

b) Chuyển động chậm dần

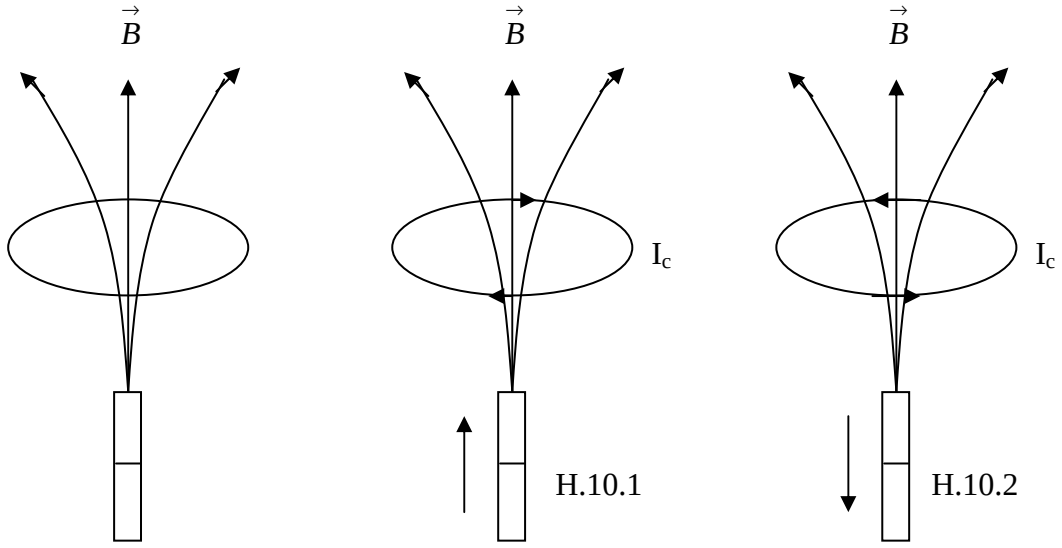
c) Chuyển động thẳng đều

d) Chuyển động tròn đều

CHƯƠNG 10: TRƯỜNG ĐIỆN TỪ

I. Hiện tượng cảm ứng điện từ

I.1. Hiện tượng cảm ứng điện từ



Hiện tượng cảm ứng điện từ được Faraday phát hiện vào năm 1831 từ thí nghiệm. Từ thí nghiệm Faraday rút ra các kết luận sau:

- Khi từ thông Φ_m qua một vòng dây dẫn kín **thay đổi theo thời gian** sẽ tạo ra trong vòng dây một dòng điện cảm ứng I_c
- Cường độ dòng điện cảm ứng I_c tỉ lệ với tốc độ biến thiên của từ thông.
- Chiều dòng điện cảm ứng I_c phụ thuộc vào từ thông qua vòng dây tăng hay giảm .

Người ta ứng dụng hiện tượng cảm ứng điện từ để chế tạo: Máy phát điện, từ thông kế để đo từ trường…

Phân tích:

Năm 1800 Nhà vật lý người Ý là Volta đã phát minh ra chiếc pin Volta tạo ra dòng điện I

Năm 1820 Nhà vật lý người Đan Mạch Oersted đã khám phá ra dòng điện I tạo ra chung quanh nó một từ trường $\vec{B}$: I $\rightarrow$ $\vec{B}$.

Năm 1820 Nhà vật lý người Anh là Faraday biết được thông tin dòng điện I tạo ra từ trường $\vec{B}$. Faraday đã đưa ra một ý tương nghiên cứu: Nếu dòng điện I tạo ra từ trường $\vec{B}$(I $\rightarrow$ $\vec{B}$), thì ngược lại từ một từ trường $\vec{B}$ có thể tạo ra dòng điện I ($\vec{B}\rightarrow$ I) hay không ?

Faraday đã nghiên cứu ý tưởng này trong vòng 10 năm, đến ngày 29 tháng 8 năm 1831 Faraday đã tìm ra hiện tượng cảm ứng điện từ: $\vec{B}$ $\rightarrow$ I

Câu hỏi 10.1:

Trên hai hình H.10.1 và H.10.2 để có cường độ dòng điện cảm ứng I_c lớn phải dịch chuyển thanh nam châm thế nào?

Câu hỏi 10.2:

Nhà máy thủy điện, nhà máy nhiệt điện, nhà máy điện nguyên tử, nhà máy điện địa nhiệt, điện gió, điện thủy triều, pin mặt trời…Trong những nguồn điện trên, nguồn điện nào hoạt động dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ và nguồn điện nào hoạt động không dựa vào hiện tượng cảm ứng điện từ ?

I.2. Định luật Lenx (1834)

Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó .

Do tác dụng của định luật Lenx nên muốn tạo sự biến thiên của từ thông qua vòng dây ta phải tốn một công. Theo định luật bảo toàn năng lượng công đó bằng năng lượng của dòng điện cảm ứng I_c được tạo ra.

Định luật Lenx cho ta quy tắc xác định chiều của dòng điện cảm ứng I_C.

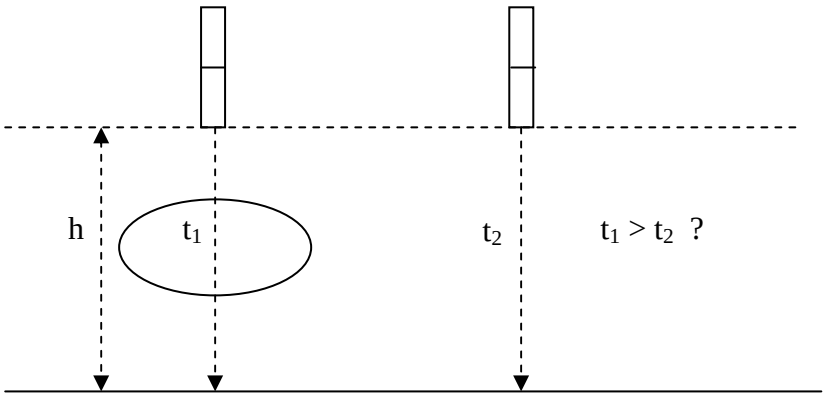
Câu hỏi 10.3:

Hãy giải thích tại sao trên hình vẽ H.10.1 dòng điện cảm ứng I_c có chiều cùng chiều kim đồng hồ.

Câu hỏi 10.4:

Hãy giải thích tại sao trên hình vẽ H.10.2 dòng điện cảm ứng I_c có chiều ngược chiều kim đồng hồ.

Câu hỏi 10.5:



Trường hợp 1: Thả một nam châm rơi thẳng đứng trong trọng trường từ độ cao h và đi xuyên qua một vòng dây dẫn kín. Thời gian rơi đo được là t_1

Trường hợp 2: Thả một nam châm rơi thẳng đứng trong trọng trường cùng độ cao h, nhưng không có vòng dây dẫn kín. Thời gian rơi đo được là t_2. Kết quả t_1 lớn hơn t_2 hãy giải thích tại sao?

Tham Khảo (đọc thêm)

Dòng điện Foucault:

Khi đặt một vật dẫn đặc trong một từ trường biến thiên thì trong vật dẫn xuất hiện dòng điện khép kín gọi là dòng điện xoáy hay dòng Foucault. Dòng điện Foucault được Nhà vật lý người Pháp Foucault phát hiện vào năm 1855.

Dòng điện Foucault gây hiệu ứng nhiệt Joule-Lenz làm nóng vật dẫn. Người ta ứng dụng tính chất này để chế tạo: bếp điện từ, lò điện cảm ứng để nấu chảy kim loại và sản xuất hợp kim trong chân không tránh được sự ôxy hóa trong không khí.

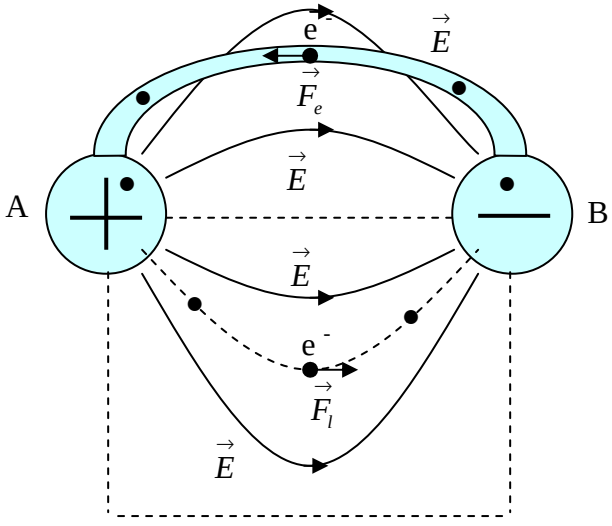
Nếu ta dịch chuyển một thanh kim loại trong từ trường $\vec{B}$ thì theo hiện tượng cảm ứng điện từ trong thanh kim loại xuất hiện dòng điện cảm ứng I_C. Khi đó từ trường $\vec{B}$ sẽ tác dụng lên dòng điện cảm ứng I_C một từ lực $\vec{F}$ ngược chiều với chiều dịch chuyển của thanh kim loại. Người ta ứng dụng tính chất này để chế tạo bộ hãm bằng từ.

I.3. Nguồn điện

I.3.1. Nguồn điện

Điện trường tĩnh $\vec{E}$ không có khả năng làm dịch chuyển hạt điện đi theo một mạch kín. Do đó để làm dịch chuyển hạt điện đi theo một mạch kín ngoài lực tĩnh điện $\vec{F}_e$ cần thêm những lực khác không phải lực tĩnh điện được gọi là lực lạ $\vec{F}_l$. Nguồn điện là nguồn tạo ra lực lạ.

Tham khảo (đọc thêm)



Ta có hai quả cầu kim loại A và B, ví dụ bằng Đồng, quả cầu A mang điện tích dương (+), quả cầu B mang điện tích âm (-). Hai quả cầu A và B tạo ra chung quanh nó một điện trường $\vec{E}$. Đường sức điện trường $\vec{E}$ có chiều hướng từ A sang B.

Ta nối A và B bằng một sợi dây kim loại, ví dụ bằng Đồng, điện trường $\vec{E}$ tác dụng lên các hạt electron (e^-) của dây Đồng một tĩnh điện $\vec{F}_e = e\vec{E}$. Vì điện tích e của hạt electron âm (e < 0) nên lực tĩnh điện $\vec{F}_e$ ngược chiều với điện trường $\vec{E}$, tức hướng từ B sang A. Dưới tác dụng của lực tĩnh điện $\vec{F}_e$, các hạt e^- chuyển động có hướng từ B sang A tạo thành dòng điện I trong dây dẫn.

*Vì hai quả cầu kim loại A và B được nối với nhau bằng dây dẫn kim loại, nên chúng trở thành **một vật dẫn**, sự chuyển động có hướng của hạt e^- trên vật dẫn là sự phân bố lại điện tích trên vật dẫn để tạo nên sự cân bằng tĩnh điện trên vật dẫn.*

Khi vật dẫn đạt tới trạng thái cân bằng tĩnh điện thì điện trường trong vật dẫn bằng không ($\vec{E}$ = 0), lực tĩnh điện $\vec{F}_e$ tác dụng lên các hạt e^- bằng không ($\vec{F}_e$ = 0), các hạt e^- không còn chuyển động có hướng và dòng điện I = 0.

Để duy trì dòng điện I chạy trên dây dẫn, khi các hạt e^- chuyển động từ B theo dây dẫn đến A, khi đến A các hạt e^- phải được đưa trở lại B, vì lực tĩnh điện $\vec{F}_e$ có chiều hướng từ B đến A nên không có tác dụng đưa các hạt e^- từ A trở về B. Những lực tác dụng lên các hạt e^- để đưa nó từ A về B gọi là lực lạ $\vec{F}_l$ (không phải lực tĩnh điện).

Phần của lực lạ $\vec{F}_l$ đưa các hạt e^- từ A về B gọi là nguồn điện.

Quả cầu A gọi là cực dương (+) của nguồn điện.

Quả cầu B gọi là cực âm (-) của nguồn điện.

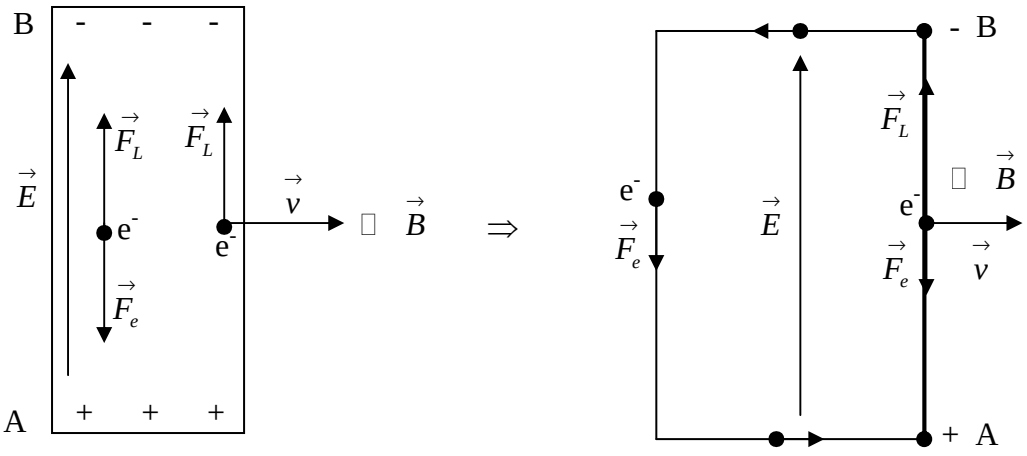
Dây dẫn gọi là mạch ngoài của nguồn điện.

Như vậy trong mạch điện các hạt e^- chuyển động liên tục theo một vòng kép kín.

Từ cực âm (-) các hạt e^- chuyển động theo mạch ngoài đến cực dương (+) của nguồn điện. Còn theo qui ước ở mạch ngoài chiều dòng điện I đi từ cực dương (+) đến cực (-) của nguồn điện.

Trong nguồn điện các hạt e^- chuyển động từ cực (+) sang cực (-)

Sau đây chúng ta đưa ra một thí dụ thực tế và phổ biến về nguồn điện.



Trên hình vẽ từ trường đều $\vec{B}$ vuông góc với mặt phẳng hình vẽ và hướng ra.

Thanh kim loại AB chuyển động tịnh tiến với véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường đều $\vec{B}$ và nằm trên mặt phẳng hình vẽ. Các hạt e^- tự do trong thanh kim loại AB cũng chuyển động với véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong từ trường đều $\vec{B}$. Từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên hạt e^- trong thanh AB một lực Lorentz : $\vec{F}_L = e\vec{v} \times \vec{B}$. Áp dụng qui tắc bàn tay trái, ta xác định được chiều của lực Lorentz tác dụng lên hạt e^- hướng về đầu B của thanh kim loại. Dưới tác dụng của lực Lorentz các hạt e^- dịch chuyển về đầu B. Kết quả đầu B thừa hạt e^- nên mang điện tích âm (-), còn đầu A thiếu hạt e^- nên mang điện tích dương (+).

Điện tích trên hai đầu thanh tạo ra trong thanh một điện trường $\vec{E}$, có chiều hướng từ A sang B. Khi đó ngoài lực Lorentz tác dụng lên hạt e^- còn có thêm lực tĩnh điện $\vec{F}_e = e\vec{E}$ của điện trường $\vec{E}$ tác dụng lên hạt e^-. Vì điện tích của hạt electron âm ($e < 0$) nên lực tĩnh điện $\vec{F}_e$ ngược chiều với điện trường $\vec{E}$, tức hướng từ B sang A. Khi cân bằng thì $\vec{F}_e = -\vec{F}_L$ và hạt e^- không còn chuyển động có hướng về đầu B.

Nếu ta nối đầu A và B của thanh bằng một sợi dây dẫn thì dưới tác dụng của lực tĩnh điện $\vec{F}_e = e\vec{E}$ thì các hạt e^- sẽ chuyển động theo dây dẫn từ đầu B đến đầu A. Khi đến đầu A các hạt e^- sẽ được từ trường $\vec{B}$ tác dụng một lực Lorentz $\vec{F}_L$ đưa lên đầu B.

Khi ta nối hai đầu thanh bằng sợi dây dẫn thì trong thanh AB mất sự cân bằng giữa hai lực Lorentz $\vec{F}_L$ và lực tĩnh điện $\vec{F}_e$, khi đó $F_L > F_e$.

Như vậy một thanh kim loại chuyển động trong từ trường là một nguồn điện và lực lạ tạo nên nguồn điện là lực Lorentz.

Thông thường nguồn điện được chế tạo bằng cách cho cuộn dây dẫn quay trong từ trường $\vec{B}$ và lực lạ tạo nên nguồn điện chính là lực Lorentz.

Khi vòng dây quay trong từ trường $\vec{B}$ thì từ thông Φ_m qua vòng dây thay đổi. Theo hiện tượng cảm ứng điện từ trong vòng dây có một dòng điện cảm ứng I_c. Cách diễn tả như trên là mô tả theo hiện tượng. Còn bản chất vật lý của hiện tượng này chính là lực Lorentz của từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên các hạt e^- của vòng dây tạo nên dòng điện cảm ứng I_c.

I.3.2. Suất điện động của nguồn điện

Để đo độ mạnh yếu của nguồn điện, người ta dùng khái niệm suất điện động Є, được định nghĩa bằng công của lực lạ $\vec{F}_l$ làm dịch chuyển một đơn vị điện tích dương đi theo một mạch kín:

$$Є = \frac{A}{q_o} \qquad (10 - 1)$$

Với : $A = \int_{(c)} \vec{F}_l . \vec{ds}$

Ta đặt: $\vec{F}_l = q_o \vec{E}_l$ (2)

Với: $\vec{E}_l$ là lực lạ tác dụng lên một đơn vị điện tích dương (q_o = 1 C), được gọi là véctơ cường độ lực lạ.

Thế (2) vào (1), ta được:

$$A = q_o \int_{(c)} \vec{E}_l . \vec{ds} \qquad (3)$$

Thế (3) vào (10-1), ta được suất điện động của nguồn điện:

$$Є = \int_{(c)} \vec{E}_l . \vec{ds} \qquad (10- 2)$$

Nếu lực lạ chỉ tồn tại trên đoạn (1) → (2) ta có:

$$Є = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}_l . \vec{ds} \qquad (10 -3)$$

Đơn vị của suất điện động là Volt (V).

Đối với dòng điện không đổi I ta có:

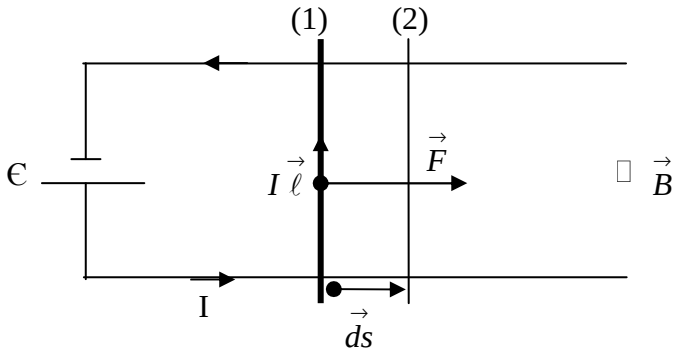
$$q = I\,t \qquad (1)$$

Từ (1) và (10-1) ta suy ra công của nguồn điện:

$$A = Є.I.t \qquad (10-4)$$

Công A của nguồn điện là một lượng năng lượng điện mà nguồn điện cung cấp cho mạch điện trong một khoảng thời gian t.

I.4. Công của từ lực



H.10.3

Ta có một mạch điện kín I như hình vẽ, mặt phẳng mạch điện vuông góc với đường sức của từ trường đều $\vec{B}$. Từ trường $\vec{B}$ hướng ra mặt giấy. Thanh ℓ có thể trượt trên hai thanh song song.

Từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên thanh ℓ một từ lực Ampere.

$$\vec{F} = I\,\vec{\ell}\times\vec{B}$$

Hay: $F = I \,.\, \ell \,.B.\sin\theta$

Với: $\theta = (\vec{\ell}, \vec{B}) = \dfrac{\pi}{2}$

Vậy: $F = I \,.\, \ell \,.B$

Dưới tác dụng của từ lực $\vec{F}$ trong khoảng thời gian dt thanh ℓ dịch chuyển một doạn $\vec{ds}$. Ta có công của từ lực trong dịch chuyển:

$$dA = \vec{F} \,.\, \vec{ds} = F \,.\, ds$$
$$= I.\ell \,.ds.B = I \,.\, dS \,.\, B$$
$$= I\, d\Phi_m$$
$$dA = I\, d\Phi_m \qquad (10 - 5)$$

Với:

- $dS = \ell \,.ds$ là diện tích mà thanh ℓ quét được trong dịch chuyển.
- $d\Phi_m = dS.B = (\Phi_{m2} - \Phi_{m1})$ là độ biến thiên của từ thông đi qua mạch điện khi thanh ℓ dịch chuyển từ (1) đến (2).
- Với Φ_{m1} là từ thông qua mạch điện khi thanh ℓ ở vị trí (1) và Φ_{m2} là từ thông qua mạch điện khi thanh ℓ ở vị trí (2).

Vậy công của từ lực bằng cường độ dòng điện I trong mạch nhân với độ biến thiên của từ thông đi qua diện tích giới hạn bởi mạch điện.

<u>Bài 10.1</u>: Một vòng dây dẫn hình vuông cạnh a = 2 cm trên có dòng điện I = 2 A , được đặt sao cho mặt phẳng của vòng dây vuông góc với đường sức của một từ trường đều B = 2 T. Hãy tính công A để quay vòng dây về vị trí song song với đường sức từ.

Đáp số: $A = 16.10^{-4}$ J

I.5. Phương trình cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ

Khi ta dịch chuyển vòng dây trong từ trường $\vec{B}$ trong khoảng thời gian dt. Từ thông qua vòng dây thay đổi một lượng $d\Phi_m$. Theo hiện tượng cảm ứng điện từ trong vòng dây xuất hiện dòng điện cảm ứng I_c. Như vậy trong vòng dây có xuất hiện một suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_c$.

Khi dòng điện cảm ứng I_c xuất hiện, từ trường $\vec{B}$ lại tác dụng lên I_c một từ lực $\vec{F}_A$. Theo định luật Lenx từ lực này có tác dụng cản lại sự dịch chuyển vòng dây. Do đó để dịch chuyển vòng dây ta phải tác dụng lên vòng dây một lực $\vec{F}$, với $\vec{F} = -\ \vec{F}_A$. Vậy công dA của lực $\vec{F}$ bằng và trái dấu với công của từ lực $\vec{F}_A$:

$$dA = -\, I\, d\Phi_m \qquad (1)$$

Theo định luật bảo toàn năng lượng công dA mà ta tiêu tốn để dịch chuyển vòng dây, tạo ra sự biến thiên của từ thông $d\Phi_m$, tạo ra dòng điện cảm ứng I_c , biến thành năng lượng của dòng điện cảm ứng I_c trong vòng dây:

$$dA = \mathcal{E}_c I_c dt \qquad (2)$$

Từ (1) và (2) ta suy ra :

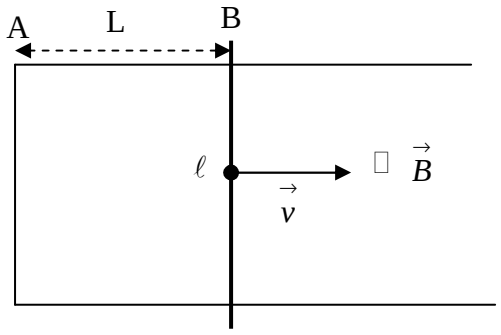
$$\mathcal{E}_c = - \frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (10\text{-}6)$$

Vậy suất điện động cảm ứng bằng trừ (-) đạo hàm từ thông theo thời gian.

Biểu thức (10-6) là phương trình cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ .

Khi vòng dây chuyển động trong từ trường đều $\vec{B}$ thì lực lạ tạo nên suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_c$ là lực Lorentz.

Bài tập 10.2:



Một dây dẫn hình chữ U đặt trên mặt phẳng vuông góc với một từ trường đều B = 10 T. Một thanh dây dẫn có chiều dài ℓ = 0,3 m , chuyển động trượt trên hai nhánh của chữ U với vận tốc v = 4 m/s, tại thời điểm t = 0 thanh ℓ ở vị trí A , tại thời điểm t thanh ℓ ở vị trí B với AB = L, chữ U và thanh ℓ tạo thành một mạch điện kín hình chữ nhật.

1/ Dùng biểu thức $\mathcal{E}_c = - \frac{d\Phi_m}{dt}$ tính suất điện động của mạch điện.

2/ Dùng biểu thức $\mathcal{E}_c = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}_l . \vec{ds}$ tính suất điện động của mạch điện

3/ Dòng điện cảm ứng I_C trong mạch điện có chiều thế nào? Giải thích

Đáp số: $\mathcal{E}_c = - \ell$ v B = - 12 V

I.6. Hiện tượng tự cảm

I.6.1. Hiện tượng tự cảm

Hiện tượng tự cảm là hiện tượng cảm ứng điện từ do chính dòng điện trong mạch thay đổi theo thời gian tạo ra.

I.6.2. Suất điện động tự cảm:

Từ thông Φ_m qua mạch tỉ lệ với từ trường B, từ trường B lại tỉ lệ với cường độ dòng điện I trong mạch. Vậy từ thông Φ_m qua mạch tỉ lệ với cường độ dòng điện I trong mạch .

$$\Phi_m = L\,I \qquad (10-7)$$

Trong đó L là hệ số tự cảm của mạch điện phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và môi tường chứa mạch điện, có đơn vị là Henry (H).

Từ (10-6) và (10-7) suy ra suất điện động tự cảm:

$$\mathcal{E}_{tc} = -\,L\,\frac{dI}{dt} \qquad (10-8)$$

I.6.3. Hệ số tự cảm của ống dây thẳng

Ta có từ thông Φ_m qua ống dây thẳng, có n vòng, có chiều dài ℓ, có tiết diện S, có dòng điện I chạy qua.

$$\Phi_m = n\,S\,B = n_o\,\ell\,S\,B$$

Theo (9-36) : $B = \mu\mu_o n_o I$, với $n_o = \frac{n}{\ell}$ là mật độ vòng dây.

Vậy : $\Phi_m = \mu\mu_o n_o^2\,\ell S I$ (1)

Từ (10-7) và (1) ta suy ra hệ số tự cảm của ống dây thẳng.

$$L = \mu\mu_o n_o^2\,\ell S \qquad (10-9)$$

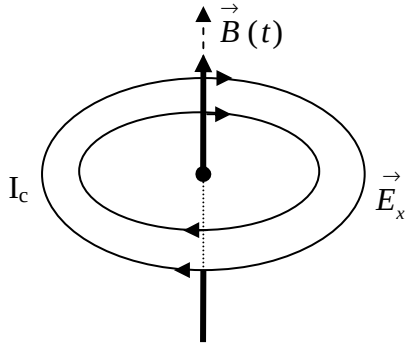
Bản chất vật lý của hiện tượng tự cảm không phải do lực Lorentz. Luận điểm thứ nhất của Maxwell sẽ làm sáng tỏ điều này.

II. Luận điểm thứ nhất của Maxwell

II.1. Phát biểu:

Bất kì từ trường $\vec{B}$ ***nào thay đổi theo thời gian cũng sinh ra một điện trường xoáy*** $\vec{E}_x$ ***. Điện trường xoáy*** $\vec{E}_x$ ***có đường sức là đường cong kín***.

Đường sức của điện trường xoáy $\vec{E}_x$ nằm trong mặt phẳng vuông góc với đường sức từ $\vec{B}$. Chiều của đường sức điện trường xoáy $\vec{E}_x$ cùng chiều với dòng điện cảm ứng I_c được tạo ra trong vòng dây bao quanh đường sức từ $\vec{B}$.



H.10.4

Trong hiện tượng cảm ứng điện từ, nếu từ thông Φ_m qua vòng dây thay đổi theo thời gian là do từ trường $\vec{B}$ thay đổi theo thời gian gây ra, thì bản chất vật lý của lực lạ tạo suất điện động cảm ứng $\mathcal{E}_c$ là lực của điện trường xoáy $\vec{E}_x$.

II.2. Phương trình Maxwell – Faraday

Phương trình Maxwell – Faraday là biểu thức toán học diễn tả luận điểm thứ nhất của Maxwell.

II.2.1. Dạng tích phân

Theo (10-3) ta có:

$$\mathcal{E}_c = \int_{(c)} \vec{E}_x . \vec{ds} \qquad (1)$$

Theo (10-6) ta có:

$$\mathcal{E}_c = - \frac{d}{dt}\Phi_m = -\frac{d}{dt}\int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} = \int_{(S)} (-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}).\vec{dS} \qquad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra:

$$\int_{(c)} \vec{E}_x . \vec{ds} = \int_{(S)} (-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}).\vec{dS} \qquad (10-10)$$

Với S là diện tích giới hạn bởi đường cong (C)

II.2.2. Dạng vi phân

Theo giải tích véctơ ta có:

$$\int_{(c)} \vec{E}_x . \vec{ds} = \int_{(S)} rot\, \vec{E}_x . \vec{dS} \qquad (3)$$

Theo (10-10) và (3) ta có:

$$\int_{(c)} \vec{E}_x . \vec{ds} = \int_{(S)} rot\, \vec{E}_x . \vec{dS} = \int_{(S)} (-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}).\vec{dS}$$

Suy ra:

$$rot\, \vec{E}_x = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (10-11)$$

III. Luận điểm thứ hai của Maxwell

III.1. Phát biểu:

Bất kì điện trường $\vec{D}$ nào thay đổi theo thời gian cũng sinh ra một từ trường $\vec{H}$.

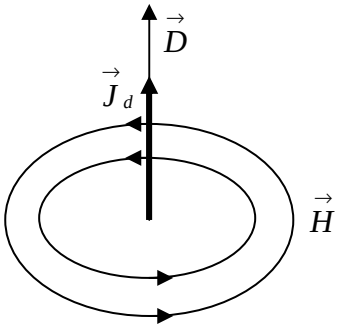
III.2. Dòng điện dịch

Ta biết dòng điện dẫn $\vec{J} = n_o\, q\, \vec{v}$ sinh từ trường $\vec{H}$. Mặt khác điện trường $\vec{D}$ thay đổi theo thời gian cũng sinh ra từ trường $\vec{H}$. Do đó về phương diện sinh ra từ trường $\vec{H}$, điện trường $\vec{D}$ thay đổi theo thời gian tương đương với một dòng điện, được gọi là dòng điện dịch $\vec{J}_d$.

Véctơ mật độ dòng điện dịch $\vec{J}_d$ được định nghĩa:

$$\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10-12)$$

- Nếu $\vec{D}$ tăng $\vec{J}_d$ cùng chiều với $\vec{D}$
- Nếu $\vec{D}$ giảm $\vec{J}_d$ ngược chiều với $\vec{D}$
- Phương của từ trường $\vec{H}$ vuông góc với $\vec{D}$
- Chiều của từ trường $\vec{H}$ do dòng điện dịch $\vec{J}_d$ sinh ra, được xác định tương tự như dòng điện dẫn $\vec{J}$.



H.10.5

III.3. Dòng điện toàn phần

Dòng điện toàn phần $\vec{J}_{tp}$ được định nghĩa bằng tổng dòng điện dẫn $\vec{J} = n_o\, q\, \vec{v}$ và dòng điện dịch $\vec{J}_d$:

$$\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10-13)$$

III.4. Phương trình Maxwell – Ampere

Phương trình Maxwell – Ampere là biểu thức toán học diễn tả luận điểm thứ hai của Maxwell.

III.4.1. Dạng tích phân

Từ dạng tích phân của định lí Ampere ta suy ra :

$$\int_{(c)} \vec{H}.\vec{ds} = \int_{(S)} \vec{J}_{tp}.\vec{dS} \qquad (10-14)$$

III.4.2. Dạng vi phân

Từ dạng vi phân của định lí Ampere ta suy ra :

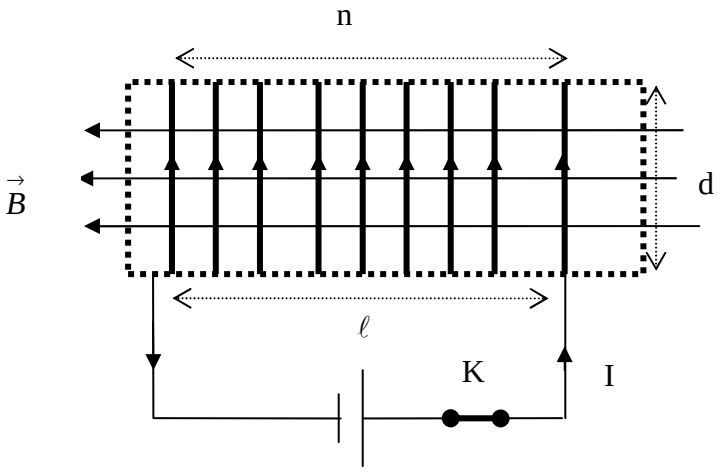
$$rot\,\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10-15)$$

IV. Trường điện từ

IV.1. Khái niệm trường điện từ

Từ hai luận điểm một và hai của Maxwell cho thấy điện trường $\vec{E}$ và từ trường $\vec{H}$ biến thiên theo thời gian và chúng chuyển hóa lẫn nhau. Do đó Maxwell cho rằng trong tự nhiên có tồn tại một trường mới gọi là **trường điện từ** mà điện trường hay từ trường đã biết chỉ là hai mặt biểu hiện cụ thể của trường điện từ .

IV.2. Năng lượng của ống dây điện thẳng

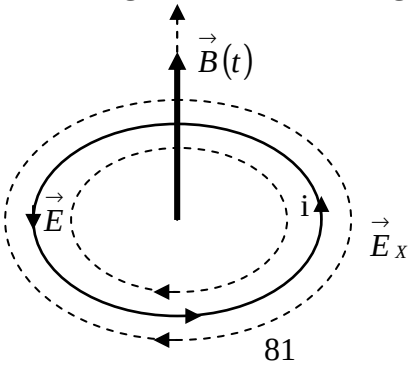


H.10.6

Một ống dây điện có n vòng, có chiều dài ℓ, có đường kính d, có cường độ dòng điện I, từ trường trong ống dây là từ trường đều $\vec{B}$.

Khi đóng khoá K điện trường $\vec{E}$ lan truyền trong dây dẫn. Nó tác dụng lên các hạt electron tự do của dây dẫn một lực tĩnh điện $\vec{F} = e\vec{E}$, tạo nên dòng điện i trong mạch qua ống dây tăng từ 0 đến I. Theo qui ước chiều dòng điện cùng chiều với $\vec{E}$ và ngược chiều chuyển động có hướng của các hạt electron .

Dòng điện i tăng dẫn đến từ trường $\vec{B}$ do nó tạo ra trong ống dây cũng tăng . Từ trường $\vec{B}$ tăng sinh ra một điện trường xoáy $\vec{E}_x$, có đường sức bao quanh đường sức từ $\vec{B}$. Điện trường xoáy $\vec{E}_x$ có chiều ngược với chiều dòng điện i chạy trong ống dây.



H.10.7

Điện trường xoáy $\vec{E}_x$ tác dụng lên các hạt electron trong dây dẫn một lực:

$\vec{F}_x$ = e $\vec{E}_x$. Lực $\vec{F}_x$ ngược chiều với $\vec{F} = e\vec{E}$ nên có tác dụng chống lại sự tăng dòng điện i . Lực $\vec{F}_x$ là lực lạ tạo nên suất điện động tự cảm $\mathcal{E}_{tc}$ trong ống dây. Công dA của lực lạ $\vec{F}_x$ là công cản lại sự tăng dòng điện i. Công của lực lạ $\vec{F}_x$ = e $\vec{E}_x$ trái dấu với công của lực tĩnh điện $\vec{F} = e\vec{E}$.

Theo (10-4) và (10-8) ta có công dA của lực lạ:

$$dA = \mathcal{E}_{tc}\, idt = - L\, idi$$

Để tăng dòng điện i trong ống dây nguồn điện của mạch phải tốn một năng lượng dW_m để thắng công cản dA của lực lạ $\vec{F}_x$. Theo định luật bảo toàn năng lượng năng lượng nguồn điện tiêu tốn để tăng dòng điện trong ống dây từ 0 đến I biến thành năng lượng của ống dây.

Ta có: $dW_m = - dA = Lidi$

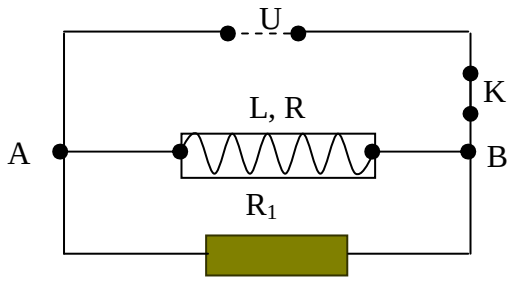
Lấy tích phân ta được:

$$W_m = \int_0^I Lidi = \frac{1}{2}LI^2$$

$$W_m = \frac{1}{2}LI^2 \qquad (10\text{-}16)$$

Năng lượng trong ống dây điện thẳng chứa trong từ trường đều $\vec{B}$ của ống dây.

Bài 10.3 : Cho một mạch điện như hình vẽ:



Cho: U = 120 V

L = 6 H

R = 200 Ω

R_1 = 1000 Ω

Tại thời điểm t = 0 người ta ngắt khoa K. Hãy tính hiệu điện thế U_1 giữa hai đầu điện trở R_1 tại thời điểm t = 0,001s.

Đáp số: U_1 = 490 V

IV.2. Năng lượng của từ trường đều

Theo (10-16) và (10 - 9) ta có:

$$W_m = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\mu\mu_0 n_o^2 I^2 \ell S = \frac{1}{2}\frac{(\mu\mu_o n_o I)^2}{\mu\mu_o}\ell S = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_o}V$$

$$W_m = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_o}V \qquad (10\text{-}17)$$

Trong đó V = ℓ S là thể tích chứa từ trường đều $\vec{B}$.

Vì B = $\mu\mu_o$H nên:

$$W_m = \frac{1}{2} B H V \qquad (10\text{-}18)$$

Mật độ năng lượng từ trường đều $\vec{B}$:

$$\omega_m = \frac{W_m}{V} = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_o} = \frac{1}{2} B H \qquad (10\text{-}19)$$

IV.3. Năng lượng của từ trường bất kì

Để xác định năng lượng của một từ trường bất kì $\vec{B}$ trong một thể tích. Ta chia thể tích V thành những thể tích dV rất nhỏ sao cho trong dV từ trường được xem như đều.

Năng lượng từ trường trong thể tích dV.

$$dW_m = \omega_m dV = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_o} dV = \frac{1}{2} BH \; dV$$

Năng lượng điện trường trong thể tích V.

$$W_e = \int_{(V)} \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu\mu_o} dV = \int_{(V)} \frac{1}{2} BH \, dV \qquad (10\text{-}20)$$

IV.4.. Năng lượng trường điện từ

Năng lượng trường điện từ bằng tổng năng lượng của điện trường và từ trường.

$$\omega_{em} = \frac{1}{2} D E + \frac{1}{2} B H \qquad (10\text{-}21)$$

$$W_{em} = \frac{1}{2}\int_{(V)} \left(\varepsilon\varepsilon_o E^2 + \mu\mu_o H^2\right) dV \qquad (10\text{-}22)$$

IV.5. Các phương trình Maxwell

Trường điện từ được diễn tả bằng bốn phương trình cơ bản sau :

- Phương trình Maxwell một:

$$rot\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (10\text{-}23)$$

Phương trình này là phương trình Maxwell – Faraday diễn tả từ trường biến thiên theo thời gian sinh ra điện trường xoáy.

- Phương trình Maxwell hai:

$$rot\,\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10\text{-}24)$$

Phương trình này là phương trình Maxwell – Ampere diễn tả điện trường biến thiên theo thời gian sinh từ trường .

- Phương trình Maxwell ba:

$$div\vec{D} = \rho \qquad (10\text{-}25)$$

Phương trình này là định lí O- G của điện trường diễn tả tính chất thế của điện trường tĩnh .

- Phương trình Maxwell bốn:

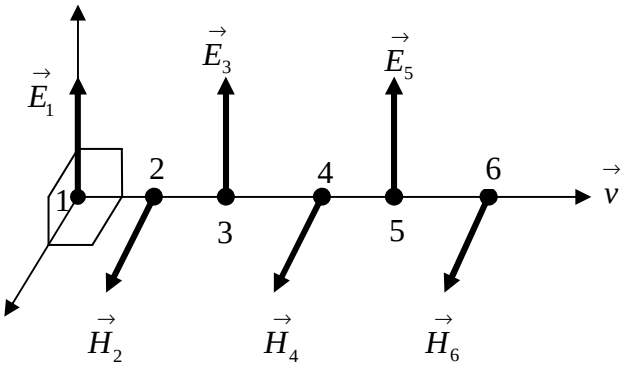
$$div\vec{B} = 0 \qquad (10\text{-}26)$$

Phương trình này là định lí O- G của từ trường diễn tả tính chất xoáy của từ trường

V. Sóng điện từ

V.1.Sự hình thành sóng điện từ

H.10.8



Giả sử tại điểm (1) có điện trường tự do $\vec{E}_1$ giảm , theo luận điểm thứ hai của Maxwell $\vec{E}_1$ sinh ra chung quanh nó tại (2) một từ trường $\vec{H}_2$, đến lượt từ trường $\vec{H}_2$ giảm theo luận điểm thứ nhất của Maxwell $\vec{H}_2$ sinh ra tại (3) điện trường $\vec{E}_3$. Cứ thế $\vec{E}_3$ biến thiên sinh ra $\vec{H}_4$ rồi $\vec{H}_4$ sinh ra $\vec{E}_5$ và $\vec{E}_5$ lại sinh ra $\vec{H}_6$ …

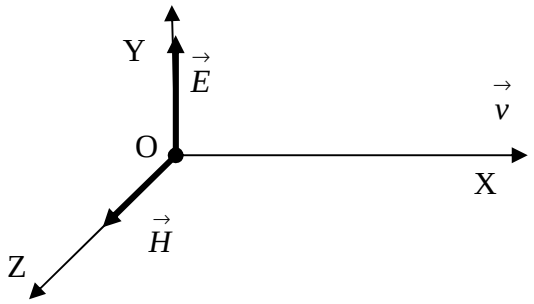
Khi $\vec{E}_3$ sinh làm triệt tiêu $\vec{E}_1$ và $\vec{E}_5$ sinh ra làm triệt tiêu $\vec{E}_3$. Tương tự $\vec{H}_4$ sinh ra làm triệt tiêu $\vec{H}_2$ và $\vec{H}_6$ sinh ra làm triệt tiêu $\vec{H}_4$ ..

Như vậy một trường điện từ biến thiên theo thời gian tạo ra sóng điện từ lan truyền trong không gian với vận tốc $\vec{v}$.

Ta thấy hai véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ vuông góc nhau và vuông góc với véctơ vận tốc sóng $\vec{v}$.

Vậy sóng điện từ là sóng ngang.

V.2. Phương trình vi phân sóng điện từ



H.10.9

Thiết lập hệ toạ độ Descartes OXYZ sao cho sóng điện từ truyền theo trục OX , véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ song song với trục OY, véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ song song với trục OZ . Như vậy:

- $E = E_y$, $E_x = E_z = 0$.
- $H = H_z$, $H_x = Hy = 0$.

Sóng điện từ khảo sát là sóng phẳng. Như vậy E và H chỉ phụ thuộc vào toạ độ x và thời gian t .

Từ phương trình Maxwell- Faraday (luận điểm thứ nhất của Maxwell):

$$rot\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Theo toán học và $B = \mu\mu_o H$ ta suy ra : $\frac{\partial E}{\partial x} = -\mu\mu_o \frac{\partial H}{\partial t}$ (1)

Từ phương trình Maxwell- Ampere (luận điểm thứ hai của Maxwell) trong chân không:

$$rot\,\vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Theo toán học và $D = \varepsilon\varepsilon_o E$ ta suy ra: $\frac{\partial H}{\partial x} = -\varepsilon\varepsilon_o \frac{\partial E}{\partial t}$ (2)

Đạo hàm (1) theo x , ta được :

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -\mu\mu_o \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t} \qquad (3)$$

Đạo hàm (2) theo t, rồi nhân hai vế cho $\mu\mu_o$, ta được :

$$\mu\mu_o \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial t} = -\varepsilon\varepsilon_o \mu\mu_o \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \qquad (4)$$

Từ (3) và (4) ta suy ra:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \varepsilon\varepsilon_o \mu\mu_o \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \qquad (10-27)$$

Làm tương tự đối với cường độ từ trường H, ta được:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \varepsilon\varepsilon_o\mu\mu_o \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0 \qquad (10-28)$$

Các biểu thức (10-27) và (10-28) là phương trình vi phân sóng điện-từ, suy ra vận tốc sóng điện từ:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\mu_o\varepsilon\varepsilon_o}} = \frac{c}{n} \qquad (10-29)$$

- c = $\frac{1}{\sqrt{\mu_o\varepsilon_o}}$ = 3.10^8 m/s là vận tốc sóng điện từ trong chân không .
- n = $\sqrt{\mu\varepsilon}$ là chiết suất của môi trường .

Từ lí thuyết sóng điện từ Maxwell đã chứng minh sóng ánh sáng là sóng điện từ.

Ghi chú:

1/ Biến đổi toán học:

Cho véctơ : $\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k}$

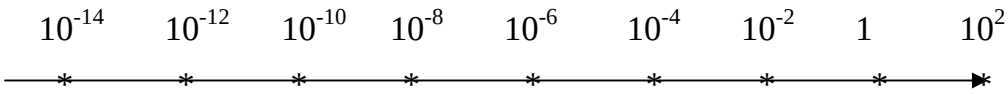
$$rot\,\vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}\right)\vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}\right)\vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right)\vec{k}$$

2/ Phương trình vi phân sóng:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 \Psi}{\partial t^2} = 0$$

Với v là vận tốc sóng

V.3. Thang sóng điện từ



…. ggggggg//xxxxxxxxxxx//tttt/kk//hhhhhhhh//vvvvvvvvvvvvvvvvv.. m

Sóng điện từ được phân vùng theo bước sóng tăng dần như sau :

- ggg : tia gamma .
- xxx : tia X (tia Rơn ghen)
- ttttt: tia tử ngoại .
- kkk : ánh sáng nhìn thấy = 0,4 → 0,76 μm .
- hhh : tia hồng ngoại .
- vvv : sóng vô tuyến điện .

Ranh giới giữa các vùng không phân biệt rõ ràng .

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 10

1/ Suất điện động của nguồn điện

$$Є = \frac{A}{q_o} \qquad (10 - 1)$$

$$Є = \int_{(c)} \vec{E_l}.\vec{ds} \qquad (10- 2)$$

$$Є = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E_l}.\vec{ds} \qquad (10 -3)$$

2/ Công của nguồn điện

$$A = Є.I.t \qquad (10-4)$$

3/ Công của từ lực

$$dA = I\, d\Phi_m \qquad (10 - 5)$$

4/ Phương trình cơ bản của hiện tượng cảm ứng điện từ

$$Є_c = - \frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (10-6)$$

5/ Suất điện động tự cảm

$$Є_{tc} = - L \frac{dI}{dt} \qquad (10 – 7)$$

6/ Hệ số tự cảm của ống dây thẳng

$$L = \mu\mu_o n_o^2 \ell S \qquad (10 – 8)$$

7/ Phương trình Maxwell – Faraday

$$rot\, \vec{E_x} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (10 – 9)$$

8/ Dòng điện dịch

$$\vec{J_d} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10 – 10)$$

9/ Dòng điện toàn phần

$$\vec{J_{tp}} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10 – 11)$$

10/ Phương trình Maxwell – Ampere

$$rot\, \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10 – 12)$$

11/ Năng lượng của ống dây điện thẳng

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2 \qquad (10\text{-}13)$$

12/ Năng lượng của từ trường đều

$$W_m = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_o} V \qquad (10\text{-}14)$$

Với: V = ℓ S là thể tích chứa từ trường đều $\vec{B}$

$$W_m = \frac{1}{2} \text{ B H V} \qquad (10\text{-}15)$$

13/ Năng lượng của từ trường bất kì

$$W_e = \int_{(V)} \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu\mu_o} dV = \int_{(V)} \frac{1}{2} B H \, dV \qquad (10\text{-}16)$$

14/ Năng lượng trường điện từ

$$W_{em} = \frac{1}{2} \int_{(V)} \left(\varepsilon\varepsilon_o E^2 + \mu\mu_o H^2 \right) dV \qquad (10\text{-}17)$$

15/ Các phương trình Maxwell

- Phương trình Maxwell một:

$$rot \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (10\text{-}18)$$

- Phương trình Maxwell hai:

$$rot \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (10\text{-}19)$$

Phương trình Maxwell ba:

$$div \vec{D} = \rho \qquad (10\text{-}20)$$

- Phương trình Maxwell bốn:

$$div \vec{B} = 0 \qquad (10\text{-}21)$$

16/ Phương trình vi phân sóng điện từ

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \varepsilon\varepsilon_o \mu\mu_o \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \qquad (10 - 22)$$

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \varepsilon\varepsilon_o \mu\mu_o \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0 \qquad (10 - 23)$$

17/ Vận tốc sóng điện từ

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\mu_o \varepsilon\varepsilon_o}} = \frac{c}{n} \qquad (10 - 24)$$

- c = $\frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}}$ = 3.10^8 m/s là vận tốc sóng điện từ trong chân không .
- n = $\sqrt{\mu\varepsilon}$ là chiết suất của môi trường .

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 10

Câu 1: Trong hiện tượng cảm ứng điện từ, cường độ của dòng điện cảm ứng I_e phụ thuộc vào:

a) Từ thông qua vòng dây tăng
b) Từ thông qua vòng dây giảm
c) Tốc độ biến thiên của từ thông qua vòng dây
d) Từ thông qua vòng dây thay đổi theo thời gian

Câu 2: Hiện tượng tự cảm là hiện tượng cảm ứng điện từ do :

a) Vòng dây đặt đứng yên trong từ trường thay đổi theo thời gian
b) Vòng dây chuyển động trong từ trường đều
c) Dòng điện qua vòng dây biến thiên theo thời gian
d) Vòng dây chuyển động trong từ trường thay đổi theo thời gian

Câu 3: Từ thông qua một vòng dây biến thiên theo qui luật $\phi_m = 7.10^{-2} \cos 100t$ (Wb). Vậy suất điện động cảm ứng ε_c trong vòng dây nhận biểu thức nào sau ?

a) $\varepsilon_c = 0{,}007 \cos 100t$ (V)
b) $\varepsilon_c = -0{,}07 \cos 100t$ (V)
c) $\varepsilon_c = 7 \sin 100t$ (V)
d) $\varepsilon_c = -7 \sin 100t$ (V)

Câu 4: Một ống dây điện thẳng có chiều dài l = 1m, tiết diện $S = 10cm^2$, số vòng dây n = 1000, cường độ dòng điện $I = 200 \cos 100\pi t$ (A), đặt trong chân không. Vậy giá trị cực đại của suất điện động tự cảm ε_{to} trong ống dây nhận giá trị nào ?

a) $\varepsilon_{to} = 4\pi^2$ (V)
b) $\varepsilon_{to} = 6\pi^2$ (V)
c) $\varepsilon_{to} = 8\pi^2$ (V)
d) $\varepsilon_{to} = 9\pi^2$ (V)

Câu 5: Một vòng dây dẫn kín, không biến dạng, quay trong từ trường đều.

Mệnh đề 1 (MĐ1): Bản chất vật lý để tạo nên dòng điện cảm ứng I_c là lực Lorentz của từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

Mệnh đề 2 (MĐ2): Bản chất vật lý để tạo nên dòng điện cảm ứng I_c là lực của điện trường xoáy $\vec{E}_x$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

Hãy chọn phương án đúng:

a) MĐ 1 đúng, MĐ 2 sai b) MĐ 1 sai, MĐ 2 đúng

c) MĐ 1 đúng, MĐ 2 đúng d) MĐ 1 sai, MĐ 2 sai

Câu 6: Một vòng dây dẫn kín, không biến dạng, quay trong từ trường biến thiên theo thời gian.

Mệnh đề 1 (MĐ1): Bản chất vật lý để tạo nên dòng điện cảm ứng I_c là lực Lorentz của từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

Mệnh đề 2 (MĐ2): Bản chất vật lý để tạo nên dòng điện cảm ứng I_c là lực của điện trường xoáy $\vec{E}_x$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

Hãy chọn phương án đúng

a) MĐ 1 đúng, MĐ 2 sai b) MĐ 1 sai, MĐ 2 đúng

c) MĐ 1 đúng, MĐ 2 đúng d) MĐ 1 sai, MĐ 2 sai

Câu 7: Một vòng dây dẫn kín đứng yên trong từ trường biến thiên theo thời gian.

Mệnh đề 1 (MĐ1): Bản chất vật lý để tạo nên dòng điện cảm ứng I_c là lực Lorentz của từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

Mệnh đề 2 (MĐ2): Bản chất vật lý để tạo nên dòng điện cảm ứng I_c là lực của điện trường xoáy $\vec{E}_x$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

Hãy chọn phương án đúng

a) MĐ 1 đúng, MĐ 2 sai

b) MĐ 1 sai, MĐ 2 đúng

c) MĐ 1 đúng, MĐ 2 đúng

d) MĐ 1 sai, MĐ 2 sai

Câu 8: Một vòng dây dẫn kín, không biến dạng, quay trong từ trường $\vec{B}$ biến thiên theo thời gian. Lực nào là lực cản lại chuyển động quay:

a) Lực Lorentz của từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

b) Lực của điện trường xoáy $\vec{E}_x$ tác dụng lên hạt e^- tự do của vòng dây.

c) Lực của điện trường xoáy $\vec{E}_x$ tác dụng lên dòng điện cảm ứng I_c.

d) Từ lực của từ trường $\vec{B}$ tác dụng lên dòng điện cảm ứng I_c

Câu 9: Trong dòng điện toàn phần $\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ mật độ dòng điện dịch và mật độ dòng điện dẫn cùng chiều khi:

a) điện trường tăng

b) điện trường giảm

c) điện trường cực đại

d) điện trường cực tiểu

Câu 10: Một dòng điện I = 4 A chạy qua một ống dây thẳng được xem dài vô hạn . Từ thông qua ống dây $\phi_m = 2.10^{-7}$Wb . Vậy năng lượng từ trường W_m trong ống dây nhận giá trị nào sau ?

a) $W_m = 2.10^{-7}$J

b) $W_m = 4.10^{-7}$J

c) $W_m = 6.10^{-7}$J

d) Chưa đủ số liệu để tính

CHƯƠNG 11: QUANG HỌC SÓNG

I. Bản chất sóng điện từ của ánh sáng

Bản chất sóng điện từ của ánh sáng được xác lập nhờ sự so sánh các tính chất giống nhau giữa ánh sáng và sóng điện từ theo thuyết Maxwell. Các tính chất đó là :

1) Sóng ánh sáng và sóng điện từ đều là sóng ngang tuyệt đối.
2) Sóng ánh sáng và sóng điện từ đều truyền trong chân không với vận tốc $c = 3.10^8$ m/s
3) Không có ranh giới giữa sóng quang học và sóng vô tuyến trong miền hồng ngoại cũng như giữa sóng quang học và tia X trong miền tử ngoại.
4) Việc đồng nhất sóng quang học với sóng điện từ làm cho việc giải thích các hiện tượng quang học một cách đơn giản, rõ ràng. Chẳng hạn giải thích các hiện tượng phản xạ, khúc xạ ánh sáng, hiện tượng tán sắc, phân cực ánh sáng …

Nói tóm lại, các sóng quang học gồm các ánh sáng thấy được, hồng ngoại và tử ngoại là một dải sóng trong thang sóng điện từ thống nhất.

II. Nguồn kết hợp

II.1. *Dao động sáng*

Lý thuyết và thực nghiệm chứng tỏ chỉ có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của sóng điện từ mới gây nên cảm giác sáng. Vậy dao động sáng là dao động của véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của sóng điện từ:

$$E = E_o \cos(\omega t + \alpha) \qquad (11\text{-}1)$$

Ta biết ánh sáng do các nguyên tử của nguồn sáng phát ra. Nguyên tử phát ra ánh sáng không liên tục mà gián đoạn. Cứ sau một khoảng thời gian $t \sim 10^{-8}$s nguyên tử phát ra một đoàn sóng. Vì sự phát sáng là ngẫu nhiên nên pha ban đầu α của mỗi đoàn sóng nhận các giá trị bất kỳ và luôn luôn thay đổi.

Câu hỏi: Trong biểu thức (11-1) đại lượng nào liên quan đến cường độ sáng I (năng lượng sáng)? Đại lượng nào liên quan đến bước sóng λ của ánh sáng (màu sắc ánh sáng)? Giải thích.

II.2. *Hai sóng ánh sáng kết hợp*

Hai sóng ánh sáng kết hợp là hai sóng ánh sáng dao động cùng phương, cùng tần số và có hiệu pha không thay đổi theo thời gian.

II.3. Cách tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp

Nguyên tắc để tạo ra hai sóng ánh sáng kết hợp là từ một sóng tách ra làm hai rồi cho gặp nhau. Vì được tách ra từ **một sóng** nên pha ban đầu của chúng thay đổi đồng bộ. Nên hiệu pha của chúng không thay đổi theo thời gian.

II.4. Hàm sóng ánh sáng

Giả sử tại O dao động sáng có dạng:

$$E = E_o \cos \omega t$$

Sóng ánh sáng truyền đến M, tương tự như sóng cơ, dao động sáng tại M có dạng:

$$E_M = E_0 \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L}{\lambda}\right) \qquad (11\text{-}2)$$

Biểu thức (11-2) được gọi là hàm sóng ánh sáng.

Với: $L = n \cdot d$ (11-3)

- L là quang lộ giữa điểm O và M
- d là khoảng cách giữa hai điểm O và M
- n là chiết suất môi trường giữa hai điểm O và M.
- λ là bước sóng của ánh sáng.

Phân tích: Nếu biết dao động sáng tại một điểm thì từ hàm sóng (11-2) ta có thể suy ra dao động sáng tại một điểm khác.

III. Giao thoa ánh sáng gây bởi hai nguồn kết hợp

Hiện tượng giao thoa ánh sáng là hiện tượng tại vùng không gian gặp nhau của hai chùm ánh sáng có những vùng có cường độ sáng cực đại và cực tiểu xen kẽ nhau.

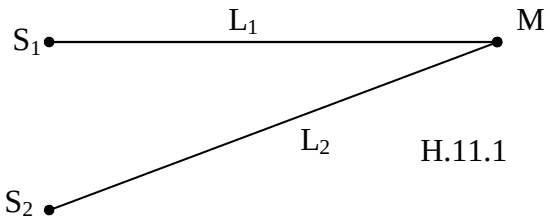
Hiện tượng giao thao ánh sáng chứng tỏ ánh sáng có bản chất sóng.

Hiện tượng giao thoa ánh sáng chỉ xảy ra đối với hai sóng ánh sáng kết hợp.

Giả sử có hai nguồn sáng kết hợp S_1 và S_2. Dao động sáng tại S_1 và S_2 có dạng:

$E_1 = E_o \cos \omega t$

$E_2 = E_o \cos \omega t$



H.11.1

Theo (11-2) hai nguồn S_1 và S_2 sẽ gây ra tại M dao động sáng có dạng:

$$E_{M1} = E_o \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_1}{\lambda}\right)$$

$$E_{M2} = E_o \cos\left(\omega t - \frac{2\pi L_2}{\lambda}\right)$$

Ta biểu diễn dao động sáng E_{M1} bằng véctơ $\vec{E}_{M1}$ và dao động sáng E_{M2} bằng véctơ $\vec{E}_{M2}$.

Dao động sáng tổng hợp tại M là:

$$\vec{E}_M = \vec{E}_{M1} + \vec{E}_{M2}$$

Vì hai dao động sáng dao động cùng phương, cùng tần số. Nên ta có biên độ dao động sáng tổng hợp tại M.

$$E_M^2 = 2E_o^2 (1+\cos \Delta\varphi) \qquad (1)$$

Trong đó $\Delta\varphi$ là hiệu pha của hai dao động sáng tại M.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L \qquad (11\text{-}4)$$

Với $\Delta L = (L_2 - L_1)$ là hiệu quang lộ của hai dao động sáng từ S_1 và S_2 đến M.

Ta biết cường độ sáng tỷ lệ với bình phương biên độ sáng:

$$I = k E^2 \qquad (2)$$

Từ (1) và (2) suy ra cường độ sáng tại M:

$$I = 2I_o (1 + \cos \Delta\varphi) \qquad (11\text{-}5)$$

Ta thấy cường độ sáng tại một điểm trong trường giao thoa phụ thuộc vào hiệu pha $\Delta\varphi$ hay hiệu quang lộ ΔL.

Nếu: $\Delta L = K\lambda$ (11-6a)

Với: $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$ gọi là bậc giao thoa.

Suy ra: $\Delta\varphi = 2k\pi$ (cùng pha) (11-6b)

Ta có cường độ sáng tại M cực đại: $I_{max} = 4 I_o$

Như vậy những điểm mà hiệu quang lộ từ đó đến hai nguồn là một số nguyên lần bước sóng có cường độ sáng cực đại.

Nếu: $\Delta L = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$ (11-7a)

Suy ra: $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$ (ngược pha) (11-7b)

Ta có cường độ sáng tại M cực tiểu: $I_{min} = 0$

Như vậy những điểm mà hiệu quang lộ từ nó đến hai nguồn là một số lẻ lần nửa bước sóng thì cường độ sáng cực tiểu.

Trong thực tế khi bố trí các thí nghiệm quan sát hiện tượng giao thoa ta chỉ quan sát thấy một vùng rất hẹp trong trường giao thoa. Nên trong thực tế ta sẽ quan sát thấy hình dạng các vân giao thoa là các vân sáng và tối song song xen kẽ nhau

Hiện tượng giao thoa áng sáng được ứng dụng: Đo bước sóng ánh sáng, khử phản xạ các mặt kính, kiểm tra các mặt kính phẳng hay lồi, chế tạo giao thoa kế Rayleigh để đo chiết suất chất lỏng và chất khí, giao thoa kế Michelson để đo chiều dày của các bản mỏng, phương pháp toàn ký chụp ảnh nổi…

Tham khảo (đọc thêm)

Kỹ thuật chụp toàn ảnh *hay* ***ảnh toàn ký*** *là phương pháp và kỹ thuật chụp lại và tái dựng hình ảnh ba chiều của vật thể. Kỹ thuật này không cần sử dụng thấu kính quang học nhằm tập trung hình ảnh lên tấm ghi hình hoặc thiết bị kỹ thuật số, thay vào đó sử dụng một nguồn sáng kết hợp như laser chiếu đến vật và cho giao thoa với một chùm laser tham chiếu tại cuộn phim ghi hình. Phương pháp chụp giao thoa này cho phép lưu lại nhiều thông tin hơn hình ảnh 2 chiều, cho phép người quan sát thấy*

hình ảnh 3 chiều của vật thể khi nhìn dưới những góc khác nhau mà không một kính hỗ trợ nào khác. Một đặc điểm khác so với ảnh thông thường đó là nếu xé ảnh toàn ký thì hình ảnh của vật thể vẫn được bảo toàn trong từng bức ảnh toàn ký nhỏ.

Kỹ thuật này do Dennis Gabor phát triển vào thập niên 1940, nhưng phải đợi cho đến khi laser ra đời thì ý tưởng của ông mới thực hiện được. Nhờ công trình này mà ông được trao giải Nobel Vật lý năm 1971.

Ảnh toàn ký có nhiều ứng dụng trong y học, khoa học, kỹ thuật, kiến trúc và bán lẻ hàng hóa. Mô hình kiến trúc bằng toàn ảnh cho phép các kiến trúc sư mô hình hóa công trình trên không gian ba chiều trước khi triển khai xây dựng

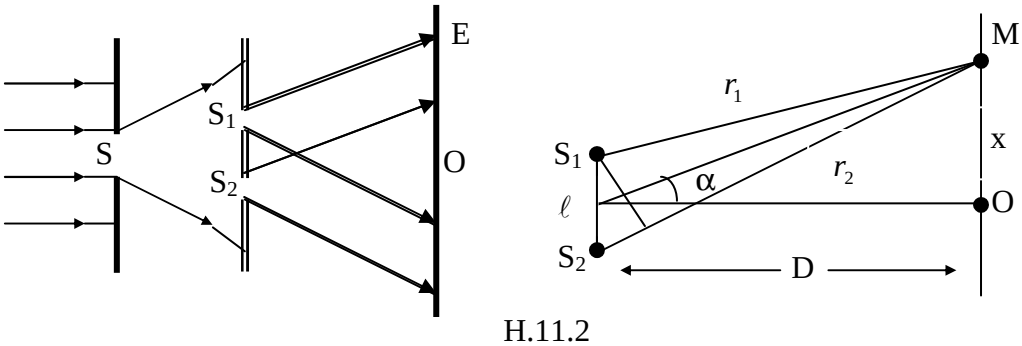
Sinh viên có thể đọc thêm trên mạng vào Google: Ảnh toàn ký và hiện thực ảo. Rồi lích vào: Ảnh toàn ký và hiện thực ảo – PC World VN.

Câu hỏi:

1) Theo hình vẽ H.11.1 hai dao động sáng $\vec{E}_{M1}$ và $\vec{E}_{M2}$ tại M có cùng phương không? Nếu có giải thích tại sao. Nếu không giải thích tại sao.

2) Theo hình vẽ H.11. để hai dao động sáng $\vec{E}_{M1}$ và $\vec{E}_{M2}$ cùng phương tại M phải thỏa mãn điều kiện gì?

IV. Khảo sát hiện tượng giao thoa gây bởi khe Young



H.11.2

Hiện tượng giao thoa gây bởi khe young được bố trí như sau: Chiếu một chùm ánh sáng đơn sắc có bước λ song song qua một khe hẹp S. Sau S đặt hai khe hẹp S_1 và S_2 song song với S. Khoảng cách giữa hai khe S_1 và S_2 là ℓ rất bé. Sau hai khe đặt một màn quan sát E cách hai khe một khoảng D >> ℓ.

Trên màn ta quan sát thấy hệ thống vân là các vân sáng tối xen kẽ nhau song song với nhau và song song với hai khe. Tại O là vân sáng giữa ta thiết lập một trục toạ tộ OX. Toàn bộ hệ thống khảo sát hiện tượng giao thoa được đặt trong không khí có chiết suất n ~ 1.

Xét một điểm M nằm bất kỳ trên màn E có toạ độ x. Ta có hiệu quang lộ của hai tia tại M:

$$\Delta L = r_2 - r_1 = S_2H = \ell \sin\alpha$$

Vì góc α nhỏ nên:

$$\Delta L = \ell \sin\alpha = \ell tg\alpha = \ell \frac{x}{D}$$

$$\Delta L = \frac{\ell.x}{D} \qquad (11\text{-}8)$$

Nếu tại M là vân sáng, ta có: $\Delta L = \frac{\ell.x}{D} = k\lambda$

Suy ra: $$x = \frac{k\lambda D}{\ell} \qquad (11\text{-}9)$$

Nếu tại M là vân tối ta có: $\Delta L = \frac{\ell x}{D} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

Suy ra: $$x = (2k+1)\frac{\lambda.D}{2\ell} \qquad (11\text{-}10)$$

Gọi i là khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp hay hai vân tối liên tiếp, ta có:

$$i = x_{k+1} - x_k = (k+1)\frac{\lambda.D}{\ell} - \frac{k\lambda.D}{\ell} = \frac{\lambda.D}{\ell}$$

$$i = \frac{\lambda.D}{\ell} \qquad (11\text{-}11)$$

Từ biểu thức (11-8) ta suy ra:

$$\frac{\Delta.L}{\lambda} = \frac{\ell}{\lambda.D}.x = \frac{x}{i}$$

Hay: $$m = \frac{x}{i} = \frac{\Delta.L}{\lambda} \qquad (11\text{-}12)$$

Trong đó m gọi là số vân.

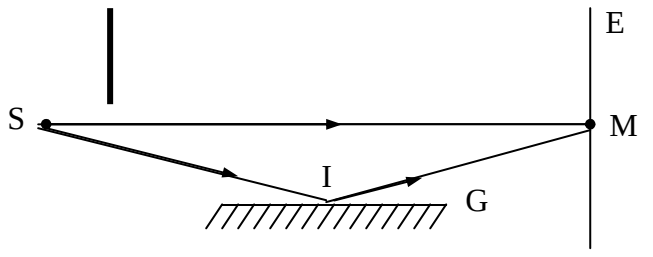
Ta thấy khi hiệu quang lộ ΔL biến thiên một lượng bằng bước sóng λ thì trên hệ thống vân dịch chuyển đi một khoảng vân.

<u>Bài 11.1</u>: Trong hiện tượng giao thoa gây bởi khe Young cho D = 1m, l = 1mm. Chiếu vào khe S ánh sáng trắng λ = 0,4 – 0,7 μm. Tại điểm A cách vân sáng trung tâm x_A = 1mm có bước sóng λ nào cho vân sáng.

Đáp số: λ = 0,5 μm

V. Hiện tượng giao thoa gây bởi gương Lloyd.

Hiện tượng giao thoa gây bởi gương Lloyd được bố trí như trên : Có một gương phẳng G và một nguồn sáng điểm đơn sắc S được đặt sao cho tia tới đến gương và phản xạ có góc tới lớn gần bằng 90^o.



H.11.3

Tại điểm M bất kỳ trên màn E gặp nhau của hai tia SM và SIM. Vì cùng xuất phát từ nguồn điểm nên là hai tia kết hợp, trên màn E ta sẽ quan sát thấy hiện tượng giao thoa.

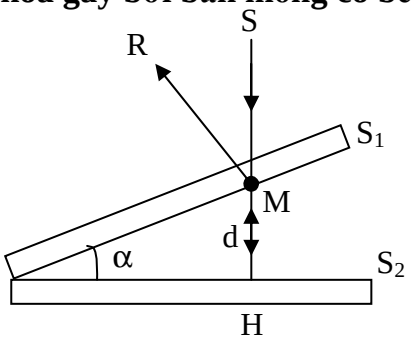
Thực nghiệm cho thấy tại nơi lý thuyết tiên đoán là vân sáng lại có vân tối và ngược lại.

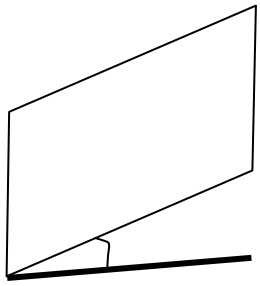
Như vậy hệ thống vân đã dịch chuyển đi một nửa khoảng vân. Điều này chứng tỏ hiệu quang lộ trong trường hợp này đã thay đổi một lượng bằng một nửa bước sóng. Để giải thích điều này buộc người ta phải công nhận tia SIM khi phản xạ trên gương G quang lộ của nó thay đổi một lượng bằng $\lambda/2$.

$$L = (SIM) + \lambda/2$$

Lý thuyết và thực nghiệm cho thấy khi phản xạ trên môi trường chiết quang hơn thì quang lộ của ánh sáng thay đổi một lượng bằng $\lambda/2$. Còn khi phản xạ trên môi trường kém chiết quang hơn thì quang lộ của ánh sáng không thay đổi.

VI. Giao thoa gây bởi bản mỏng có bề dày thay đổi - Nêm không khí





H.11.4

Nêm không khí là một lớp không khí có dạng hình nêm.

Được giới hạn bởi hai bản thuỷ tinh đặt nghiêng nhau một góc α rất nhỏ, gọi S_1 và S_2 là hai mặt của nêm, CC' là cạnh của nêm. Chiếu một tia sáng đơn sắc SM vuông góc với mặt S_2. Từ hình vẽ ta thấy hai tia MR và M H M đều phát xuất từ tia SM nên là hai tia kết hợp và sẽ cho hiện tượng giao thoa tại M.

Ta có hiệu quang lộ của hai tia tại M

$$\Delta L = 2d + \lambda/2$$

Với d là chiều dày của nêm tại M.

Nếu: $\Delta L = 2d + \lambda/2 = k\lambda$

Thì tại M sẽ cho vân sáng.

Suy ra: $d = (2k-1)\dfrac{\lambda}{4}$ (11-13)

Với $k = 1, 2, 3, \ldots$

Nếu: $\Delta L = 2d + \lambda/2 = (2k+1)\dfrac{\lambda}{2}$

Thì tại M sẽ cho vân tối.

Suy ra: $d = k\dfrac{\lambda}{2}$ (11-14)

Với k = 0, 1, 2, 3, …

Vì quỹ tích những điểm cùng bề dày là đường thẳng song song với cạnh nêm. Nên trên mặt S_1 ta quan sát thấy hình dạng vân giao thoa là các vân sáng tối xen kẽ nhau và song song với cạnh nêm. *Tại cạnh nêm là vân tối.*

Hiện tượng nhiều màu trên màn bong bóng xà phòng hay các ván dầu là do sự giao thoa trên bản mỏng gây ra.

Bài tập 11.2:

Chiếu một chùm ánh sáng trắng (λ = 0,4 – 0,7 μm) song song vuông góc với nêm không khí. Hãy xác định tại vị trí nêm có bề dày $d_1 = 0{,}4\,\mu$m có bước sóng λ nào cho vân sáng.

Đáp số: $\lambda = 0{,}53\ \mu$m

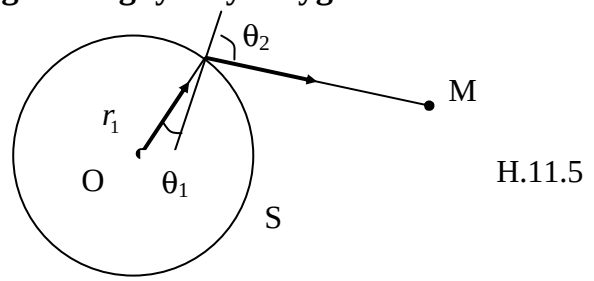
VII. Nguyên lý Huyhgen – Fresnel

VII.1.Phát biểu nguyên lý Huyghen – Fresnel

Cơ sở để giải thích hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng là nguyên lý Huyghen – Fresnel được phát biểu như sau:

Bất kỳ một điểm nào mà ánh sáng truyền đến đều trở thành nguồn sáng cầu thứ cấp phát ánh sáng về phía trước nó. Biên độ và pha của nguồn thứ cấp là biên độ và pha của nguồn thực gây ra tại điểm đó.

VII.2.Sự truyền sáng theo nguyên lý Huyghen – Fresnel



H.11.5

Theo nguyên lý Huyghen – Fresnel tác dụng của nguồn sáng điểm O gây ra tại điểm M có thể được thay bằng tác dụng của các nguồn sáng cầu thứ cấp phát đi từ các phần tử dS của mặt kín S bao quanh O.

Các sóng thứ cấp trên mặt S là các sóng kết hợp. Khi đến M chúng sẽ giao thoa nhau.

Giả sử dao động sáng tại O là:

$$E = E_o \cos \omega t \qquad (11\text{-}15)$$

Theo nguyên lý Huyghen – Fresnel dao động sáng của nguồn thứ cấp tại dS là:

$$dE = \frac{E_o}{r_1}.k_1.dS.\cos\left(\omega\, t - \frac{\omega\, r_1}{\vartheta}\right)$$

Trong đó k_1 phụ thuộc vào góc θ_1

Dao động sáng tại M do dS gây ra sẽ là

$$dE_M = k.\frac{E_o}{r_1 r_2}.dS.\cos\left(\omega\, t - \frac{\omega(r_1 + r_2)}{\vartheta}\right)$$

Trong đó k phụ thuộc vào góc θ_1 và θ_2 và sẽ lớn nhất khi cả θ_1 và θ_2 đều bằng không.

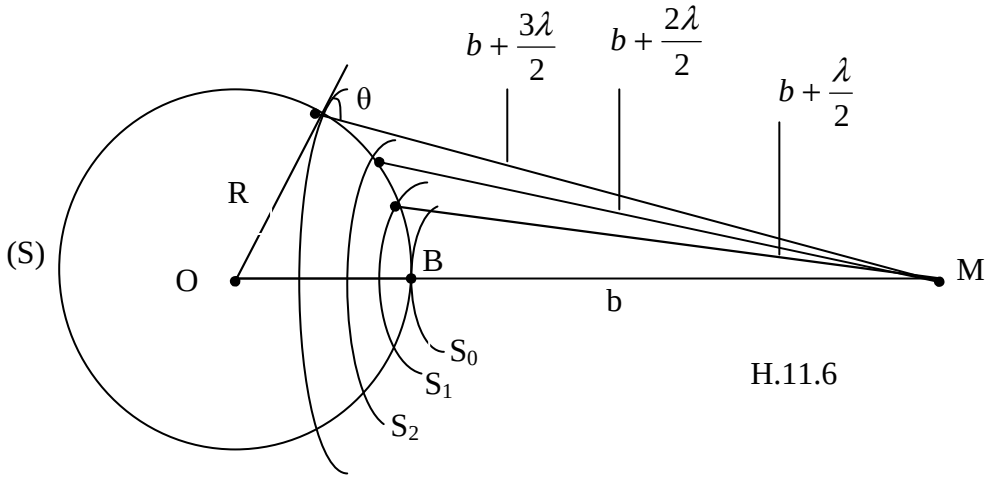
Dao động sáng tổng hợp tại M sẽ là:

$$E_M = \int_{(S)} \frac{k.E_o}{r_1 r_2}\cos\left(\omega t - \frac{\omega(r_1 + r_2)}{\vartheta}\right).dS \qquad (11\text{-}16)$$

Tính tích phân trong biểu thức (11-16) là khá phức tạp. Để đơn giản hơn Fresnel đã xây dựng phương pháp đới cầu Fresnel.

VII.3. Phương pháp đới cầu Fresnel

VII.3.1.Đới cầu Fresnel



H.11.6

Giả sử có một nguồn sáng điểm O và một điểm được chiếu sáng M.

Xét một mặt cầu bán kính R < OM có tâm O. Đặt MB = b. Lấy M làm tâm lần lượt vẽ các mặtcầu S_o, S_1, S_2, S_3, … có bán kính lần lượt : b, b + λ/2, b + 2.λ/2, b + 3.λ/2 …

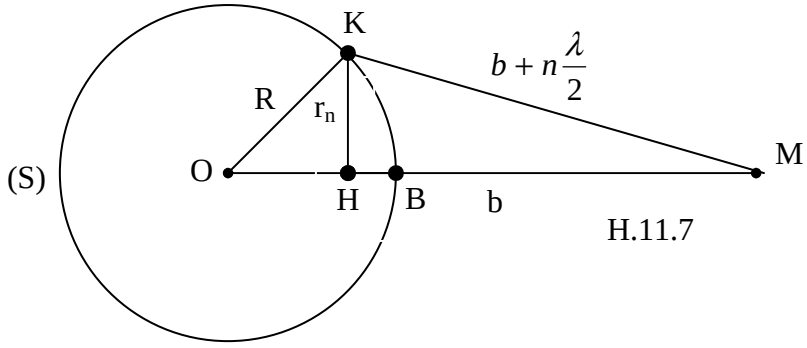
Trong đó λ là bước sóng của ánh sáng.

Các mặt cầu S_o, S_1, S_2, S_3, … chia mặt cầu S thành các đới gọi là đới cầu Fresnel.

VII.3.2. Bán kính của đới cầu

Gọi r_n = KH là bán kính của đới cầu thứ n.

Đặt HB = h_n. Theo hình vẽ ta có:



H.11.7

$$r_n^2 = R^2 - (R - h_n)^2$$

$$r_n^2 = 2Rh_n - h_n^2$$

Xét trường hợp $h_n << R$. Ta có: $r_n^2 = 2Rh_n$ (a)

Mặt khác ta lại có: $r_n^2 = \left(b + n.\frac{\lambda}{2}\right)^2 - (b + h_n)^2$

Xét trường hợp $b >> h$ và $\lambda << b$. Ta có :

$$r_n^2 = nb\lambda - 2bh_n \quad (b)$$

So sánh (a) và (b). Ta được:

$$h_n = \frac{n\lambda\, b}{2(R+b)} \quad (c)$$

Với n = 1, 2, 3, …

Từ (a) và (c) ta suy ra: $r_n = \sqrt{\frac{Rb\lambda}{(R+b)}} \cdot \sqrt{n}$ (11-17)

VII.3.3.Diện tích của đới cầu

Gọi ΔS là diện tích của chỏm cầu chứa n đới cầu.

Ta có : $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \ldots + \Delta S_n$

Hay : $\Delta S = 2\pi R.h_n = \frac{\pi\, Rb}{(R+b)}.\lambda.n$

Vậy diện tích các đới cầu bằng nhau và bằng :

$$\Delta S_o = \frac{\pi\, Rb\lambda}{(R+b)} \quad (11\text{-}18)$$

VII.3.4. Biên độ dao động sáng tổng hợp do các đới cầu gây ra tại M

Theo nguyên lý Huyghen- Fresnel các đới cầu được xem như là các nguồn thứ cấp và dao động sáng do các đới cầu gây ra tại M tương đương với dao động sáng do nguồn O gây ra tại M.

Gọi E_n là biên độ dao động sáng do đới cầu thứ n gây ra tai M.

Vì diện tích các đới cầu bằng nhau. Nên biên độ dao động sáng do các đới cầu gây ra tại M chỉ phụ thuộc vào khoảng cách từ đới cầu đến M và góc nghiêng θ.

Ta thấy khi n càng tăng thì khoảng cách từ đới cầu đến M càng lớn và góc θ càng lớn. Vậy khi n tăng thì E_n giảm. Ta có:

$$E_1 > E_2 > E_3 > E_4 \ldots$$

Vì biến thiên khoảng cách và góc θ giữa hai đới cầu liên tiếp nhỏ. Nên có thể xem:

$$E_n = \frac{E_{n-1} + E_{n+1}}{2}$$

Lúc n khá lớn thì $E_n \sim 0$

Vì hiệu quang lộ của hai sóng ánh sáng phát xuất từ hai đới cầu liên tiếp gây ra tại M là: $\Delta L = \lambda/2$. Nên hiệu pha của hai sóng là $\Delta\varphi = \pi$. Vậy hai sóng do hai đới cầu liên tiếp gây ra tại M ngược pha nhau. Do đó biên độ dao động sáng tổng hợp do các đới cầu gây ra tại M là:

$$E = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + E_5 - \ldots$$

$$E = \frac{E_1}{2} + \left(\frac{E_1}{2} - E_2 + \frac{E_3}{2}\right) + \left(\frac{E_3}{2} - E_4 + \frac{E_5}{2}\right) + \ldots. \quad \begin{cases} + \dfrac{E_n}{2} & : \text{nếu n lẻ} \\ \dfrac{E_{n-1}}{2} - E_n = -\dfrac{E_n}{2} & : \text{nếu n chẵn} \end{cases}$$

Vì phần trong ngoặc bằng không nên:

$$E = \frac{E_1}{2} \pm \frac{E_n}{2} \qquad \begin{cases} + : \text{nếu n lẻ} \\ - : \text{nếu n chẵn} \end{cases} \qquad (11\text{-}19)$$

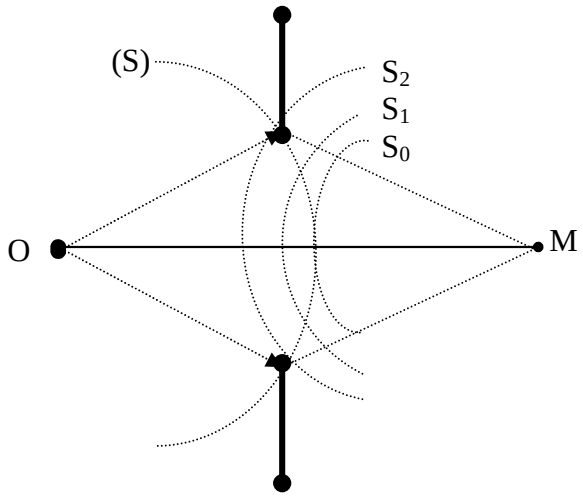
Ta có cường độ sáng tại M:

$$I = \left(\frac{E_1}{2} \pm \frac{E_n}{2}\right)^2 \qquad (11\text{-}20)$$

Nếu giữa O và M không có vật cản thì n lớn. Nên $E_n \sim O$. Khi đó:

$$I = \frac{E_1^2}{4} = I_o \qquad (11\text{-}21)$$

VIII. Nhiễu xạ qua một lỗ tròn gây bởi nguồn điểm ở gần



H.11.8

Giả sử ta có một nguồn điểm O và điểm được chiếu sáng M. Đặt giữa O và M một màn có khoét một lỗ tròn. Sao cho trục của lỗ tròn trùng với phương OM. Lấy O làm tâm ta vẽ một mặt cầu (S) tựa lên lỗ tròn. Lấy M làm tâm ta vẽ các đới cầu Fresnel trên mặt (S).

Nếu lỗ tròn chứa i đới cầu và số đới cầu lẻ. Ta có:

$$E = \frac{E_1}{2} + \frac{E_i}{2}$$

Cường độ sáng tại M

$$I = \left(\frac{E_1}{2} + \frac{E_i}{2} \right)^2 > I_o$$

Điểm M sáng hơn lúc không có màn.

Nếu lỗ tròn chỉ chứa đới cầu thứ nhất:

$$E = \frac{E_1}{2} + \frac{E_1}{2} = E_1$$

$$I = E_1^2 = 4I_o$$

Điểm M sáng gấp 4 lần khi không có màn.

Nếu lỗ tròn chứa số chẵn đới cầu. Ta có:

$$E = \frac{E_1}{2} - \frac{E_i}{2}$$

$$I = \left(\frac{E_1}{2} - \frac{E_i}{2} \right)^2 < I_o$$

Điểm M sáng yếu hơn khi không có màn

Nếu lỗ tròn chứa 2 đới cầu đầu tiên.

$$E = \frac{E_1}{2} - \frac{E_2}{2}$$

Vì $E_1 \sim E_2$ nên $E \sim 0$. Vậy $I \sim 0$

Tại điểm M tối.

Tóm lại cường độ sáng tại M phụ thuộc vào kích thước của lỗ tròn, cũng như khoảng cách từ O đến lỗ tròn và khoảng cách từ lỗ tròn đến M.

Bài tập 11.3:

Một nguồn sáng điểm O phát ra ánh sáng bước sóng $\lambda = 0{,}5\mu m$ và điểm được chiếu sáng M cách nhau 4m. Người ta đặt chính giữa OM một màn chắn sáng trên có khoét một lỗ tròn, sao cho trục lỗ tròn trùng với OM. Xác định bán kính của lỗ tròn để cường độ sáng tại điểm M gấp 4 lần khi chưa có màn.

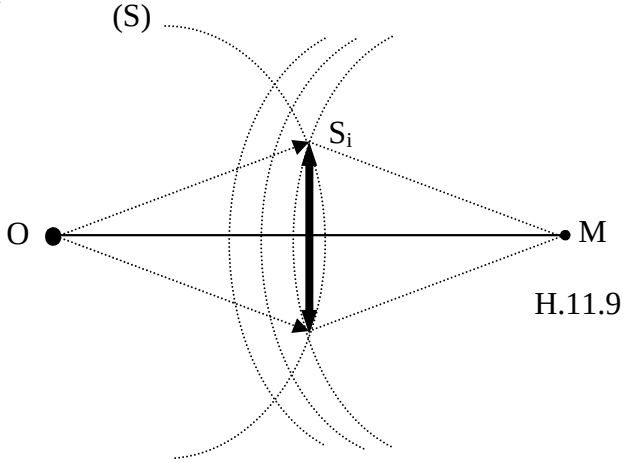
Đáp số: r = 0,7 mm

Bài tập 11.4:

Một nguồn sáng điểm O và điểm được chiếu sáng M cách nhau 4m. Người ta đặt chính giữa OM một màn chắn sáng trên có khoét một lỗ tròn, sao cho trục lỗ tròn trùng với OM. Xác định bán kính của lỗ tròn để tại điểm M tối.

Đáp số: r = 1 mm

IX. Nhiễu xạ qua một đĩa tròn



H.11.9

Đặt giữa nguồn sáng điểm O và điểm M một đĩa tròn chắn sáng. Giả sử đĩa che mất đới cầu thứ i. Ta có biên độ dao động sáng tại M:

$$E = \frac{E_{i+1}}{2} \pm \frac{E_n}{2}$$

Vì n lớn nên $E_n \sim O$. Vậy

$$E = \frac{E_{i+1}}{2}$$

Ta có cường độ sáng tại M

$$I = \left(\frac{E_{i+1}}{2} \right)^2$$

Nếu đĩa che ít đới cầu có thể xem $E_{i+1} \sim E_1$

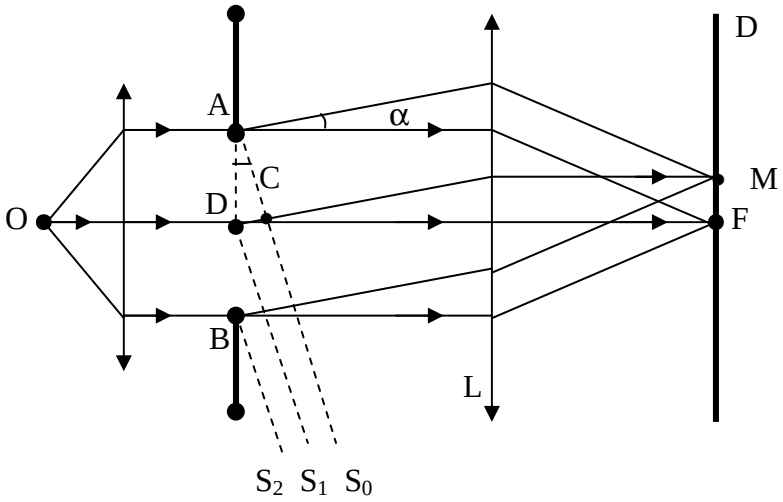
Suy ra: $I \sim I_o$. Vậy tại M sẽ sáng bình thường như không có đĩa tròn.

Nếu đĩa lớn che nhiều đới cầu thì $E_{i+1} \sim O$

Suy ra $I \sim O$. Vậy tại M sẽ tối.

X. Nhiễu xạ qua một khe hẹp gây bởi chùm tia đơn sắc song song

X.1.Mô tả thí nghiệm



H.11.10

Một khe hẹp có bề rộng AB = b. Chiếu đến khe hẹp một chùm tia sáng đơn sắc song song có bước sóng λ và vuông góc với mặt phẳng khe. Sau khe hẹp các tia sáng nhiễu xạ theo nhiều phương khác nhau. Để quan sát hiện tượng nhiễu xạ ta dùng một thấu kính hội tụ L. Các chùm tia nhiễu xạ sẽ hội tụ trên màn D đặt tại mặt phẳng tiêu diện của thấu kính L. Những chùm tia nhiễu xạ có góc α khác nhau sẽ hội tụ tại những điểm khác nhau. Tùy theo giá trị của góc α mà điểm M có thể sáng hay tối.

X.2.Sự phân bố cường độ sáng trên màn D.

Để xác định cường độ sáng tại một điểm M trên màn E. Ta vẽ các mặt phẳng S_0, S_1, S_2 …vuông góc với các tia nhiễu xạ và cách nhau một khoảng DC = λ/2. Hệ các mặt phẳng S_0, S_1, S_2 …chia mặt phẳng khe có bề rộng AB = b thành n dải. Mỗi dải có bề rộng AD = d:

$$d = \frac{DC}{\sin\alpha} = \frac{\lambda}{2\sin\alpha}$$

Suy ra số dải:

$$n = \frac{b}{d} = \frac{2b\sin\alpha}{\lambda}$$

Những dải sáng này là những nguồn sáng thứ cấp dao động cùng pha và phát ra các sóng ánh sáng kết hợp truyền tới dao thoa với nhau trên màn D.

Do hiệu quang lộ của hai sóng phát ra từ hai dải liên tiếp bằng ΔL = λ/2, nên hiệu pha của chúng tại điểm M trên màn D sẽ ngược pha (Δφ = (2k + 1)π) và khử lẫn nhau.

X.2.1. Cực đại nhiễu xạ trung tâm (giữa)

Đối với các tia nhiễu xạ có góc nhiễu xạ α = 0 (truyền thẳng) các tia có hiệu quang lộ ΔL = 0, nên cùng pha Δφ = 0. Do đó giao thoa tại F cho vân sáng I_0 gọi là vân sáng trung tâm hay vân sáng giữa

X.2.2. Cực tiểu nhiễu xạ:

Nếu khe hẹp b chứa một số chẵn các dải sáng, nghĩa là n = 2k (k là số nguyên dương), do từng cặp dải sáng kế tiếp gây ra tại điểm M khử lẫn nhau, nên tại điểm M sẽ tối (cực tiểu nhiễu xạ). Suy ra điều kiện cực tiểu nhiễu xạ:

$$n = \frac{2b\sin\alpha}{\lambda} = 2k$$

Hay: $\sin\alpha = k\frac{\lambda}{b}$ (11-22)

Với: k = ± 1, ± 2, ± 3….

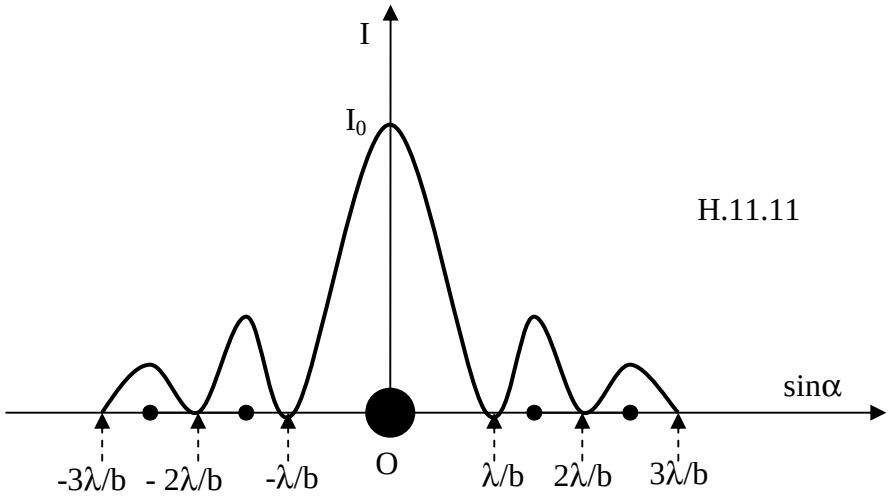
X.2.3. Cực đại nhiễu xạ bật k:

Nếu khe hẹp b chứa một số lẻ các dải sáng, nghĩa là n = (2k + 1), thì dao động sáng của từng cặp kế tiếp nhau sẽ khử nhau, chỉ còn lại dao động sáng của một dải sáng lẻ dư ra không bị khử. Do đó điểm M là vân sáng I_k nhưng có cường độ sáng nhỏ hơn nhiều với vân sáng trung tâm I_0 .

Suy ra điều kiện các cực đại nhiễu xạ bậc k:

$$n = \frac{2b\sin\alpha}{\lambda} = (2k+1)$$

Hay : $\sin\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{b}$ với k = + 1, ± 2, ± 3 …. (11-23)



H.11.11

X.2.4.Hình dạng vân nhiễu xa

Nếu nguồn sáng là nguồn điểm thì ảnh nhiễu xạ của khe hẹp sẽ là một dãy điểm sáng tối xen kẽ nhau và nằm trên một đường thẳng có phương vuông góc với khe hẹp.

Nếu nguồn sáng là một khe sáng hẹp song song với khe nhiễu xạ thì ảnh nhiễu xạ gồm những vân sáng tối song song xen kẽ nhau và song song với khe nhiễu xạ. Vân sáng giữa sáng nhất và rộng gấp đôi các vân sáng hai bên.

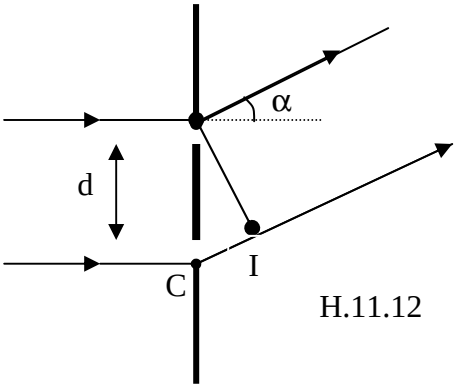
Vì vị trí của các cực đại và cực tiểu của các vân nhiễu xạ chỉ phụ thuộc vào góc nhiễu xạ α mà không phụ thuộc vào vị trí của khe nhiễu xạ trên mặt phẳng chứa khe. Cho nên nếu ta dịch chuyển khe nhiễu xạ song song với chính nó trong mặt phẳng chứa khe thì vị trí của hình dạng vân nhiễu xạ trên màn D không thay đổi.

XI. Nhiễu xạ qua cách tử

XI.1. Cách tử

Cách tử là một hệ nhiều khe hẹp cùng bề rộng b song song nhau, cách đều nhau và nằm trên cùng một mặt phẳng. Khoảng cách d giữa hai khe liên tiếp gọi là chu kỳ của cách tử, thường thì d >> b.

XI.2. Cực đại chính nhiễu xạ qua cách tử



H.11.12

Nhiễu xạ qua một cách tử gây bởi chùm tia đơn sắc song song cũng tương tự như nhiễu xạ qua một khe hẹp.

Vì vị trí của vân nhiễu xạ qua một khe hẹp ở trên màn D không phụ thuộc vào vị trí của khe trên mặt phẳng chứa khe. Nên các vân nhiễu xạ của các khe của cách tử sẽ chồng khít lên nhau trên màn D. Do đó sẽ có sự giao thoa giữa các khe với nhau và sự phân bố cường độ sáng trên màn sẽ thay đổi.

Trước hết ta xét sự giao thoa bởi hai khe liên tiếp. Đây chính là sự giao thoa gây bởi hai khe Young. Ta có hiệu quang lộ của hai tia phát suất từ hai khe liên tiếp.

$\Delta L = IC = d \sin\alpha$

Ta có cường độ sáng cực đại khi:

$\Delta L = d \sin\alpha = k\lambda$

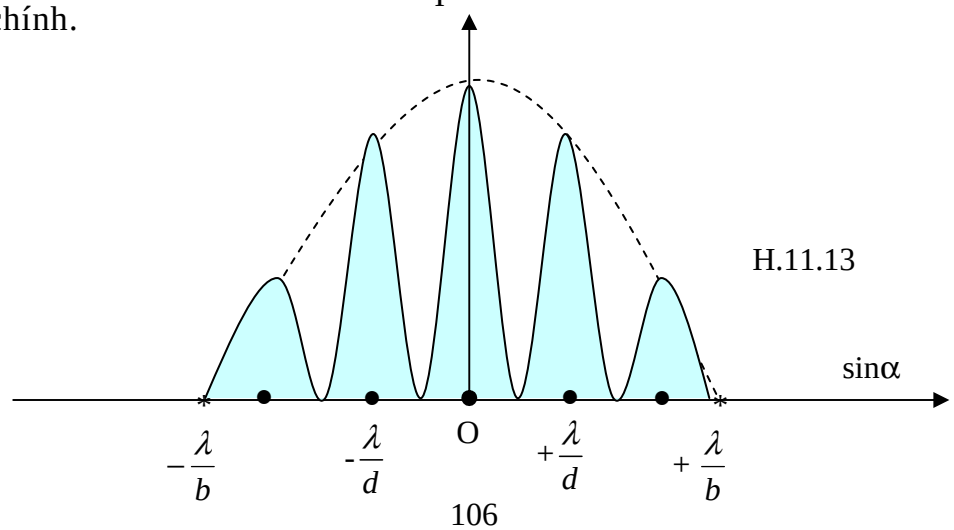
Suy ra: $Sin\alpha = \frac{k\lambda}{d}$ (11-24)

Với: k = 0, ±1, ±2, ±3 …

Cực đại này được gọi là **cực đại chính** của nhiễu xạ qua cách tử. Về thực chất nó chính là vân sáng giao thoa của hai khe liên tiếp.

Ta thấy vị trí của cực đại chính trên màn chỉ phụ thuộc vào góc nhiễu xạ α mà không phụ thuộc vào vị trí của hai khe trên mặt phẳng cách tử. Do đó các cực đại chính do sự giao thoa của từng cặp khe liên tiếp của cách tử sẽ chồng khít lên nhau trên màn D.

Do d >> b, nên trên nền của cực đại nhiễu xạ giữa của **một khe** ta sẽ có nhiều cực đại chính.



H.11.13

Sự phân bố cường độ sáng được trình bày trên hình vẽ trên là chỉ đúng cho trường hợp chỉ có sự giao thoa giữa hai khe liên tiếp.

Nhưng trên thực tế còn có sự giao thoa giữa các khe cách nhau. Cho nên trên thực tế giữa hai cực đại chính còn có những cực đại phụ

Người ta chứng minh được rằng nếu gọi N là số khe trên cách tử thì số cực đại phụ giữa hai cực đại chính là (N-2). Tuy nhiên các cực đại phụ ít được quan tâm vì cường độ sáng của nó là rất nhỏ so với cực đại chính. Trong thực tế khi quan sát hiện tượng nhiễu xạ qua một cách tử thì trên màn D ta quan sát thấy các vạch sáng song song nhau và cách nhau trên một nền tối. Các vạch sáng đó chính là các cực đại chính

XI.3. Quang phổ cách tử

Ta biết cực đại chính nhiễu xạ của cách tử được xác định bởi $\sin\varphi = k\lambda/d$. Do đó nếu ta chiếu đến cách tử một chùm ánh sáng trắng thì ứng với những bước sóng khác nhau sẽ cho vị trí của cực đại chính khác nhau trên màn D. Như vậy cách tử đã phân tách chùm ánh sáng trắng thành các vạch đơn sắc khác nhau được gọi là quang phổ cách tử.

Ứng với các giá trị khác nhau của $k = 0, \pm1, \pm2, \pm3$ … ta có các bậc quang phổ khác nhau. Ứng với bậc quang phổ $k = 0$ thì mọi bước sóng đều có cực đại chính trùng nhau tại F. Nên tại F là vạch sáng trắng. Hai bên vạch sáng trắng là quang phổ của bậc cao hơn.

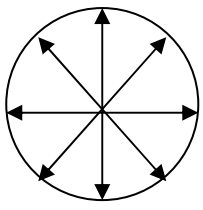
Cách tử được dùng trong máy phân tích quang phổ để tách chùm tia phức tạp thành các chùm tia đơn sắc

XII. Ánh sáng tự nhiên và ánh sáng phân cực

XII.1. Ánh sáng tự nhiên

Ta biết dao động sáng là dao động của véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ và véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ vuông góc với phương truyền sáng.

Ánh sáng tự nhiên là ánh sáng mà có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ dao động đều đặn theo mọi phương nằm trong mặt phẳng vuông góc với phương truyền sáng.

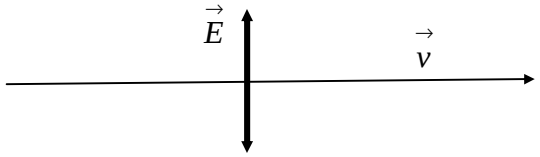


H.11.14

Nguồn phát ra ánh sáng tự nhiên là mặt trời, đèn …

XII.2. Ánh sáng phân cực toàn phần

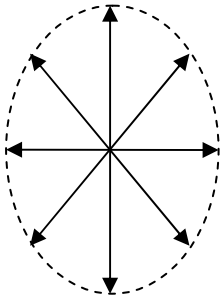
Ánh sáng phân cực toàn phần là ánh sáng mà véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của nó chỉ dao động theo một phương.



H.11.15

Ánh sáng phân cực toàn phần

XII.3.Ánh sáng phân cực một phần



H.11.16

Ánh sáng phân cực một phần

Ánh sáng phân cực một phần là ánh sáng mà véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ dao động không đều theo mọi phương, có phương dao động cực đại và có phương dao động cực tiểu.

Phân tích:

Hai chùm sáng có cùng cường độ sáng I, có cùng bước sóng λ (cùng màu), nhưng tính phân cực của chúng có thể khác nhau. Chiếu một chùm sáng tới vuông góc với bề mặt của một bản phân cực và quay bản phân cực chung quanh chùm sáng, sao cho bề mặt bản phân cực luôn luôn vuông góc với chùm sáng tới.

- Nếu cường độ sáng sau bản phân cực không đổi thì chùm sáng tới là ánh sáng tự nhiên
- Nếu cường độ sáng sau bản phân cực lúc sáng, lúc tối thì chùm sáng tới là ánh sáng phân cực toàn phần
- Nếu cường độ sáng sau bản phân cực lúc sáng, lúc mờ thì chùm sáng tới là ánh sáng phân cực một phần

XIII. Sự phân cực do lưỡng chiết

Khi chiếu một chùm ánh sáng tự nhiên đi qua một môi trường bất đẳng hướng thì tính chất phân cực của ánh sáng tự nhiên bị thay đổi. Môi trường bất đẳng hướng là môi trường mà có một số tính chất vật lý theo các phương khác nhau là khác nhau. Chẳng hạn như : tinh thể thạch anh, tinh thể băng lan, tinh thể Tuamalin.

Khi chiếu một chùm ánh sáng vào một môi trường bất đẳng hướng thì sẽ có hai tia khúc xạ. Một tia tuân theo định luật khúc xạ:

Sin i/ Sin r = n_0 = const

Được gọi là tia thường ký hiệu bằng O. Với n_0 là chiết suất đối với tia thường.

Còn tia còn lại không tuân theo định luật khúc xạ

Sin i/ Sin r = $n_e \neq$ const

Được gọi là tia bất thường ký hiệu bằng chữ e. Với n_e là chiết suất của tia bất thường.

Rõ ràng vận tốc của tia thường trong tinh thể không thay đổi theo mọi phương. Còn vận tốc của tia bất thường thì thay đổi theo phương truyền.

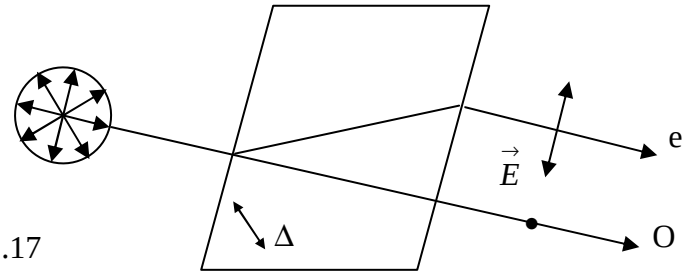
Trong tinh thể có một phương mà ánh sáng truyền theo phương đó không xảy ra hiện tượng lưỡng chiết được gọi là quang trục Δ của tinh thể. Tinh thể này được gọi là tinh thể đơn trục.

Mặt khác trong thiên nhiên vẫn có những tinh thể lưỡng trục như mica…

Đối với những tinh thể có $n_e < n_0$ được gọi là tinh thể âm, ví dụ như Băng lan. Còn những tinh thể có $n_e > n_0$ được gọi là tinh thể dương. Thí dụ: Thạch anh.

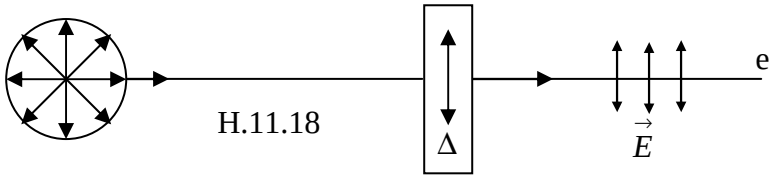
Thực nghiệm cho thất véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của tia thường 0 chỉ dao động theo phương vuông góc với mặt phẳng chứa tia thường và quang trục Δ. Còn tia bất thường e thì véctơ điện trường $\vec{E}$ của nó chỉ dao động theo phương nằm ngang trong mặt phẳng chứa tia bất thường e và quang trục Δ.

Vậy ánh sáng của tia thường 0 và tia bất thường e là ánh sáng phân cực toàn phần.



H.11.17

Khi ta chiếu một chùm ánh sáng tự nhiên đi qua một bản Tuamalin có bề dày lớn hơn d >1 mm thì nó sẽ hấp thụ hoàn toàn tia thường 0 và chỉ còn tia bất thường e ra khỏi bản.



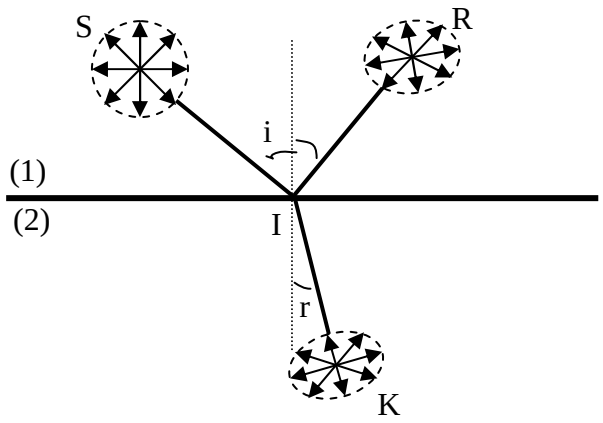
H.11.18

Vậy bản Tuamalin chỉ cho những dao động sáng $\vec{E}$ song song với quang trục Δ đi qua và hấp thụ hoàn toàn những dao động sáng $\vec{E}$ có phương vuông góc với quang trục.

Bản Tuamalin có bề dày lớn hơn d >1 mm là một bản phân cực

XIV. Sự phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ

Chiếu một chùm ánh sáng tự nhiên SI tới mặt phân cách giữa hai môi trường . Ta có tia khúc xạ IK và tia phản xạ IR. Thực nghiệm cho thấy hai tia phản xạ và khúc xạ đều là ánh sáng phân cực một phần.



H.11.19

Đối với tia phản xạ véctơ điện trường $\vec{E}$ dao động cực đại theo phương vuông góc với mặt phẳng tới. Còn đối với tia khúc xạ véctơ $\vec{E}$ dao động cực đại theo phương nằm trong mặt phẳng tới.

Khi góc tới i thỏa mãn điều kiện:

$$\text{tg } i_B = n_{21} \qquad (11\text{-}25)$$

Góc i_B được gọi là góc Brewster. Khi đó ánh sáng tia phản xạ là ánh sáng phân cực toàn phần. Còn ánh sáng tia khúc xạ vẫn là ánh sáng phân cực một phần.

Câu hỏi:

Hãy chứng minh trong hiện tượng phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ, khi tia phản xạ là ánh sáng phân cực toàn phần, thì hai tia phản xạ và khúc xạ vuông góc nhau.

Bài tập 11.5:

Chiếu một tia ánh sáng SI tới một bản thủy tinh đặt trong không khí. Khi góc khúc xạ $r = 30^0$ thì tia phản xạ là ánh sáng phân cực toàn phần. Hãy xác định chiết suất n của thủy tinh.

Đáp số: n = 1,73

XV. Sự quay mặt phẳng phân cực

Mặt phẳng phân cực là mặt phẳng chứa tia sáng và vuông góc với véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$.

XV.1.Trường hợp các tinh thể đơn trực

Thực nghiệm cho thấy khi rọi ánh sáng phân cực toàn phần theo quang trục của một tinh thể như thạch anh … thì véctơ cường độ dđiện trường $\vec{E}$ của nó quay đi một góc α.

$$\alpha = [\alpha] \ \rho \ . d \qquad (11\text{-}26)$$

Trong đó d là bề dày của tinh thể, ρ là khối lượng riêng tinh thể, $[\alpha]$ là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào chất tinh thể, nhiệt độ và bước sóng λ. Chẳng hạn thạch anh ở 20^0C

λ (μ_m) $\qquad$ $[\alpha]$ độ cm^3 / mm. gam

0,434	41,92
0,4861	32,76
0,5893	21,72
0,6563	17,32

Khi nhiệt độ tăng thì [α] tăng

XV.2.Trường hợp chất vô định hình

Khi ta chiếu một chùm ánh sáng phân cực toàn phần đi qua một dung dịch đường hay rượu … được gọi là chất quang hoạt thì thực nghiệm cho thấy véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của nó quay đi một góc α.

$$\alpha = [\alpha] . d . C \qquad (11\text{-}27)$$

Trong đó d chiều dày lớp dung dịch, C nồng độ của chất quang hoạt, [α] là hệ số phụ thuộc vào chất quang hoạt bước sóng λ và nhiệt độ. Chẳng hạn đối với đường ở 20^0C.

λ (μ_m)	[α] độ cm^3 / gam.dm
0,4861	100,3
0,5351	81,8
0,5893	66,5

Khi nhiệt độ tăng thì [α] tăng.

Tham khảo (đọc thêm): Tính chất phân cực ánh sáng của tinh thể lỏng

1/ Cấu trúc của tinh thể lỏng:

*Vào năm 1888 nhà thực vật học Reinitze trong khi xác định điểm nóng chảy và độ tinh khiết của một chất este cholextêrol đã lưu ý một hiện tượng đặc biệt: các tinh thể benzoat choletêro nóng chảy ở nhiệt độ 145,5 ^oC trở thành chất lỏng **đục** rồi nó trở nên trong suốt ở 178,5^oC và lúc đó nó là một chất lỏng đẳng hướng bình thường.*

*Từ năm 1889 Nhà vật lý người Đức Otto Lehmann đã nghiên cứu các chất lỏng **đục** đối với một số chất lỏng hữu cơ và ông đặt cho chúng cái tên là **tinh thể lỏng** vì chúng có tính **chảy** của chất lỏng nhưng đồng thời có tính chất **lưỡng chiết** của tinh thể.*

Tùy thuộc vào cấu trúc bên trong người ta chia các tinh thể lỏng thành ba loại: nêmatic, smectic và cholextêric.

Loại đơn giản nhất là nêmatic được cấu tạo bởi các phân tử có dạng sợi dài. Ở trạng thái tinh thể lỏng các "phân tử sợi" song song với nhau.

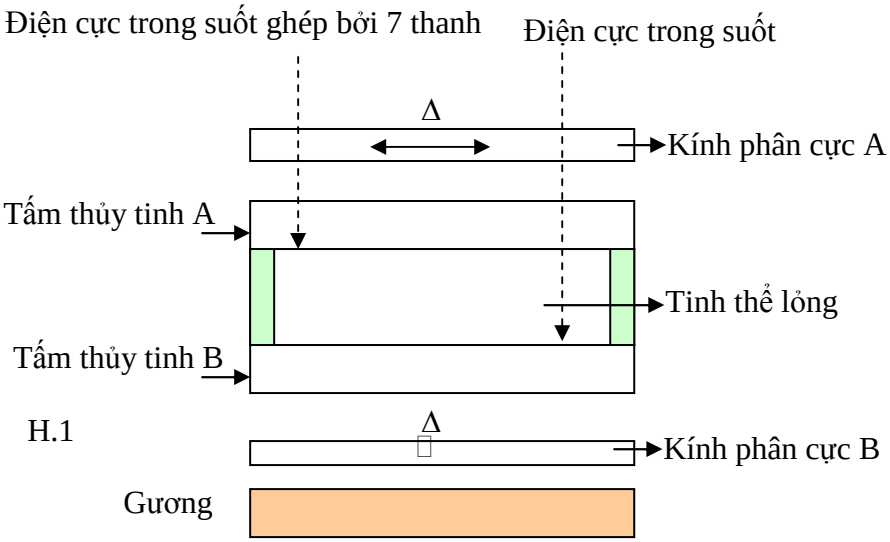
2/ Những tính chất quang của tinh thể lỏng.

Sự định hướng của các phân tử nêmatic không lan rộng cho toàn bộ thể tích của tinh thể mà chỉ ở trong những miền không lớn. Ở mỗi miền khác nhau sự định hướng các phân tử khác nhau. Tại mặt phân cách giữa các miền xảy ra sự phản xạ và khúc xạ ánh sáng cho nên chất nêmatic không trong suốt mà đục như sữa.

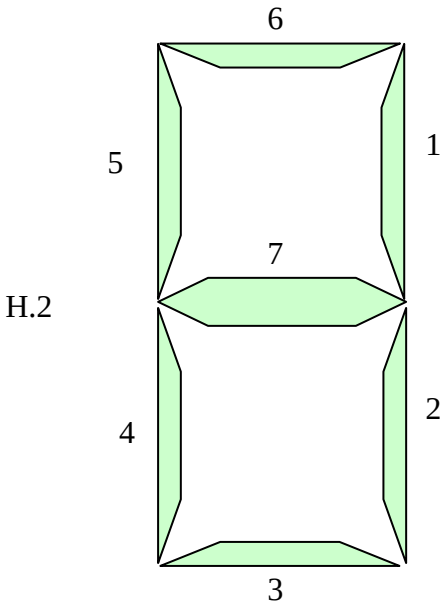
Có nhiều cách làm cho sự định hướng của các phân tử ne6matic trong toàn khối lỏng trở thành thống nhất, và chất lỏng trở thành trong suốt, chẳng hạn như dùng điện trường, từ trường, dùng áp suất...Phần sau đây giới thiệu phương pháp dùng điện trường thông qua một ứng dụng của tinh thể lỏng trong việc hiển thị số và chữ ở đồng hồ điện tử, ở máy tính bỏ túi, hay ở một số dụng cụ đo hiện số…

3/ Sự hiển thị chữ và số bằng tinh thể lỏng.

Bộ phận hiển thị được cấu tạo như hình vẽ H.1



H.1



H.2

1) *Kính phân cực A có phương quang trục Δ song song với mặt kính và nằm trong mặt phẳng hình vẽ.*
2) *Tấm thủy tinh A dày 0,5 mm*
3) *Mặt dưới tấm thủy tinh A có phủ lớp điện cực trong suốt ghép bởi 7 thanh. Hình H.2*
4) *Lớp tinh thể lỏng có bề dày từ 0,01 – 0,1 mm. Các phân tử dài của tinh thể lỏng định hướng song song với mặt tấm thủy tinh.*

5) *Tấm thủy tinh B dày 0,5 mm*
6) *Mặt trên của tấm thủy tinh B có phủ lớp điện cực trong suốt*
7) *Kính phân cực B có phương quang trục Δ song song với mặt kính và vuông góc với mặt phẳng hình vẽ.*
8) *Như vậy phương quang trục Δ của hai kính phân cực A và B vuông góc nhau.*
9) *Gương phản xạ ánh sáng*
    - *Các phân tử sợi dài của tinh thể lỏng định hướng song song với bề mặt của hai tấm kính A và B.*
    - *Phân tử ở sát với bề mặt tấm kính A định hướng song song với quang trục Δ của kính phân cực A*
    - *Các phân tử lớp dưới quay chung quanh phương thẳng đứng. Sao cho phân tử ở sát mặt tấm kính B có phương vuông góc với các phân tử ở sát mặt tấm kính A, tức có phương song song với quang trục Δ của kính phân cực B*

Khi chiếu vào kính phân cực A chùm ánh sáng tự nhiên, sau kính phân cực A là ánh sáng phân cực toàn phần có véctơ điện trường $\vec{E}$ song với quang trục Δ của kính phân cực A.

Ánh sáng phân cực toàn phần $\vec{E}$ đi qua tấm thủy tinh A tới lớp tinh thể lỏng. Khi đi qua lớp tinh thể lỏng véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của ánh sáng phân cực toàn phần quay.

Khi đến bề mặt của tấm thủy tinh B véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của ánh sáng phân cực toàn phần có phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ, tức song song với quang trục Δ của kính phân cực B.

Ánh sánh phân cực toàn phần đi qua tấm thủy tinh B và đến kính phân cực B, vì có véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ song song với quang trục Δ nên ánh sáng phân cực toàn phần đi qua kính phân cực B và đến gương. Ánh sáng phân cực toàn phần phản xạ ngược lại, đi kính phân cực B, đi qua tấm thủy tinh B, đi qua lớp tinh thể lỏng, véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ quay, đi qua tấm thủy tinh A và qua kính phân cực A. ***Trên màn hiển thị sáng đều.***

Bây giờ nếu ta muốn hiển thị con số 3 thì ta đặt một hiệu điện thế vào các thanh điện cực 1, 2, 3, 6 và 7 ở mặt dưới tấm thủy tinh A và điện cực ở mặt trên tấm thủy tinh B. Giữa các điện cực có một điện trường có phương thẳng đứng. Điện trường này định hướng các phân tử của tinh thể lỏng theo phương thẳng đứng.

Khi chiếu vào kính phân cực A chùm ánh sáng tự nhiên, sau kính phân cực A là ánh sáng phân cực toàn phần có véctơ điện trường $\vec{E}$ song với quang trục Δ của kính phân cực A.

Ánh sáng phân cực toàn phần $\vec{E}$ đi qua tấm thủy tinh A tới lớp tinh thể lỏng. Khi đi qua lớp tinh thể lỏng véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của ánh sáng phân cực toàn phần không quay, tức có phương không đổi. Ánh sáng đi qua tấm thủy tinh B tới

kính phân cực B. Vì ánh sáng phân cực toàn phần có phương của véctơ điện trường $\vec{E}$ *vuông góc với quang trục* Δ *của kính phân cực B nên ánh sáng không qua được kính phân cực B, không tới được gương để phản xạ ngược lại, tia sáng bị tắt.* ***Trên màn hiển thị các thanh 1, 2, 3, 6 và 7 tối, hiển thị số 3 tối.***

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 11

1/ ***Dao động sáng***

$$E = E_o \, CoS \, (\omega t + \alpha) \qquad (11\text{-}1)$$

2/Hàm sóng ánh sáng

$$E_M = E_0 \cos\left(\omega\, t - \frac{2\pi\, L}{\lambda}\right) \qquad (11\text{-}2)$$

3/ Giao thoa ánh sáng gây bởi hai nguồn kết hợp

a/ Điều kiện vân sáng giao thoa

$$\Delta L = k\lambda \qquad (11\text{-}3)$$

$$\Delta\varphi = 2k\pi \quad \text{(cùng pha)} \qquad (11\text{-}4)$$

b/ Điều kiện vân tối giao thoa

$$\Delta L = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \qquad (11\text{-}5)$$

$$\Delta\varphi = (2k + 1)\,\pi \qquad (11\text{-}6)$$

4/ Giao thoa gây bởi khe Young

a/ Vị trí vân sáng

$$x = \frac{k\lambda D}{\ell} \qquad (11\text{-}7)$$

b/ Vị trí vân tối

$$x = (2k+1)\frac{\lambda.D}{2\ell} \qquad (11\text{-}8)$$

c/ Khoảng vân

$$i = \frac{\lambda.D}{\ell} \qquad (11\text{-}9)$$

5/ Giao thoa gây bởi nêm không khí

a/ Điều kiện vân sáng.

$$d = (2k-1)\,\frac{\lambda}{4} \qquad (11\text{-}10)$$

b/ Điều kiện vân tối

$$d = k\frac{\lambda}{2} \qquad (11\text{-}11)$$

6/ **Bán kính của đới cầu Fresnel**

$$r_n = \sqrt{\frac{Rb\lambda}{(R+b)}} \cdot \sqrt{n} \qquad (11\text{-}12)$$

7/ Cường độ sáng do các đới cầu gây ra tại M.

$$I = \left(\frac{E_1}{2} \pm \frac{E_n}{2}\right)^2 \qquad (11\text{-}13)$$

8/ Nhiễu xạ qua một khe hẹp gây bởi chùm tia đơn sắc song song

a/ Cực tiểu nhiễu xạ:

$$\sin\alpha = k\frac{\lambda}{b} \qquad (11\text{-}14\ )$$

b/ Cực đại nhiễu xạ

$$\sin\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{b} \qquad (11\text{-}15)$$

9/ Nhiễu xạ qua cách tử - Cực đại chính

$$Sin\alpha = \frac{k\lambda}{d} \qquad (11\text{-}16)$$

10/ Phân cực ánh sáng do phản xạ và khúc xạ

Điều kiện góc tới i để tia phản xạ là ánh sáng phân cực toàn phần

$$tg\ i_B = n_{21} \qquad (11\text{-}17)$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 11

Câu 1: Điều kiện về hiệu pha Δφ và hiệu quang lộ ΔL để giao thao cho vân sáng.

MĐ 1: $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$, với k = $0, \pm1, \pm2, \pm3...$

MĐ 2: $\Delta L = k\lambda$, với k = $0, \pm1, \pm2, \pm3...$

Hãy chọn phương án đúng

a) MĐ 1 đúng, MĐ 2 đúng

b) MĐ 1 đúng, MĐ 2 sai

c) MĐ 1 sai, MĐ 2 đúng

d) MĐ 1 sai, MĐ 2 sai

Câu 2: Điều kiện về hiệu pha Δφ và hiệu quang lộ ΔL để giao thao cho vân tối.

MĐ 1: $\Delta\varphi = 2k\pi$, với k = $0, \pm1, \pm2, \pm3...$

MĐ 2: $\Delta L = k\lambda$, với k = $0, \pm1, \pm2, \pm3...$

Hãy chọn phương án đúng

a) MĐ 1 đúng, MĐ 2 đúng

b) MĐ 1 đúng, MĐ 2 sai

c) MĐ 1 sai, MĐ 2 đúng

d) MĐ 1 sai, MĐ 2 sai

Câu 3: Đặt giữa một nguồn sáng điểm và một điểm M trên màn chiếu một đĩa tròn chắn sáng có đường kính rất nhỏ. Khi đó tại M:

a) Tối hoàn toàn

b) Là điểm tối, xung quang sáng

c) Là điểm sáng, xung quanh tối

d) Sáng gần như khi chưa đặt đĩa tròn

Câu 4: Chiếu một tia sáng tự nhiên SI tới mặt phân cách giữa hai môi trường (1) và (2). Ta có tia phản xạ IR và tia khúc xạ IK. Nếu góc tới i thõa mãn: tang i = n_{21}. Với n_{21} chiết suất của môi trường (2) đối với môi trường (1). Gọi α = (IR,IK) là góc hợp bởi ta phản xạ và khúc xạ. Chọn phát biểu đúng:

a) α = 30^0

b) α = 45^0

c) α = 60^0

d) α = 90^0

Câu 5: Chiếu một tia sáng tự nhiên SI tới mặt phân cách giữa hai môi trường (1) và (2). Ta có tia phản xạ IR và tia khúc xạ IK. Nếu góc tới i thõa mãn: tang i = n_{21}. Với n_{21} chiết suất của môi trường (2) đối với môi trường (1). Gọi α = (IR,IK) là góc hợp bởi ta phản xạ và khúc xạ. Chọn phát biểu đúng:

a) tia khúc xạ IK là ánh sáng phân cực toàn phần

b) tia khúc xạ IK là ánh sáng tự nhiên

c) tia khúc xạ IK là ánh sáng phân cực một phần

d) α = 45^0

CHƯƠNG 12: LÍ THUYẾT LƯỢNG TỬ - CƠ HỌC LƯỢNG TỬ

I. Bức xạ nhiệt

I.1. Bức xạ nhiệt

Bức xạ nhiệt là bức xạ điện từ được kích thích do năng lượng chuyển động nhiệt của nguyên tử và phân tử.

Phân tích:

Mọi vật đều cấu tạo từ nguyên tử hay phân tử. Nguyên tử hay phân tử luôn luôn chuyển động nhiệt hỗn loạn không ngừng.

Cho nên mọi vật ở mọi nhiệt độ luôn luôn phát ra bức xạ nhiệt.

I.2. Những đặc điểm của bức xạ nhiệt

a) Bức xạ nhiệt phụ thuộc vào nhiệt độ và bản chất của vật.

b) Bức xạ nhiệt là bức xạ cân bằng.

Phân tích:

a) Một thanh Sắt (Fe) ở nhiệt độ bình thường ($t = 27\ ^0C$) phát ra bức xạ nhiệt ở vùng hồng ngoại (mắt không nhìn thấy), ở nhiệt độ $t = 500^0C$ phát ra ánh sáng đỏ sậm, ở nhiệt độ $t = 800\ ^0C$ phát ra ánh sáng màu vàng tươi, ở nhiệt độ $t = 1500\ ^0C$ phát ra ánh sáng trắng.

b) Ở mọi nhiệt độ trên vật luôn luôn đồng thời xảy ra hai quá trình phát ra bức xạ nhiệt và hấp thụ bức xạ nhiệt.

- Nếu năng lượng bức xạ nhiệt mà vật hấp thụ vào lớn hơn năng lượng bức xạ nhiệt vật phát ra thì nhiệt độ của vật tăng.
- Nếu năng lượng bức xạ nhiệt mà vật hấp thụ vào nhỏ hơn năng lượng bức xạ nhiệt vật phát ra thì nhiệt độ của vật giảm.
- Nếu năng lượng bức xạ nhiệt mà vật hấp thụ vào bằng năng lượng bức xạ nhiệt vật phát ra thì nhiệt độ của vật không đổi.

I. 3. Năng suất phát xạ toàn phần

Năng suất phát xạ toàn phần R là năng lượng bức xạ nhiệt do vật phát ra trên một đơn vị diện tích mặt ngoài theo mọi phương, trong một đơn vị thời gian, ứng với mọi bước sóng.

Phân tích:

Năng suất phát xạ toàn phần R của một vật phụ thuộc vào bản chất của vật và nhiệt độ T.

I.4. Năng suất phát xạ đơn sắc

Năng suất phát xạ đơn sắc $r(\lambda,T)$ là năng lượng bức xạ nhiệt do vật phát ra theo mọi phương, trong một đơn vị thời gian, trên một đơn vị diện tích, ứng với một khoảng đơn vị bước sóng.

$$r(\lambda,T)=\frac{dR}{d\lambda} \qquad (12-1)$$

Suy ra:

$$R=\int_0^{\infty} r(\lambda,T)d\lambda \qquad (12-2)$$

Phân tích:

Năng suất phát xạ đơn sắc r(λ,T) của một vật phụ thuộc vào bản chất của vật, bước sóng λ và nhiệt độ T.

I.5. Hệ số hấp thụ đơn sắc

Hệ số hấp thụ đơn sắc a(λ,T) được định nghĩa :

$$a(\lambda,T)=\frac{dE'}{dE} \qquad (12-3)$$

Trong đó: dE là năng lượng bức xạ nhiệt ứng với khoảng bước sóng $(\lambda,\lambda+d\lambda)$ chiếu lên diện tích dS của vật trong một đơn vị thời gian và dE' là năng lượng bức xạ nhiệt ứng với khoảng bước sóng $(\lambda,\lambda+d\lambda)$ mà vật hấp thụ trên diện tích dS trong một đơn vị thời gian.

Vì dE' ≤ dE nên a(λ,T) ≤ 1

Trong thực tế: a(λ,T) < 1

Nếu a(λ,T) = 1 thì vật được gọi là *vật đen tuyệt đối.*

Vậy vật đen tuyệt đối là vật hấp thụ toàn bộ năng lượng bức xạ nhiệt chiếu tới vật.

Phân tích:

Hệ số hấp thụ đơn sắc a(λ,T) của một vật phụ thuộc vào bản chất của vật, bước sóng λ và nhiệt độ T.

Câu hỏi 12.1:

1) Hệ số hấp thụ đơn sắc a(λ,T) của vật đen tuyệt đối có phụ thuộc vào bản chất của vật, bước sóng λ và nhiệt độ T không? Giải thích tại sao?
2) Vật đen tuyệt đối có phát ra bức xạ nhiệt không?
3) Vật đen tuyệt đối là vật phải có màu đen, đúng hay sai? Giải thích tại sao?

I.6. Định luật Kirchhoff.

Tỷ số giữa năng suất bức xạ đơn sắc $r(\lambda,T)$ và hệ số hấp thụ đơn sắc a(λ,T) của vật không phụ thuộc vào bản chất của vật. Nó chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ T và bước sóng λ.

$$\frac{r_1(\lambda,T)}{a_1(\lambda,T)}=\frac{r_2(\lambda,T)}{a_2(\lambda,T)}=\ \ldots\ =f(\lambda,T)$$

Hay : $$\frac{r(\lambda,T)}{a(\lambda,T)} = f(\lambda,T) \qquad (12-4)$$

Hàm $f(\lambda,T)$ được gọi là hàm phổ biến.

Đối với vật đen tuyệt đối: $a(\lambda,T) = 1$.

Ta có:

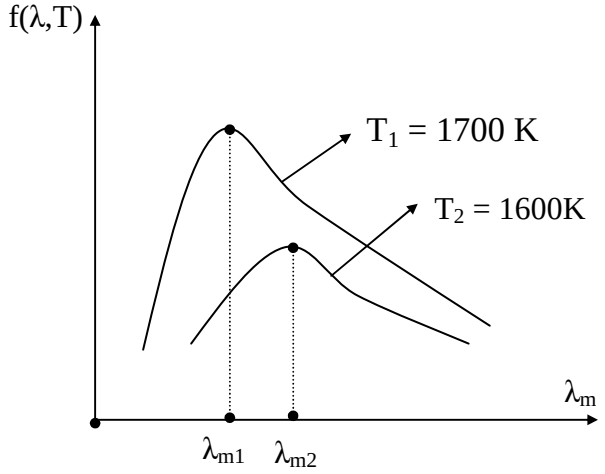
$$r(\lambda,T) = f(\lambda,T) \qquad (12-5)$$

Câu hỏi 12.2:

1) Năng suất phát xạ đơn sắc r(λ,T) của vật đen tuyệt đối có phụ thuộc vào bản chất của vật không? Giải thích tại sao?
2) Một vật ở nhiệt độ T_1 hấp thụ năng lượng bức xạ nhiệt bước sóng λ_1. Vậy ở nhiệt độ T_1 vật có phát ra năng lượng bức xạ nhiệt bước sóng λ_1 không? Giải thích tại sao?
3) Một vật ở nhiệt độ T_1 phát ra năng lượng bức xạ nhiệt bước sóng λ_1. Vậy ở nhiệt độ T_1 vật có hấp thụ năng lượng bức xạ nhiệt bước sóng λ_1 không? Giải thích tại sao?

I.7. Đường cong thực nghiệm của hàm f(λ,T)

Làm thí nghiệm trên các mô hình của vật đen tuyệt đối người ta xác định đường cong thực nghiệm của hàm f(λ,T) như sau:



H.12.1

Lý thuyết của vật lý cổ điển chỉ giải thích được đường cong thực nghiệm ở vùng bước sóng dài. Khi tiến về vùng bước sóng ngắn (tử ngoại) lí thuyết vật lý cổ điển không phù hợp với kết quả thực nghiệm.Theo lí thuyết vật lý cổ điển khi $\lambda \to 0$ thì hàm $f(\lambda,T) \to \infty$. Còn thực nghiệm khi $\lambda \to 0$ thì hàm $f(\lambda,T) \to 0$. Điều này trong vật lý gọi là sự khủng hoảng ở miền tử ngoại.

Phân tích:

1) Ta thấy khi $\lambda \to 0$ và $\lambda \to \infty$ thì năng lượng bức xạ nhiệt tiến tới không. Như vậy bức xạ nhiệt không phát ra ở vùng bước sóng rất ngắn (tia X, tia gamma) và vùng bước sóng dài (sóng vô tuyến). **Bức xạ nhiệt chỉ phát ra ở vùng: tử ngoại, khả kiến và hồng ngoại.**

2) Năng lượng bức xạ nhiệt không phân bố đều theo bước sóng. Ứng với mỗi nhiệt độ T nhất định năng lượng bức xạ nhiệt của vật phân bố lớn nhất ở bước sóng λ_m. Khi nhiệt độ T tăng thì λ_m dịch chuyển về vùng bước sóng ngắn (tia tử ngoại).

3) Ở nhiệt độ thấp năng lượng bức xạ nhiệt phân bố ở vùng hồng ngoại (bước sóng lớn hơn ánh sáng đỏ). Khi nhiệt độ tăng năng lượng bức xạ nhiệt dịch chuyển phân bố về miền khả kiến (ánh sáng từ đỏ đến tím). Khi nhiệt độ tăng khoảng từ 2000^0C trở lên năng lượng bức xạ nhiệt dịch chuyển phân bố về miền tử ngoại (bước sóng nhỏ hơn ánh sáng tím)

4) Vì nhiệt độ ở bề mặt Mặt trời T = 6000K nên trong bức xạ nhiệt của Mặt trời có nhiều tia tử ngoại. Tia tử ngoại có tác dụng hủy tế bào sống. Tia tử ngoại của Mặt trời khi đến trái đất sẽ được tầng Ozone (O_3) của Trái đất hấp thụ. Nếu tầng Ozone bị "thủng" tia tử ngoại chiếu xuống mặt đất Nó sẽ tác dụng hủy sinh vật sống trên mặt đất.

I.8. Thuyết lượng tử năng lượng và công thức Planck (1900)

Để giải thích bằng lí thuyết đường cong thực nghiệm của hàm f(λ,T). Năm 1900 Planck đã đưa ra giả thuyết năng lượng điện từ mà nguyên tử hay phân tử phát xạ hay hấp thụ không liên tục mà gián đoạn. Lượng năng lượng gián đoạn nhỏ nhất được gọi là lượng tử năng lượng và có giá trị:

$$E = h\gamma = \frac{hc}{\lambda} \qquad (12-6)$$

Trong đó: γ là tần số của bức xạ, λ bước sóng của bức xạ, c = 3.10^8m/s là vận tốc ánh sáng trong chân không, h = $6{,}625.10^{-34}$J.s là hằng số Planck.

Trên cơ sở của giả thuyết lượng tử năng lượng Planck đã tìm ra được dạng của hàm f(λ,T):

$$f(\lambda,T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\ \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}}-1} \qquad (12-7)$$

Hay :

$$f(\gamma,T) = \frac{2\pi h\gamma^3}{c^2}\ \frac{1}{e^{\frac{h\gamma}{kT}}-1} \qquad (12-8)$$

Trong đó: T là nhiệt độ tuyệt đối, k = $1{,}38.10^{-23}$J là hằng số Boltzmann.

Các biểu thức (12-7) và (12-8) được gọi là công thức Planck.

Planck (Nhà vật lý người Đức) nhận giải Nobel vật lý năm 1918.

Công thức Planck hoàn toàn phù hợp với đường cong thực nghiệm của bức xạ nhiệt

I.9. Các định luật của vật đen tuyệt đối

I.9.1.Định luật Stefan-Boltzmann (1884)

Ta có năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối:

$$R = \int_0^\infty r(\gamma,T).d\gamma = \frac{2\pi h}{c^2}\int_0^\infty \frac{\gamma^3}{e^{\frac{h\gamma}{kT}}-1}\ d\gamma$$

$$R = \sigma T^4 \qquad (12\text{-}9)$$

Với σ = 5,67.10^{-8} W/m^{2}K^4 được gọi là hằng số Stefan-Boltzmann.

Biểu thức (12-9) là định luật Stefan-Boltzmann.

Nhận xét:

Ta thấy năng lượng bức xạ nhiệt R tăng rất mạnh theo nhiệt độ T.

I.9.2.Định luật dịch chuyển Wien (1893)

Hàm $f(\lambda,T)$ đạt giá trị cực đại tại giá trị λ_m.

$$\frac{df(\lambda,T)}{d\lambda} = 0$$

Suy ra: λ_m T = b (12-10)

Với: b = 2,898.10^{-3} m.K được gọi là hằng số Wien.

Biểu thức (12 -10) là định luật dịch chuyển Wien.

Wien (Nhà vật lý người Đức) nhận giải Nobel vật lý năm 1911.

Phân tích:

Biểu thức (12-10) được ứng dụng để đo nhiệt độ T của một vật (được xem là vật đen tuyệt đối) thông qua đo bước sóng λ_m của bức xạ do vật phát ra. Người ta ứng dụng phương pháp này để đo nhiệt độ của các vật ở xa: Mặt trời, các ngôi sao …

<u>Bài tập 12.1</u>:

Từ máy phân tích quang phổ người ta xác định được trong quang phổ mặt trời ánh sáng có bước sóng λ_m = 0,5 μm mang năng lượng lớn nhất. Cho biết bán kính mặt trời R = 7.10^8 m và khoảng cách từ mặt trời đến trái đất d = 1,5.10^{11} m. Xem mặt trời là vật đen tuyệt đối

1. Tính nhiệt độ ở bề mặt của mặt trời
2. Tính toàn bộ năng lượng bức xạ nhiệt mà mặt trời phát ra trong một giây.
3. Tính năng lượng bức xạ nhiệt mà mặt trời chiếu lên 1m^2 trên mặt đất trong 1s vào giữa trưa

Đáp số:

1/ T = 5800 K

2/ E = 3,9.10^{26} J/s

3/ W = 1400 W/m^2

II. Thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein

II.1. Thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein

Trên cơ sở của thuyết lượng tử năng lượng của Planck. Năm 1905 Einstein đưa ra thuyết lượng tử ánh sáng:

1) Ánh sáng được tạo thành từ những hạt gọi là photon. Mỗi photon của ánh sáng đơn sắc mang một năng lượng xác định.

$$E = h\gamma = \frac{hc}{\lambda} \qquad (12\text{-}11)$$

Với: $\gamma = \frac{c}{\lambda}$

2) Trong mọi môi trường hạt photon luôn luôn truyền đi với cùng vận tốc $c = 3.10^8$m/s.

3) Cường độ sáng I tỉ lệ thuận với số hạt photon.

4) Khối lượng của hạt photon:

Theo lý thuyết tương đối của Einstein ta có:

$$E = mc^2 \qquad (1)$$

Từ (1) và (12-11) ta suy ra khối lượng của hạt photon:

$$m = \frac{h}{\lambda c} \qquad (12\text{-}12)$$

Vì hạt photon không tồn tại ở trạng thái đứng yên, nên khối lượng nghỉ của hạt photon bằng không: $m_o = 0$.

5) Động lượng của photon:

$$p = mc \qquad (2)$$

Thế (12-12) vào (2) ta được :

$$p = \frac{h}{\lambda} \qquad (12\text{-}13)$$

Einstein (Nhà vật lý người Đức gốc Do Thái) nhận giải Nobel vật lý năm 1921

<u>Bài tập 12.2</u>:

Tìm số hạt photon phát ra trong một giây của bóng đèn công suất 33W, phát ra ánh sáng $\lambda = 0{,}6\,\mu$m. Cho $h = 6{,}6.10^{-34}$J.s.

Đáp số: $n = 10^{20}$ hạt/ s

<u>Bài tập 12.3</u>:

Hai hạt electron (e^-) và positron (e^+) có điện tích trái dấu và có cùng khối lượng nghỉ $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg. Lúc đầu hai hạt coi như đứng yên và va chạm nhau. Sau va chạm hai hạt biến thành hai hạt photon γ_1 và γ_2 theo phương trình sau:

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$$

Hãy chứng minh bước sóng λ của hai hạt photon bằng nhau và tính bước sóng λ đó.

Đáp số: $\lambda = 0{,}24.10^{-11}$ m

II.2. Hiện tượng quang điện

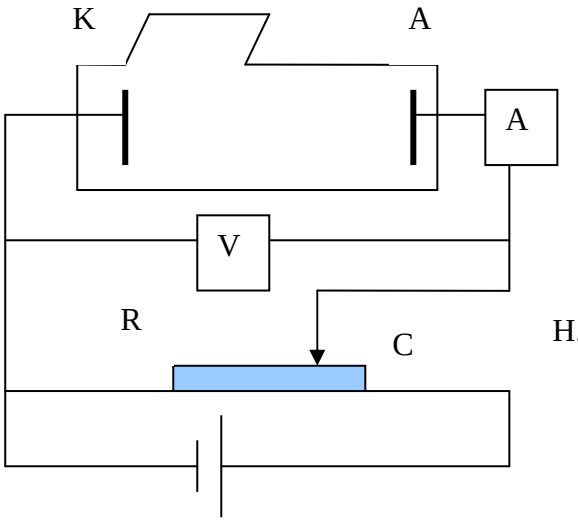
II.2.1. Hiện tượng :

Hiện tượng quang điện là hiện tượng các hạt electron bức ra khỏi bề mặt kim loại khi chiếu vào một chùm ánh sáng có bước sóng thích hợp. Các hạt electron đó được gọi là các quang electron.

Hiện tượng quang điện được Hertz khám phá lần đầu tiên năm 1887.

II.2.2.Thí nghiệm quang điện

Ta có sơ đồ nghiên cứu hiện tượng quang điện như hình vẽ:

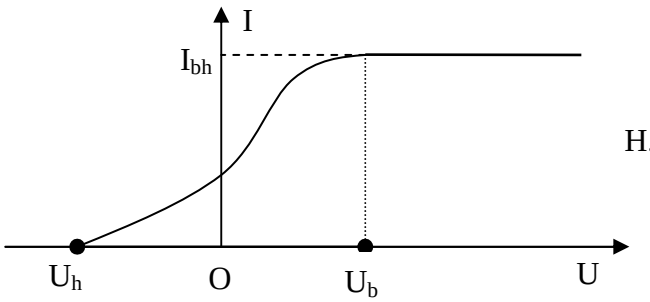


H.12.2

Một tế bào quang điện ở trạng thái chân không cao có áp suất khoảng 10^{-6} Torr. Trong tế bào quang điện có hai cực bằng kim loại: cực A là Anode, cực K là Cathode làm bằng kim loại cần nghiên cứu hiện tương quang điện.

Khi dịch chuyển con chạy C trên biến trở R thì hiệu điện thế giữa hai điện cực thay đổi được đo bằng Vôn kế V. Dòng quang điện chạy trong mạch được đo bằng Ampe kế A.

Thực nghiệm cho thấy dòng quang điện phụ thuộc vào hiệu điện thế U như hình vẽ :



H.12.3

- Phần U > 0 ứng với tế bào quang điện phân cực thuận, cực A nối với cực (+) của nguồn điện.. Hình H.12.2. Khi U tăng thì I tăng và bảo hòa (không đổi).
- Phần U < 0 ứng với tế bào quang điện phân cực nghịch, cực A nối với cực (-) của nguồn điện. Khi U tăng theo chiều âm thì I giảm đến 0.

Khi $U \geq U_b$ dòng quang điện I đạt giá trị bão hoà I_{bh}.

Ta có : $I_{bh} = n.e$ (12 -14)

Với n là số electron bức ra khỏi cực K trong một giây.

Khi $U = U_h < 0$ dòng quang điện I = 0.

Dễ dàng chứng minh được :

$$\left|eU_h\right| = \frac{1}{2} m_e v_m^2 \qquad (12\text{-}15)$$

Trong đó: v_m là vận tốc ban đầu cực đại của quang electron, U_h là hiệu điện thế hãm, e là điện tích của electron, m_e là khối lượng của electron.

Câu hỏi 12.3:

1) Trong thí nghiệm quang điện người ta hút hết chất khí ra khỏi tế bào quang điện nhằm mục đích gì?
2) Trong hiện tượng quang điện các quang electron thoát ra khỏi bề mặt kim loại là electron tự do trong kim loại hay electron liên kết với mạng tinh thể kim loại? Giải thích.
3) Kết quả thí nghiệm nào cho thấy các quang electron thoát ra khỏi bề mặt kim loại có vận tốc đầu khác nhau.
4) Khi $U \geq U_b$ dòng quang điện I đạt giá trị bão hoà I_{bh} (không đổi). Giải thích tại sao.
5) Hãy chứng minh công thức (12-15).

II.2.3. Các định luật quang điện

Từ thực nghiệm người ta thiết lập được ba định luật quang điện sau:

a. Định luật giới hạn quang điện:

Đối với mỗi kim loại nhất định hiện tượng quang điện chỉ xảy ra khi bước sóng λ của bức xạ chiếu vào kim loại thoả mãn : $\lambda \leq \lambda_o$.

Trong đó λ_o là giới hạn quang điện ứng với kim loại đó. Các kim loại khác nhau có giới hạn quang điện khác nhau.

b. Định luật dòng quang điện bão hoà:

Cường độ dòng quang điện bão hoà I_{bh} tỉ lệ thuận với cường độ sáng I chiếu vào kim loại.

c. Định luật về động năng cực đại :

Động năng cực đại của quang electron không phụ thuộc vào cường độ sáng I mà chỉ phụ thuộc vào tần số γ của bức xạ.

Phân tích:

1) Giới hạn quang điện của một số kim loại

Kim loại	Đồng (Cu)	Nhôm (Al)	Sắt (Fe)	Natri (Na)
λ_o (μm)	0,30	0,36	0,28	0,50

2) Như vậy để có hiện tượng quang điện xảy ra ánh sáng chiếu vào Na phải có bước sóng λ thỏa mãn: $\lambda \leq$ 0,5 μm.
3) Đối với các kim loại Đồng, Nhôm, Sắt hiện tượng quang điện không xảy ra trong vùng ánh sáng khả kiến (từ đỏ đến tím), chỉ xay ra đối với tia tử ngoại.

II.2.4. Giải thích các định luật quang điện

Lý thuyết sóng ánh sáng không giải thích được các định luật quang điện. Các định luật quang điện được giải thích theo thuyết photon ánh sáng như sau :

a. Định luật giới hạn quang điện:

Để electron thoát ra khỏi bề mặt kim loại. Năng lượng nó hấp thụ từ một photon phải thoả mãn:

$$h\gamma \geq A$$

Với A là công thoát của kim loại.

Suy ra:

$$\frac{hc}{\lambda} \geq A$$

Hay:

$$\lambda \leq \frac{hc}{A} = \lambda_o$$

b. Định luật dòng quang điện bảo hoà:

Cường độ dòng quang điện bảo hoà I_{bh} tỉ lệ với n quang electron bức ra khỏi cực K, đến lượt n lại tỉ lệ với n_ϕ hạt photon đập vào cực K, đến lượt n_ϕ lại tỉ lệ với cường độ sáng I.

Vậy : $I_{bh} \sim n \sim n_\phi \sim I$.

c. Định luật động năng cực đại:

Năng lượng electron hấp thụ từ một photon được chia làm hai phần: một phần để thắng công thoát A bức ra ngoài, còn lại biến thành động năng ban đầu :

$$h\gamma = A + \frac{1}{2} m_e v_m^2 \qquad (12\text{-}16)$$

Biểu thức (12-16) là phương trình Einstein.

Câu hỏi:

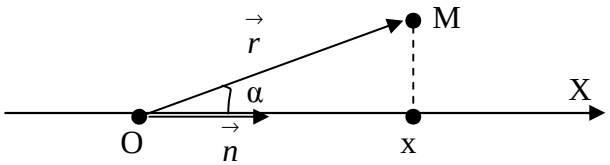
1) Hãy giải thích tại sao lí thuyết sóng ánh sáng không giải thích được định luật giới hạn quang điện và định luật động năng cực đại của các quang electron.
2) Trong hiện tượng quang điện các quang electron thoát ra có động năng cực đại là electron ở bề mặt kim loại hay ở sâu trong kim loại? Giải thích.

III. Lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng

III.1. Tính chất sóng của ánh sáng

Từ hiện tượng giao thoa chứng tỏ ánh sáng có bản chất sóng. Quá trình sóng được diễn tả bằng hàm sóng. Ta có hàm sóng lan truyền theo trục OX.

$$\psi = \psi_o \cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}) \qquad (1)$$



H.12.4

Đối với sóng phẳng, mặt sóng là mặt phẳng, mặt sóng vuông góc với trục OX. Từ hình vẽ H.12.4, ta có:

$$x = \vec{r}.\vec{n} = r\cos\alpha \qquad (2)$$

Với: $\vec{r}$ là véctơ vị trí xác định điểm M trên mặt sóng và $\vec{n}$ là véctơ đơn vị trên phương truyền sóng.

Thế (2) vào (1), ta được:

$$\psi = \psi_o \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda}\vec{n}.\vec{r})$$

Hay: $$\psi = \psi_o \cos(\omega t - \vec{k}.\vec{r}) \qquad (3)$$

Với: $\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda}\vec{n}$ là véctơ sóng (4)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (5)$$

Theo toán học hàm sóng (3) có thể được biểu diễn dưới dạng hàm phức như sau:

$$\Psi = \Psi_o e^{-i(\omega t - \vec{k}.\vec{r})} \qquad (12\text{-}17)$$

Toán học:

Ta có số phức X:

X = a + ib

Với a là phần thực của số phức X, ib là phần ảo của số phức X, $i^2 = -1$.

Ta có công thức:

$X = a\, e^{\pm i\varphi} = a\cos\varphi \pm ia\sin\varphi$

III.2 Tính chất hạt của ánh sáng

Từ hiện tượng quang điện chứng tỏ ánh sáng có bản chất hạt.

Hạt photon có:

- năng lượng : $E = h\gamma$ (6)
- động lượng : $p = \frac{h}{\lambda}$ (7)

Từ (7) ta suy ra: $p = \frac{h}{2\pi}.\frac{2\pi}{\lambda} = \hbar.k$

Với: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ (8)

Vì $\vec{p}$ và $\vec{k}$ cùng phương chiều nên:

$$\vec{p} = \hbar.\vec{k} \qquad (9)$$

Mặt khác: $\omega = 2\pi\gamma = \frac{2\pi}{h}.h\gamma$ (10)

Thế (8) và (6) vào (10), ta được:

$$\omega = \frac{E}{\hbar} \quad (11)$$

III.3. Lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng

Thế (9) và (11) vào (12 -17) ta được:

$$\Psi = \Psi_o^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}.\vec{r})} \quad (12\text{-}18)$$

Biểu thức (12 -18) là hàm sóng của hạt photon, diễn tả lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng

IV. Lưỡng tính sóng hạt của vi hạt

IV.1. Giả thuyết De Broglie (1924)

Dựa trên lí thuyết lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng năm 1924 De Broglie đã đưa ra lí thuyết lưỡng tính sóng hạt của vi hạt như sau:

Một vi hạt tự do có năng lượng E (động năng E = W_d = ½ mv^2) xác định và động lượng p = mv xác định. Tính chất sóng của vi hạt được diễn tả bằng một hàm sóng phẳng đơn sắc.

Tần số γ của sóng của vi hạt được xác định theo năng lượng E của vi hạt:

$$\gamma = \frac{E}{h} \quad (12\text{-}19)$$

Bước sóng λ của sóng của vi hạt được xác định theo động lượng p của vi hạt:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (12\text{-}20)$$

Tính chất sóng của hạt electron đã được kiểm chứng bằng thực nghiệm bởi Davisson (người Mỹ) năm 1927 và bởi Thomson (người Anh) cũng vào năm 1927.

Davisson và Thomson nhận giải Nobel vật lý năm 1937

De Broglie (Nhà vật lý người Pháp) nhận giải Nobel vật lý năm 1929

IV.2. Hàm sóng De Broglie

Theo giả thuyết của De Broglie trạng thái chuyển động của vi hạt được diễn tả bằng hàm sóng phẳng:

$$\Psi = \Psi_o e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}.\vec{r})} \quad (12\text{-}21)$$

Trong đó:

- E là năng lượng (động năng)
- $\vec{p}$ là động lượng của vi hạt.
- $\vec{r}$ véctơ toạ độ xác định vị trí khảo sát

- $\hbar = \dfrac{h}{2\pi}$

IV.3. Ýnghĩa thống kê của hàm sóng

Nội dung vật lý sóng của vi hạt không phải là quá trình lan truyền dao động như sóng cổ điển.

Năm 1926 Max Born đã đưa ra cách giải thích ý nghĩa vật lý của hàm sóng vi hạt: *Bình phương môđun hàm sóng* $|\Psi|^2$ *bằng mật độ xác suất tìm thấy hạt*.

$$\rho = \frac{dW}{dV} = |\Psi|^2 \qquad (12\text{-}22)$$

Với dW là xác suất tìm thấy hạt trong thể tích dV.

Vậy xác suất tìm thấy hạt trong thể tích dV là:

$$dW = \rho\, dV = |\Psi|^2 dV = \Psi.\Psi^* dV \qquad (12\text{-}23)$$

Với Ψ^* là liên hiệp phức của Ψ. Để tìm hàm Ψ^* ta chỉ cần đổi dấu trước chữ i của hàm sóng.

Sóng của vi hạt được gọi là sóng xác suất

Max Born (Nhà vật lý người Anh) nhận giải Nobel vật lý năm 1954.

V. Nguyên lí bất định Heisenberg

Tính chất sóng của vi hạt được thể hiện bởi nguyên lý bất định :

Vị trí và động lượng của vi hạt không thể xac định chính xác đồng thời.

$$\Delta x.\Delta p_x \sim \mathrm{h} \qquad (12\text{-}24)$$

Trong đó Δx là độ bất định về vị trí, Δp_x là độ bất định về động lượng và h là hằng số Planck.

Hệ thức bất định giữa năng lượng và thời gian:

$$\Delta E.\Delta t \sim \mathrm{h} \qquad (12\text{-}25)$$

Trong đó Δt là khoảng thời gian hạt ở trạng thái có độ bất định năng lượng ΔE.

Heisenberg (Nhà vật lý người Đức) nhận giải Nobel vật lý năm 1932

Phân tích:

Một vi hạt tuân theo nguyên lý bất định Heisenberg thể hiện tính chất sóng.

Một vi hạt không tuân theo nguyên lý bất định Heisenberg không thể hiện tính chất sóng.

Câu hỏi:

Hãy nêu một ví dụ về sự chuyển động của hạt electron không thể hiện tính chất sóng.

VI. Phương trình Schrodinger

VI.1. Phương trình Schrodinger (1926)

Một vi hạt chuyển động trong trường thế $U\left(\vec{r}\right)$, hàm sóng $\Psi\left(\vec{r}\right)$ của vi hạt là nghiệm của phương trình Schrodinger:

$$\Delta\Psi\left(\vec{r}\right)+\frac{2m}{\hbar^2}\left[E-U\left(\vec{r}\right)\right]\Psi\left(\vec{r}\right)=0 \qquad (12\text{-}26)$$

Trong đó:

- E là năng lượng của vi hạt (cơ năng)
- m là khối lượng của vi hạt
- $\hbar=\frac{h}{2\pi}$
- $\Delta=\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right)$

Phương trình Schrodinger (12-26) là phương trình cơ bản của cơ học lượng tử.

Schrodinger (Nhà vật lý người Áo) nhận giải Nobel vật lý năm 1933

VI.2. Chuẩn hoá hàm sóng.

Giải phương trình Schrodinger ta được hàm sóng Ψ của vi hạt. Nó được xác định sai khác bởi một hằng số C. Để tìm hằng số C ta dùng điều kiện chuẩn hoá.

Ta có xác suất tìm thấy hạt ở toàn bộ không gian (V) :

$$W=\int_{(V)}\left|\Psi\right|^2 dV=1 \qquad (12\text{-}27)$$

Biểu thức (12-27) là điều kiện chuẩn hoá hàm sóng.

VI.3. Điều kiện của hàm sóng

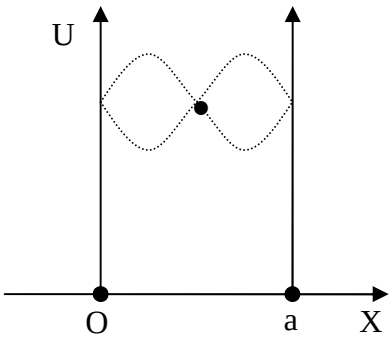
Hàm sóng của vi hạt phải thỏa mãn các điều kiện sau:

a) Hàm sóng phải giới nội, vì xác suất giới nội
b) Hàm sóng phải đơn trị, vì xác suất đơn trị
c) Hàm sóng phải liên tục, vì xác suất liên tục
d) Đạo hàm bậc nhất của hàm sóng phải liên tục, vì hàm sóng là nghiệm của phương trình vi phân bậc hai.

VII. Hạt trong giếng thế

Ta xét hạt chuyển động trong giếng thế một chiều U (x) :

$$U=\begin{cases} 0 : 0 < x < a \\ \\ \infty : x \le 0 \text{ và } x \ge a \end{cases}$$



H.12.5

Ta có phương trình Schrodinger của hạt trong giếng thế :

$$\Delta\Psi + \frac{2mE}{\hbar^2}\Psi = 0$$

Vì hạt chuyển động một chiều theo phương x nên ta có :

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + \frac{2mE}{\hbar^2}\Psi = 0$$

Hay: $$\frac{d^2\Psi}{dx^2} + k^2\Psi = 0 \qquad (1)$$

Với: $$k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} \qquad (2)$$

Phương trình (1) có nghiệm:

$$\Psi(x) = A\sin kx + B\cos kx \qquad (3)$$

Theo điều kiện liên tục của hàm sóng ta có:

$$\Psi(0) = \Psi(a) = 0 \qquad (4)$$

Từ (3) và (4) ta suy ra:

$$\Psi(0) = B = 0$$

$$\Psi(a) = A\sin ka = 0$$

$$\sin ka = 0$$

Suy ra: $k = n\frac{\pi}{a}$ (5)

Với: n = 1, 2, 3 …

Vậy hàm sóng của vi hạt:

$$\Psi(x) = A\sin\frac{n\pi}{a}x \qquad (6)$$

Để tìm hằng số A ta chuẩn hóa hàm sóng:

$$\int_0^a |\Psi(x)|^2 dx = 1$$

$$\int_0^a A^2 \sin^2\frac{n\pi}{a}x dx = 1$$

Tìm được: $A = \sqrt{\frac{2}{a}}$

Như vậy hàm sóng của vi hạt có dạng:

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} sin \frac{n\pi}{a} x \qquad (12\text{-}28)$$

Ta thấy hàm sóng của vi hạt phụ thuộc vào toạ độ x và số lượng tử n = 1, 2, 3…

Ta có mật độ xác suất tìm thấy hạt:

$$\rho_n(x) = \left|\Psi(x)\right|^2 = \frac{2}{a} sin^2 \frac{n\pi}{a} x \qquad (12\text{-}29)$$

Từ (2) và (5) suy ra năng lượng của hạt:

$$E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} n^2 \qquad (12\text{-}30)$$

Ta thấy năng lượng của vi hạt trong giếng thế nhận các giá trị gián đoạn.

Công thức toán:

$$\int_a^b \sin^2 kx dx = \frac{1}{2}x - \frac{1}{4k}\sin 2kx$$

<u>Bài tập 12.4</u>:

Một vi hạt trong giếng thế rộng a = 4.10^{-6} m. Xác định vị trí xác suất cực đại khi n = 1 và n = 2.

Đáp số:

- n = 1 : x = 2.10^{-6} m
- n= 2 : $x_1 = 10^{-6}$ m và $x_2 = 3.10^{-6}$ m

<u>Bài tập 12.5</u>:

Xác định bước sóng λ của hạt e^- trong giếng thế rộng a = 4.10^{-6} m . Khi ở trạng thái năng lượng cực tiểu.

Đáp số: $\lambda = 2.10^{-6}$ m

VIII. Nguyên tử Hydro

VIII.1.Thế năng của hạt electron trong nguyên tử Hydro

Trong nguyên tử Hydro ở lớp vỏ điện tử chỉ có một electron. Như vậy hạt electron trong nguyên tử Hydro chuyển động trong trường Coulomb của hạt nhân có thế năng:

$$U = -\frac{ke^2}{r} \qquad (12\text{-}31)$$

Trong đó: $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$

VIII.2. Phương trình Schrodinger của hạt electron trong nguyên tử Hydro

Ta có phương trình Schrodinger của hạt electron trong nguyên tử Hydro:

$$\Delta\Psi + \frac{2m_e}{\hbar^2}\left(E_n + \frac{ke^2}{r}\right)\Psi = 0 \qquad (12\text{-}32)$$

Nếu sử dụng toạ độ cầu thì ψ là hàm của r, θ và φ: ψ(r, θ, φ).

Giải phương trình Schrodinger ta tìm được hàm sóng Ψ và năng lượng E_n của hạt electron trong nguyên tử.

VIII.3.Năng lượng của electron trong nguyên tử Hydro –Quang phổ Hydro

VIII.3.1. Năng lượng của electron trong nguyên tử Hydro

Giải phương trình (12-32) ta tìm được năng lượng hạt electron trong nguyên tử Hydro.

$$E_n = -\frac{Rhc}{n^2} \qquad (12\text{-}33)$$

Với:

- R = 1,0967710^7 m^{-1} là hằng số Rydberg
- c = 3.10^{8}m/s là vận tốc của ánh sáng trong chân không.
- h = 6,625.10^{-34} J.s là hằng số Planck

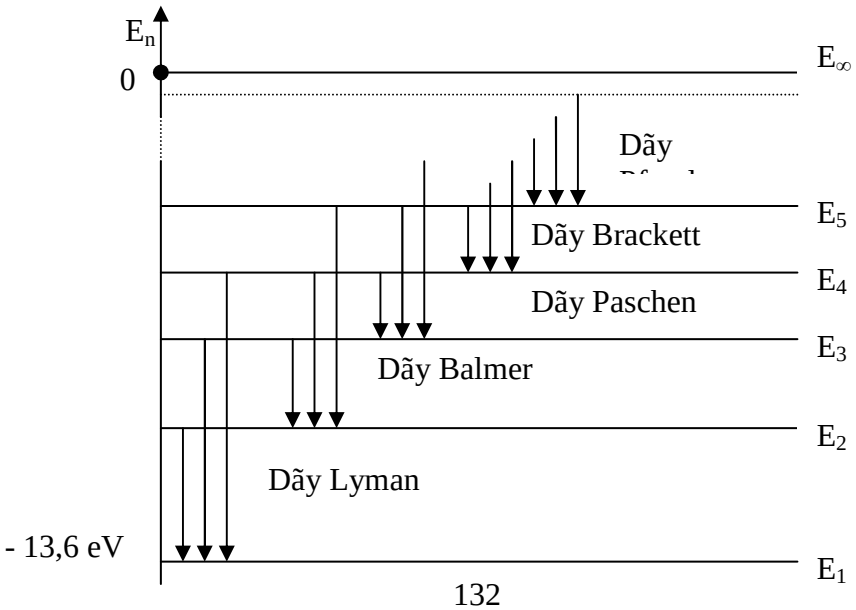
Suy ra: $$E_n = -\frac{13,6}{n^2}\,eV \qquad (12\text{-}34)$$

Với: 1 eV = 1,6 10^{-19} J

Như vậy năng lượng của hạt electron trong nguyên tử Hydro nhận giá trị âm và gián đoạn.

- Với n = 1 : E_1 = - 13, 6 eV
- Với n = 2 : E_2 = - 3,4 eV
- Với n = 3 : E_3 = - 1,5 eV
- Với n = 4 : E_4 = - 0,85 eV
- Với n = 5 : E_5 = - 0,54 eV

Ta có sơ đồ mức năng lượng của hạt electron trong nguyên tử Hydro như sau:



Bình thường hạt e^- trong nguyên tử Hydro ở mức năng lượng nhỏ nhất E_1 = - 13,6 eV. Mức năng lượng E_1 được gọi là mức cơ bản.

Khi nguyên tử tương tác với bên ngoài hạt e^- nhận năng lượng nhảy lên các mức năng lượng cao hơn: E_2 , E_3 , E_4 …. được gọi là các mức kích thích. Trạng thái hạt e^- ở các mức kích thích không bền.

Bài tập 12.6:

Trong nguyên tử Hydro hạt e^- ở mức năng lượng cơ bản E_1 = -13,6 eV va chạm và hấp thụ toàn bộ năng lượng của một hạt photon tới. Hạt electron thoát ra khỏi nguyên tử có vận tốc đầu E_d = 2,4 eV.

Hãy tính bước sóng λ của hạt photon tới, với 1eV= $1,6.10^{-19}$J

Đáp số: λ = 0,077μm

VIII.3.2 Quang phổ Hydro

Bình thường e^- ở mức năng lượng cơ bản E_1 (n = 1).

Khi bị kích thích e^- nhảy lên mức năng lượng cao hơn $E_{n'}$ (n' > 1). Electron chỉ ở trạng thái kích thích một khoảng thời gian cỡ 10^{-8}s, sau đó e^- trở về trạng thái ứng với mức năng lượng E_n thấp hơn và phát ra một photon mang năng lượng hγ.

Ta có: $$h\gamma = \frac{hc}{\lambda} = E_{n'} - E_n = Rhc\left[\frac{1}{(n')^2} - \frac{1}{n^2}\right]$$

Hay: $$\frac{1}{\lambda} = R\left[\frac{1}{(n')^2} - \frac{1}{n^2}\right] \qquad (12\text{-}35)$$

- Khi n' = 1. Ta có:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}36)$$

Với n = 2, 3, 4 …∞ .

Các vạch quang phổ tuân theo công thức (12-36) hợp thành một dãy gọi là dãy Lyman. Dãy Lyman nằm trong vùng tử ngoại.

- Khi n' = 2. Ta có:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}37)$$

Với n = 3, 4, 5 … ∞

Các vạch quang phổ tuân theo công thức (12-37) hợp thành một dãy gọi là dãy Balmer. Dãy Balmer nằm trong vùng khả kiến.

- Khi n' = 3. Ta có:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}38)$$

Với n = 4, 5, 6 …∞ .

Các vạch quang phổ tuân theo công thức (8-38) hợp thành một dãy gọi là dãy Paschen. Dãy Paschen nằm trong vùng hồng ngoại.

- Khi n' = 4. Ta có:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}39)$$

Với n = 5, 6, 7 …∞

Các vạch quang phổ tuân theo công thức (12-39) hợp thành một dãy gọi là dãy Brackett. Dãy Brackett nằm trong vùng hồng ngoại.

- Khi n' = 5. Ta có:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}40)$$

Với n = 6, 7, 8 …∞

Các vạch quang phổ tuân theo công thức (12-40) hợp thành một dãy gọi là dãy Pfund. Dãy Pfun nằm trong vùng hồng ngoại.

Bài tập 12.7:

Xác định bước sóng dài nhất của dãy quang phổ Balmer.

Cho hằng số Rydberg R = 10^{-7} m^{-1}

Đáp số: λ = 0,72 μm

VIII.4. Hàm sóng của hạt electron trong nguyên tử Hydro

VIII.4.1.Hàm sóng $\Psi_{nlm}(r,\theta,\varphi)$

Giải phương trình (8-32) ta tìm được hàm sóng của hạt electron trong nguyên tử Hydro.

$$\Psi_{n\,\ell\,m}(r,\theta,\varphi) = R_{n\,\ell}(r).Y_\ell^m(\theta,\varphi) \qquad (12\text{-}41)$$

Hàm sóng $\Psi_{nlm}(r,\theta,\varphi)$ xác định trạng thái của hạt electron trong nguyên tử Hydro .

VIII.4.2. Các số lượng tử n, ℓ, m

Ta thấy trạng thái của hạt electron trong nguyên tử Hydro không những phụ thuộc vào: r, θ, φ mà còn phụ thuộc vào ba số lượng tử : n, ℓ, m.

- n được gọi là số lượng tử chính: n = 1, 2, 3 … ∞
- ℓ được gọi là số lượng tử quỹ đạo: l = 0 , 1 , 2 , 3 … n – 1
- m được gọi là số lượng tử từ: m = 0 ± 1 ± 2 ± 3 … ± ℓ
- Ứng với một giá trị ℓ ta có (2ℓ + 1) giá trị của m.
- Ứng với một giá trị của n ta có n^2 trạng thái hay hàm sóng $\Psi_{nlm}(r,\theta,\varphi)$ khác nhau .

Người ta thường kí hiệu các giá trị của số lượng tử ℓ bằng các chữ cái sau :

ℓ = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 …

s, p, d, f, g, h, i …..

Trạng thái ứng với n = 1 và $\ell = 0$ được viết 1s.

Trạng thái ứng với n = 2 và $\ell = 1$ được viết 2p.

VIII.4.3. Hàm sóng bán kính R

Ta có hàm sóng bán kính $R_{nl}(r)$ của hạt electron trong nguyên tử Hydro ở trạng thái 1s.

Với n = 1 và $\ell = 0$

$$R_{10}(r) = 2\left(\frac{1}{a_o}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{r}{a_o}} \qquad (12\text{-}42)$$

Trong đó $a_o = 0{,}5310^{-10}$ m

Ta có hàm sóng bán kính $R_{nl}(r)$ của hạt electron trong nguyên tử Hydro ở trạng thái 2s.

Với n = 2 và l = 0

$$R_{20}(r) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{1}{a_o}\right)^{\frac{3}{2}}\left(1-\frac{r}{2a_o}\right)e^{-\frac{r}{2a_o}} \qquad (12\text{-}43)$$

Ta có hàm sóng bán kính $R_{nl}(r)$ của hạt electron trong nguyên tử Hydro ở trạng thái 2p.

Với n = 2 và l = 1

$$R_{21}(r) = \frac{1}{\sqrt{24}}\left(\frac{1}{a_o}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{r}{a_o}\right)e^{-\frac{r}{2a_o}} \qquad (12\text{-}44)$$

VIII.4.4. Hàm sóng cầu Y

Ta có hàm sóng cầu $Y_l^m(\theta,\varphi)$ của hạt electron trong nguyên tử Hydro ở trạng thái 1s.

Với n = 1, l = 0 và m = 0

$$Y_0^0 = \frac{1}{\sqrt{4\pi}} \qquad (12\text{-}45)$$

Ta có hàm sóng cầu $Y_l^m(\theta,\varphi)$ của hạt electron trong nguyên tử Hydro ở trạng thái 2p.

Khi ℓ = 1 thì m = 0, ±1. Ta có:

$$Y_1^0 = \sqrt{\frac{3}{4\pi}}\cos\theta \qquad (12\text{-}46)$$

$$Y_1^1 = \sqrt{\frac{3}{8\pi}}.\sin\theta.e^{i\varphi} \qquad (12\text{-}47)$$

$$Y_1^{-1} = \sqrt{\frac{3}{8\pi}}.\sin\theta.e^{-i\varphi} \qquad (12\text{-}48)$$

VIII.5.Mật độ xác suất của electron trong nguyên tử Hydro

Ta có xác suất để tìm thấy e^- trong thể tích dV:

$$dP = \Psi.\Psi^* dV$$

Trong toạ độ cầu:

$$dV = r^2 \sin\theta d\theta d\varphi dr$$

Vậy: $dP = \Psi.\Psi^* dV = \Psi.\Psi^* r^2 \sin\theta.d\theta.d\varphi.dr$

Hay $dP = \left|R_{n\ell}\right|^2 r^2 dr.\left|Y_\ell^m\right|^2 d\Omega$

Với $d\Omega = \sin\theta.d\theta.d\varphi$

Theo điều kiện chuẩn hóa:

$$\int_{(V)} \Psi.\Psi^* dV = 1$$

Hay: $$\int_0^\infty \left|R_{n\ell}\right|^2 r^2 dr.\int_0^{4\pi} \left|Y_\ell^m\right|^2 d\Omega = 1$$

Suy ra: $$\int_0^\infty \left|R_{n\ell}\right|^2 r^2 dr = 1 \qquad (1)$$

Và: $$\int_0^{4\pi} \left|Y_l^m\right|^2 d\Omega = 1 \qquad (2)$$

Từ (1) và (2) ta suy ra:

- Mật độ xác suất theo bán kính:

$$\rho_{n\ell}(r) = \left|R_{n\ell}\right|^2 r^2 \qquad (12\text{-}49)$$

- Mật độ xác suất theo góc:

$$\rho_\ell^m(\theta,\varphi) = \left|Y_\ell^m\right|^2 = Y_\ell^m.Y_\ell^{m*} \qquad (12\text{-}50)$$

- Mật độ xác suất e^- trong nguyên tử Hydro:

$$\rho_{n\ell m}(r,\theta,\varphi) = \rho_{n\ell}(r).\rho_\ell^m(\theta,\varphi) \qquad (12\text{-}51)$$

VIII.6. Kích thước và hình dạng nguyên tử Hydro ở trạng thái cơ bản E_1 (1s) .

Để xác định kích thước nguyên tử Hydro. Ta tính mật độ xác suất theo bán kính ρ_{nl} (r).

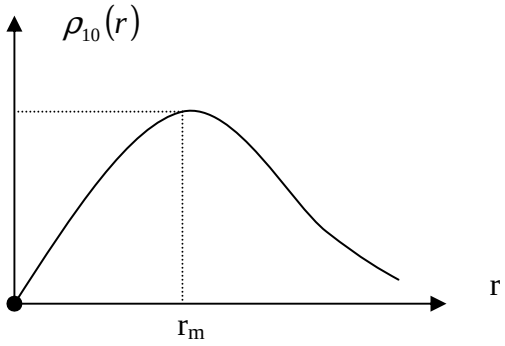
Ở trạng thái cơ bản E_1: n = 1 và l = 0

Từ (12-42) và (12-49) suy ra:

$$\rho_{10}(r) = 4\left(\frac{1}{a_o}\right)^3 r^2 e^{-\frac{2r}{a_o}} \qquad (12\text{-}52)$$

Rõ ràng $\rho_{10}(r) = 0$ khi r = 0 và $r \to \infty$

Vậy không tìm thấy e^- ở trong hạt nhân và rất xa hạt nhân .



Dễ dàng suy ra mật độ xác suất tìm thấy e^- trong nguyên tử Hydro đạt giá trị cực đại tại các vị trí cách hạt nhân một khoảng:

$$r = r_{max} = a_0 = 0{,}53.10^{-10}\text{m}. \qquad (12\text{-}53)$$

Để xác định hình dạng của nguyên tử ta tính mật độ xác suất theo góc $\rho_\ell^m(\theta,\varphi)$.

Ở trạng thái cơ bản E_1: ta có $\ell = 0$ và m = 0.

Theo (12-45) và (12-50) ta suy ra:

$$\rho_0^0(\theta,\varphi) = \frac{1}{4\pi} \qquad (12\text{-}54)$$

Vậy xác suất tìm thấy e^- theo mọi phương bằng nhau (đối xứng cầu).

Theo (12-53) và (12-54) ở trạng thái cơ bản E_1 xác suất tìm thấy hạt e^- cực đại trong nguyên tử Hydro là những vị trí nằm trên mặt cầu bán kính $r = a_0$.

Người ta diễn tả sự tồn tại của hạt e^- trong nguyên tử Hydro bằng khái niệm < *đám mây e^-* > .

< *đám mây e^-* > là khoảng không gian xác suất tìm thấy hạt e^-. Kích thước và hình dạng của nguyên tử chính là kích thước và hình dạng của < *đám mây e^-* >.

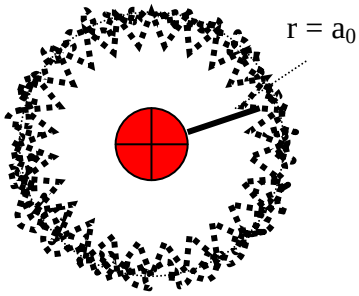
Theo quan điểm cơ học cổ điển (Newton) trong nguyên tử Hydro hạt nhân của nguyên tử tác dụng lên hạt e^- một lực Coulomb hướng tâm.

Suy ra véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của hạt e^- đối với hạt nhân bảo toàn.

Suy ra quĩ đạo của hạt e^- luôn luôn nằm trong cùng một mặt phẳng.

Như vậy theo quan điểm cơ học cổ điển nguyên tử Hydro có dạng phẳng.

Còn theo quan điểm cơ học lượng tử (sóng) ở trạng thái cơ bản nguyên tử Hydro có dạng cầu.



Câu hỏi:

Hãy chứng minh mật độ xác suất tìm thấy e^- trong nguyên tử Hydro đạt giá trị cực đại tại các vị trí cách hạt nhân một khoảng $r = r_{max} = a_0 = 0{,}53.10^{-10}$m.

VIII.7. Kích thước và hình dạng nguyên tử Hydro ở trạng thái kích thích (2p)

Ở trạng thái kích thích (2p): n = 2, l = 1 và m = 0, +1, -1

Để xác định kích thước nguyên tử Hydro. Ta tính mật độ xác suất theo bán kính $\rho_{21}(r)$.

Từ (12-44) và (12-49) suy ra:

$$\rho_{21}(r) = \frac{1}{24}\left(\frac{1}{a_o}\right)^3 r^2 \left(\frac{r}{a_o}\right)^2 e^{-\frac{r}{a_o}}$$

$$\rho_{21}(r) = \frac{1}{24a_0^5} r^4 e^{-\frac{r}{a_o}} \qquad (12\text{-}55)$$

Rõ ràng $\rho_{21}(r) = 0$ khi $r = 0$ và $r \to \infty$

Vậy không tìm thấy e^- ở trong hạt nhân và rất xa hạt nhân.

Dễ dàng suy ra mật độ xác suất tìm thấy e^- trong nguyên tử Hydro cực đại tại các vị trí cách hạt nhân một khoảng:

$$r_m = 4\, a_0 \qquad (12\text{-}56)$$

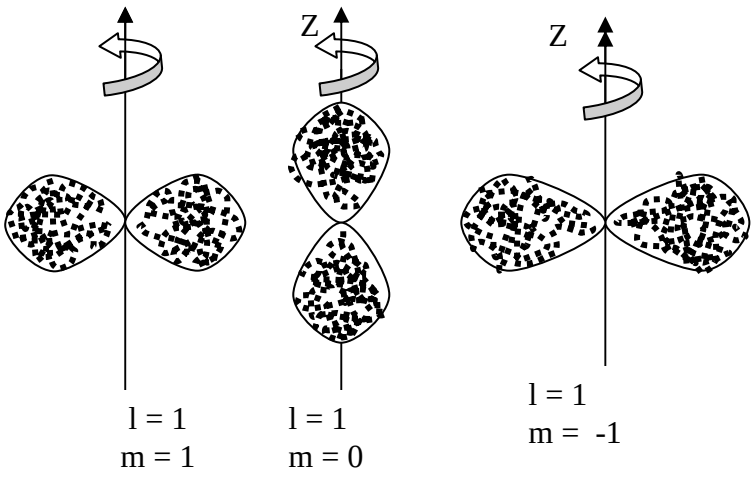
Để xác định hình dạng của nguyên tử ta tính mật độ xác suất theo góc $\rho_\ell^m(\theta,\varphi)$.

Từ (12-46), (12-47), (12-48) và (12-50) suy ra:

- Với l = 1 và m = 0: $\rho_1^0(\theta) = \frac{3}{4\pi}\cos^2\theta$ (12-57)
- Với l = 1 và m = 1: $\rho_1^1(\theta) = \frac{3}{8\pi}\sin^2\theta$ (12-58)
- Với l = 1 và m = - 1: $\rho_1^{-1}(\theta) = \frac{3}{8\pi}\sin^2\theta$ (12-59)

Ta thấy $\rho_\ell^m(\theta,\varphi)$ không phụ thuộc vào góc φ. Vậy xác suất theo mọi phương vuông góc với trục OZ bằng nhau.

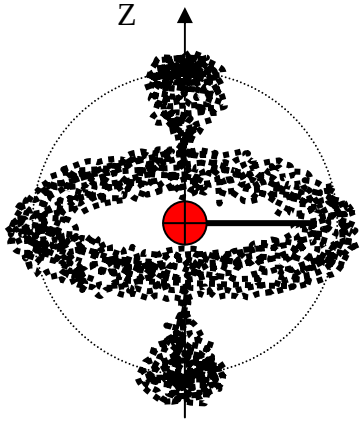
Hình dạng của < *đám mây* e^- > ở trạng thái (2p) được diễn tả bằng hình vẽ sau:



Vì mật độ xác suất $\rho_\ell^m(\theta,\varphi)$ ở trạng thái (2p) không phụ thuộc váo góc φ.

Nên < *đám mây e*$^-$ > thể hiện trong không gian bằng cách quay chung quanh trục OZ.

Kích thước và hình dạng của < *đám mây e*$^-$ > ở trạng thái kích thích (2p) được biểu diễn bằng hình vẽ sau:



IX. Mômen động lượng toàn phần

IX.1.Mômen động lượng

Trong cơ học lượng tử để xác định trạng thái của hạt e$^-$ trong nguyên tử. Ngoài hàm sóng $\Psi_{nlm}(r,\theta,\varphi)$ người ta còn dùng véctơ mômen động lượng $\vec{L}$.

Trong cơ học lượng tử người ta chứng minh được véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ của electron trong nguyên tử có giá trị:

$$L = \sqrt{\ell(\ell+1)}.\hbar \qquad (12\text{-}60)$$

Vậy L nhận các giá trị gián đoạn.

Trong đó ℓ là số lượng tử quỹ đạo: ℓ = 0,1,2,3 … (n-1).

Hình chiếu của véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ lên một phương Z là:

$$L_Z = m.\hbar \qquad (12\text{-}61)$$

Trong đó m là số lượng tử từ: m = 0, ±1, ±2 … $\pm\ell$

Như vậy véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ không định hướng bất kỳ trong không gian, mà ứng với một giá trị của ℓ véctơ mômen $\vec{L}$ có $(2\ell+1)$ cách định hướng nhất định trong không gian.

IX2.Mômen từ

Ta biết hạt điện chuyển động thì tạo ra từ trường. Do đó electron chuyển động trong nguyên tử cũng tạo ra từ trường. Từ trường này được xác định thông qua một đại lượng vật lý gọi là mômen từ $\vec{\mu}_L$. Trong cơ học lượng tử người ta đã chứng minh được:

$$\vec{\mu}_L = -\frac{e}{2m_e}\vec{L} \qquad (12\text{-}62)$$

Hình chiếu của mômen từ $\vec{\mu}_L$ lên phương Z là:

$$\mu_{LZ} = -\frac{e}{2m_e}L_Z \qquad (12\text{-}63)$$

Hay: $$\mu_{LZ} = -\ m\frac{e\hbar}{2m_e} = -m\mu_B \qquad (12\text{-}64)$$

Với: $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9{,}27.10^{-24}\ J/T$ gọi là manhêtôn Bo

IX.3.Spin của electron

Năm 1928 bằng lý thuyết cơ học lượng tử tương đối tính . Dirac đã chứng tỏ rằng ngoài chuyển động trong không gian, hạt e^- còn có vận động nội tại. Để đo vận động nội tại của hạt e^- người ta dùng đại lượng véctơ mômen Spin $\vec{S}$. Theo lý thuyết của Dirac mômen Spin $\vec{S}$ của hạt e^- nhận giá trị:

$$S = \sqrt{s(s+1)}\ .\hbar \qquad (12\text{-}65)$$

Với: s = $\frac{1}{2}$ gọi là số lượng tử spin, gọi tắt là Spin.

Hình chiếu của véctơ mômen Spin $\vec{S}$ lên phương Z là:

$$S_Z = m_S.\hbar \qquad (12\text{-}66)$$

Với : $m_S = \pm\frac{1}{2}$ là số lượng tử từ Spin .

Như vậy véctơ mômen Spin $\vec{S}$ có hai cách định hướng ngược nhau trong không gian.Sự chuyển động nội tại của hạt e^- cũng tạo ra một từ trường. Từ trường do chuyển động nội tại tạo ra được đặc trưng bằng véctơ mômen từ Spin $\vec{\mu}_S$:

$$\vec{\mu}_S = -\frac{e}{m_e}\vec{S} \qquad (12\text{-}67)$$

Dirac (Nhà vật lý người Anh) lãnh giải Nobel vật lý năm 1933

IX.4. Mômen động lượng toàn phần

Để đo chuyển động trong không gian và vận động nội tại của hạt e^- trong nguyên tử. Người ta dùng đại lượng véctơ mômen động lượng toàn phần $\vec{J}$ được định nghĩa:

$$\vec{J} = \vec{L} + \vec{S} \qquad (12\text{-}68)$$

Giá trị của $\vec{J}$ là:

$$J = \sqrt{j(j+1)}.\hbar \qquad (12\text{-}69)$$

Trong đó j là số lượng tử mômen toàn phần được xác định bởi:

$$j = \left|\ell \pm \frac{1}{2}\right| \qquad (12\text{-}70)$$

Hình chiếu của $\vec{J}$ lên phương Z là:

$$J_Z = m_j\hbar \qquad (12\text{-}71)$$

Với m_j là số lượng tử từ toàn phần:

m_j = j, j-1, … -j.

Vậy ứng với một giá trị j có (2j+1) giá trị của m_j.

Từ trường do chuyển động toàn phần của hạt e^- trong nguyên tử tạo ra được do bằng véctơ mômen từ toàn phần $\vec{\mu}$:

$$\vec{\mu} = \vec{\mu}_1 + \vec{\mu}_S \qquad (12\text{-}72)$$

IX.5. Trạng thái của electron trong nguyên tử - Nguyên lý loại trừ Pauli

a/ Trạng thái của electron trong nguyên tử

Do electron có Spin nên trạng thái của electron trong nguyên tử được xác định bởi bốn số lượng tử (n, l, m và m_S): Ψ_{nlmm_S}

Như vậy ứng với một giá trị của số lượng tử n. Ta sẽ có $2n^2$ hàm sóng Ψ_{nlmm_S} khác nhau hay trạng thái khác nhau.

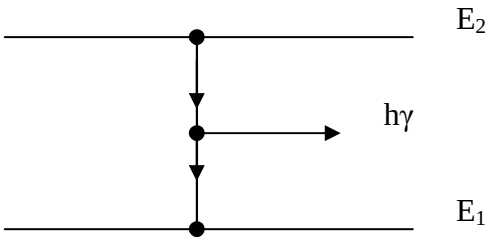
b/ Nguyên lý loại trừ Pauli

Ở mỗi trạng thái lượng tử được xác định bởi 4 số lượng tử (n, ℓ, m, m_S) chỉ có thể chứa tối đa một electron.

Pauli (Nhà vật lý người Áo) nhận giải Nobel vật lý năm 1945

X. Laser

X.1.Bức xạ ngẫu nhiên



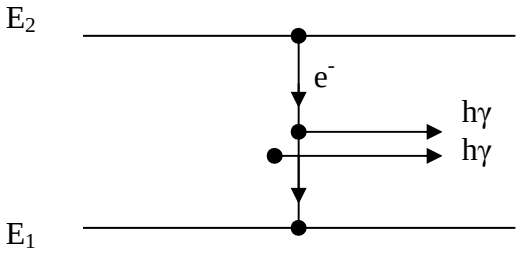
Bình thường nguyên tử ở trạng thái có năng lượng cực tiểu E_1 (mức E_1) . Khi tương tác nguyên tử nhận năng lượng nhảy lên trạng thái kích thích có năng lượng E_2 (mức E_2).

Trạng thái kích thích E_2 không bền, sau khoảng thời gian 10^{-6} s đến 10^{-8} s nguyên tử **tự phát** trở về trạng thái E_1 một cách **ngẫu nhiên** và phát ra một hạt photon có năng lượng : $h\gamma = E_2 - E_1$

Do bức xạ tự phát ngẫu nhiên nên pha và phương chuyển động của các photon (ánh sáng) phát ra là khác nhau. Các photon phát ra **không kết hợp**.

Bức xạ ngẫu nhiên là cơ chế phát sáng chủ yếu của các nguồn sáng trong tự nhiên

X.2.Bức xạ cảm ứng



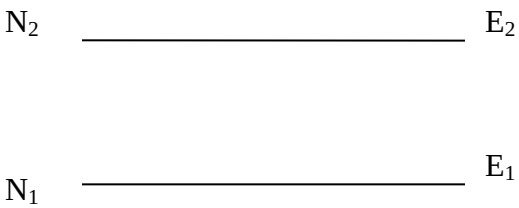
Khi nguyên tử ở trạng thái kích thích E_2. Nếu một hạt photon có năng lượng đúng bằng $h\gamma = E_2 - E_1$. Chuyển động tới kích thích nguyên tử trở về trạng thái E_1 và phát ra một photon: $h\gamma = E_2 - E_1$.

Cơ chế phát xạ trên được gọi là bức xạ cảm ứng, hay bức xạ cưỡng bức, hay bức xạ cộng hưởng.

Photon tới gây cảm ứng và photon bức xạ do cảm ứng là hoàn toàn giống nhau : cùng pha, cùng phương , cùng tần số … Chúng là hai photon **kết hợp**.

Cơ chế bức xạ cảm ứng được Einstein đưa ra năm 1917

X.3.Môi trường khuếch đại ánh sáng



Một khối chất ở trạng thái cân bằng nhiệt , có nhiệt độ T . Theo Boltzmann:

- Số nguyên tử có năng lượng E_1 là: $N_1 = C e^{-\frac{E_1}{kT}}$
- Số nguyên tử có năng lượng E_2 là: $N_2 = C e^{-\frac{E_2}{kT}}$
- Trong đó C là hằng số và k = 1,38 .10^{-23} J/K là hằng số Boltzmann

Suy ra: $\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{(E_2 - E_1)}{kT}}$

Do $E_2 > E_1$, nên $N_1 > N_2$

Như vậy bình thường số nguyên tử N_1 ở trạng thái có năng lượng nhỏ (E_1) lớn hơn số nguyên tử N_2 ở trạng thái có năng lượng lớn (E_2).

Khi chiếu ánh sáng vào một môi trường bình thường. Nguyên tử ở trạng thái năng lượng E_1 sẽ hấp thụ photon và nhảy lên mức năng lượng cao hơn (E_2). *Môi trường hấp thụ ánh sáng*.

Dĩ nhiên trong trường hợp này các hạt photon tới cũng có thể gây ra bức xạ cảm ứng và tạo ra các hạt photon mới.

Nhưng do số nguyên tử (N_2) ở mức năng lượng lớn (E_2) quá nhỏ so với số nguyên tử (N_1) ở mức năng lượng nhỏ (E_1). Cho nên số hạt photon mới được tạo ra do bức xạ cảm ứng nhỏ không đáng kể so với số hạt photon hấp thụ .

Nếu ta cung cấp năng lượng cho các nguyên tử ở mức năng lượng E_1 một cách liên tục . Để chúng nhảy lên mức năng lượng cao hơn . Người ta gọi hiện tượng này là " bơm '', có thể bơm bằng ánh sáng hay điện … Kết quả sao cho $N_2 > N_1$.

Khi đó một nguyên tử ở trạng thái năng lượng E_2 tự phát trở về trạng thái E_1 phát ra một photon: $h\gamma = E_2 - E_1$. Hạt photon này tác dụng kích thích lên một nguyên tử khác ở trạng thái E_2 gây bức xạ cảm ứng tạo ra hạt photon mới: $h\gamma = E_2 - E_1$.

Hai photon này lại gây ra bức xạ cảm ứng tạo ra hai hạt photon mới nữa … Tiếp tục như thế trong một thời gian ngắn số hạt photon kết hợp được tạo ra bởi bức xạ cảm ứng tăng lên rất nhanh .

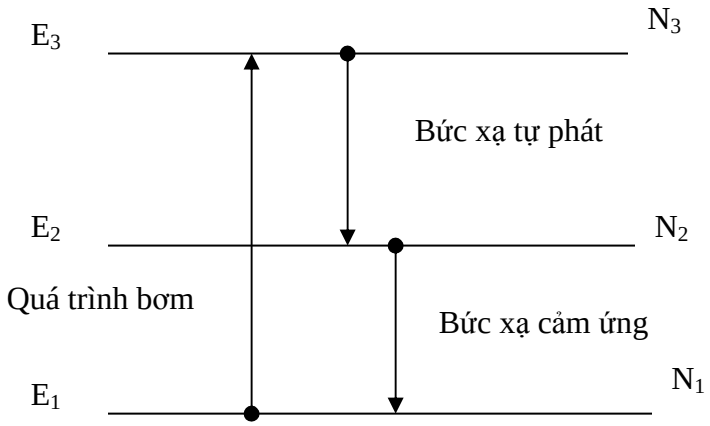
Môi trường có $N_2 > N_1$ được gọi là:

- Môi trường mật độ đảo lộn.
- Môi trường khuếch đại ánh sáng.
- Môi trường hoạt tính.

Nếu dùng hai mức năng lượng E_1 và E_2 không thể tạo ra được môi trường mật độ đảo lộn $N_2 > N_1$. Vì khi bơm các nguyên tử từ E_1 lên E_2 thì đồng thời cũng có quá trình bức xạ cảm ứng đưa các nguyên tử trở về E_1. Sau một thời gian sẽ xuất hiện sự cân bằng động. Số nguyên tử được bơm lên và số nguyên tử trở về do bức xạ cảm ứng bằng nhau . Kết quả $N_1 = N_2$.

Để tạo ra môi trường mật độ đảo lộn $N_2 > N_1$. Tối thiểu phải dùng ba mức năng lượng: E_1, E_2 và E_3 .

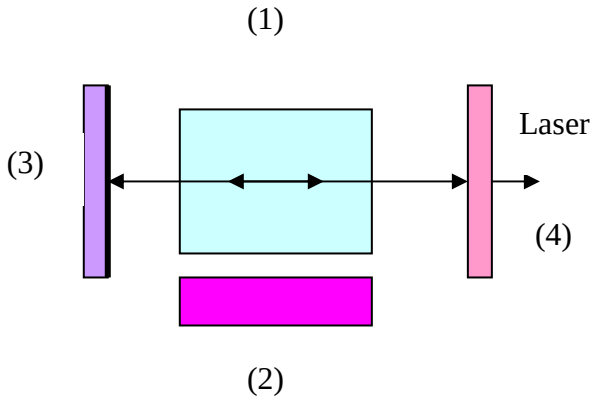
Bơm các nguyên tử từ trạng thái năng lượng E_1 kên trạng thái năng lượng E_3 . Các nguyên tử tồn tại ở trạng thái E_3 trong một khoảng thời gian rất gắn từ 10^{-6} s đến 10^{-8} s . Sau đó các nguyên tử dịch chuyển tự phát xuống trạng thái năng lượng E_2. Các nguyên tử tồn tại ở trạng thái E_2 một thời gian khoảng 10^{-3} s tương đối lớn so với thời gian ở trạng thái E_3 . Kết quả tạo được sự đảo lộn mật độ giữa hai mức năng lượng E_1 và E_2: $N_2 > N_1$.



X.4. Cấu tạo cơ bản và nguyên lí hoạt động của máy phát Laser

Laser là các từ đầu của " Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" có nghĩa khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ cảm ứng.

Cấu tạo cơ bản của một máy phát Laser như sau:



- (1) là môi trường hoạt tính có thể: khí, lỏng , rắn hay bán dẫn.
- (2) nguồn cung cấp năng lượng để bơm các nguyên tử ở năng lượng E_1 lên E_3 có thể: ánh sáng hay điện …
- (3) gương phản xạ.
- (4) gương bán phản xạ.
- Hai gương (3) và (4) tạo thành hệ cộng hưởng.

Giả sử có một nguyên tử ở trạng thái E_2 tự phát trở về E_1 phát ra một photon có phương song song với trục hệ cộng hưởng (phương vuông góc với hai gương (3) và (4) và hướng tới gương (3).

Hạt photon phản xạ lại môi trường hoạt tính (1) gây ra bức xạ cảm ứng tạo ra một photon mới. Hai photon kết hợp đến gương (4) và phản xạ lại môi trường hoạt tính (1).

Chúng gây ra bức xạ cảm ứng tạo ra hai photon kết hợp mới. Bốn photon kết hợp đến gương (3) và phản xạ lại môi trường hoạt tính (1) , lại gây ra bức xạ cảm ứng tạo ra thêm bốn photon kết hợp nữa. Tám photon kết hợp đến gương (4) và phản xạ lại môi trường hoạt tính (1). Tiếp tục như thế trong một thời gian rất ngắn số hạt photon kết hợp chuyển động dọc theo trục của hệ cộng hưởng tăng lên rất nhanh.

Do đó ánh sáng Laser đi ra khỏi gương bán phản xạ (4) cũng tăng lên rất nhanh.

X.5. Các tính chất của ánh sáng Laser

Ánh sáng Laser có các tính chất sau:

- Anh sáng Laser có độ đơn sắc cao
- Anh sáng Laser có độ kết hợp cao
- Anh sáng Laser có tính định hướng cao
- Anh sáng Laser có công suất cao
- Anh sáng Laser có thể làm hội tụ với độ tụ cao

X.6. Ứng dụng của ánh sáng Laser

Anh sáng Laser có rất nhiều ứng dụng:

- *Trong Y học ánh sáng Laser dùng để chữa bịnh bằng liệu pháp Laser quang động học , bằng liệu pháp Laser nhiệt , dùng làm dao mổ Laser trong phẩu thuật Tai – Mũi – Họng , phẩu thuật giác mạc trong nhãn khoa …*
- *Trong công nghiệp ánh sáng Laser được dùng để: Khoan , cắt , hàn , tôi bề mặt kim loại , vi khắc , vi hàn …*
- *Trong quân sự ánh sáng Laser được dùng để hướng dẫn thả bom chính xác , làm vũ khí Laser …*
- *Trong thông tin ánh sáng Laser được dùng để truyền thông tin trong cáp quang , lưu trử thông tin bằng đĩa quang , tạo ảnh nổi (holography) …*
- *Trong nghiên cứu khoa học ánh sáng Laser được dùng để làm lạnh chất khí, điều khiển các phản ứng hoá học, vi kỹ thuật Laser dùng trong nghiên cứu công nghệ sinh học …*

Thật khó kể hết những ứng dụng đa dạng và phong phú của ánh sáng Laser trong mọi lĩnh vực của đời sống.

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 12

1/. Định luật Kirchhoff

$$\frac{r\left(\lambda,T\right)}{a\left(\lambda,T\right)} = f\left(\lambda,T\right) \qquad (12-1)$$

2/ Thuyết lượng tử năng lượng và công thức Planck

$$E = h\gamma = \frac{hc}{\lambda} \qquad (12-2)$$

3/ Định luật Stefan-Boltzmann

$$R = \sigma T^4 \qquad (12\text{-}3)$$

Với: $\sigma = 5{,}67.10^{-8}\ W/m^2K^4$

4/ Định luật dịch chuyển Wien

$$\lambda_m T = b \qquad (12\text{-}4)$$

Với: $b = 2{,}898.10^{-3}\ m.K$

5/ Năng lượng hạt photon

$$E = h\gamma = \frac{hc}{\lambda} \qquad (12\text{-}5)$$

6/ Khối lượng hạt photon

$$m = \frac{h\gamma}{c^2} = \frac{h}{\lambda c} \qquad (12\text{-}6)$$

7/ Động lượng của photon

$$p = \frac{h\gamma}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad (12\text{-}7)$$

8/ Dòng quang điện đạt giá trị bão hoà I_{bh}.

$$I_{bh} = n.e \qquad (12\text{-}8)$$

9/Động năng cực đại của các quang electron

$$|eU_h| = \frac{1}{2} m_e v_m^2 \qquad (12\text{-}9)$$

10/ Giới hạn quang điện

$$\lambda_o = \frac{hc}{A}$$

11/ Phương trình Einstein

$$h\gamma = A + \frac{1}{2} m_e v_m^2 \qquad (12\text{-}10)$$

12/ Tần số γ của sóng của vi

$$\gamma = \frac{E}{h} \qquad (12\text{-}11)$$

13/ Bước sóng λ của sóng của vi hạt

$$\lambda = \frac{h}{p} \qquad (12\text{-}20)$$

14/ Hàm sóng của vi hạt trong giếng thế

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{a}}\ Sin\frac{n\pi}{a}x \qquad (12\text{-}12)$$

15/ Mật độ xác suất của vi hạt trong giếng thế

$$\rho_n(x) = |\Psi(x)|^2 = \frac{2}{a}\ Sin^2\frac{n\pi}{a}x \qquad (12\text{-}13)$$

16/ Năng lượng của vi hạt trong

$$E_n = \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}n^2 \qquad (12\text{-}14)$$

17/ Năng lượng của electron trong nguyên tử Hydro

$$E_n = -\frac{13{,}6}{n^2}\,eV \qquad (12\text{-}15)$$

Với: 1 eV = 1,6 10^{-19} J

18/ Quang phổ H - Dãy Lyman

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}16)$$

Với n = 2, 3, 4 …∞ .

R = 1,0967710 ^{7} m^{-1} là hằng số Rydberg

19/ Quang phổ H - Dãy Balmer

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}17)$$

Với n = 3, 4, 5 … ∞

20/ Quang phổ H - Dãy Paschen

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}18)$$

Với n = 4, 5, 6 …∞

21/ Quang phổ H -Dãy Brackett:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}19)$$

Với n = 5, 6, 7 …∞

22/ Quang phổ H - Dãy Pfun

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (12\text{-}20)$$

Với n = 6, 7, 8 …∞

23/ Hàm sóng bán kính $R_{nl}(r)$ ở trạng thái cơ bản: n = 1 và l = 0

$$R_{10}(r) = 2\left(\frac{1}{a_o}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{r}{a_o}} \qquad (12\text{-}21)$$

Trong đó a_o = 0,5310^{-10} m

24/ Hàm sóng bán kính $R_{nl}(r)$ ở trạng thái kích thích: n = 2 và l = 0

$$R_{20}(r)=\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{1}{a_o}\right)^{\frac{3}{2}}\left(1-\frac{r}{2a_o}\right)e^{-\frac{r}{2a_o}} \qquad (12\text{-}22)$$

25/ Hàm sóng bán kính $R_{nl}(r)$ ở trạng thái kích thích: n = 2 và l = 1

$$R_{21}(r)=\frac{1}{\sqrt{24}}\left(\frac{1}{a_o}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{r}{a_o}\right)e^{-\frac{r}{2a_o}} \qquad (12\text{-}23)$$

26/ Hàm sóng cầu $Y_l^m(\theta,\varphi)$ ở trạng thái cơ bản n = 1, l = 0, m = 0

$$Y_0^0=\frac{1}{\sqrt{4\pi}} \qquad (12\text{-}24)$$

27/ Hàm sóng cầu $Y_l^m(\theta,\varphi)$ ở trạng thái kích thích n = 2, l = 1, m = 0, ± 1

$$Y_1^0=\sqrt{\frac{3}{4\pi}}\cos\theta \qquad (12\text{-}25)$$

$$Y_1^1=\sqrt{\frac{3}{8\pi}}.\sin\theta.\mathrm{e}^{\mathrm{i}\varphi} \qquad (12\text{-}26)$$

$$Y_1^{-1}=\sqrt{\frac{3}{8\pi}}.\sin\theta.\mathrm{e}^{-\mathrm{i}\varphi} \qquad (12\text{-}27)$$

28/ Mật độ xác suất của electron trong nguyên tử Hydro

- Mật độ xác suất theo bán kính r

$$\rho_{n\ell}(r)=\left|R_{n\ell}\right|^2 r^2 \qquad (12\text{-}28)$$

- Mật độ xác suất theo góc :

$$\rho_\ell^m(\theta,\varphi)=\left|Y_\ell^m\right|^2=Y_\ell^m.Y_\ell^{m*} \qquad (12\text{-}29)$$

- Mật độ xác suất e^- trong nguyên tử Hydro :

$$\rho_{n\ell m}(r,\theta,\varphi)=\rho_{n\ell}(r).\rho_\ell^m(\theta,\varphi) \qquad (12\text{-}30)$$

- Mật độ xác suất theo bán kính r ở trạng thái cơ bản n =1, l = 0

$$\rho_{10}(r)=4\left(\frac{1}{a_o}\right)^3 r^2 e^{-\frac{2r}{a_o}} \qquad (12\text{-}31)$$

- Mật độ xác suất theo góc ở trạng thái cơ bản n =1, l = 0, m = 0

$$\rho_0^0(\theta,\varphi)=\frac{1}{4\pi} \qquad (12\text{-}32)$$

29/ Giá trị của được véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ của electron trong nguyên tử

$$L=\sqrt{\ell(\ell+1)}.\hbar \qquad (12\text{-}33)$$

Với : ℓ = 0,1,2,3 … (n-1).

30/ Hình chiếu của véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ lên một phương Z

$$L_Z = m.\hbar \qquad (12\text{-}34)$$

Với: m = 0, ±1, ±2 … $\pm \ell$

31/ Mômen từ quỹ đạo

$$\vec{\mu}_L = -\frac{e}{2m_e}\vec{L} \qquad (12\text{-}35)$$

32/ Hình chiếu của mômen từ $\vec{\mu}_L$ lên phương Z

$$\mu_{LZ} = -\frac{e}{2m_e}L_Z \qquad (12\text{-}36)$$

$$\mu_{LZ} = -\ m\frac{e\hbar}{2m_e} = -m\mu_B \qquad (12\text{-}37)$$

Với: $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = 9{,}27.10^{-24}\ J/T$

33/ Giá trị của mômen Spin $\vec{S}$

$$S = \sqrt{s(s+1)}\ .\hbar \qquad (12\text{-}38)$$

Với: s = $\frac{1}{2}$

34/ Hình chiếu của véctơ mômen Spin $\vec{S}$ lên phương Z :

$$S_Z = m_S.\hbar \qquad (12\text{-}39)$$

Với: $m_S = \pm \frac{1}{2}$

35/ Véctơ mômen từ Spin $\vec{\mu}_S$

$$\vec{\mu}_S = -\frac{e}{m_e}\vec{S} \qquad (12\text{-}40)$$

36/ Hình chiếu của véctơ mômen từ Spin $\vec{\mu}_S$ lên phương Z

$$\mu_{SZ} = \pm \mu_B \qquad (12\text{-}41)$$

37/ Giá trị của được véctơ mômen động lượng toàn phần $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$ của electron trong nguyên tử

$$J = \sqrt{j(j+1)}.\hbar \qquad (12\text{-}42)$$

Với: $j = \left|\ell \pm \frac{1}{2}\right|$

38/ Hình chiếu của $\vec{J}$ lên phương Z:

$$J_Z = m_j \hbar \qquad (12\text{-}43)$$

Với: $m_j = j, j-1, \ldots -j.$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 12

Câu 1: Vật đen tuyệt đối là vật:

a) chỉ có duy nhất một màu đen
b) hấp thụ toàn bộ năng lượng bức xạ nhiệt chiếu tới vật
c) hấp thụ một phần năng lượng bức xạ nhiệt chiếu tới vật
d) không hấp thụ năng lượng bức xạ nhiệt chiếu tới vật

Câu 2: Cho hai mệnh đề (MĐ)

MĐ 1: Hiện tượng giao thoa ánh sáng chứng tỏ ánh sáng có lưỡng tính sóng hạt.

MĐ 2: Hiện tượng quang điện chứng tỏ ánh sáng có lưỡng tính sóng hạt

Hãy chọn phương án đúng

a) MĐ 1 đúng, MĐ 2 đúng
b) MĐ 1 đúng, MĐ 2 sai
c) MĐ 1 sai, MĐ 2 đúng
d) MĐ 1 sai, MĐ 2 sai

Câu 3: Một hạt electron chuyển động tự do. Nếu vận tốc v của hạt tăng lên hai lần thì bước sóng λ tương ứng của hạt?

a) λ tăng lên 2 lần
b) λ tăng lên 4 lần
c) λ giảm xuống 2 lần
d) λ giảm xuống 4 lần

Câu 4: Một hạt electron chuyển động tự do. Nếu vận tốc v của hạt tăng lên hai lần thì tần số sóng γ tương ứng của hạt?

a) γ tăng lên 2 lần
b) γ tăng lên 4 lần
c) γ giảm xuống 2 lần
d) γ giảm xuống 4 lần

Câu 5: Một hạt electron chuyển động tự do. Nếu vận tốc v của hạt tăng lên hai lần thì mật độ xác suất $|\Psi|^2$ tìm thấy hạt?

a) $|\Psi|^2$ không đổi

b) $|\Psi|^2$ tăng lên 2 lần

c) $|\Psi|^2$ tăng lên 4 lần

d) $|\Psi|^2$ giảm xuống 2 lần

Câu 6: Ánh sáng Laser có tính chất nào sau đây:

a) có độ đơn sắc cao

b) có độ kết hợp cao

c) có tính định hướng cao

d) Tất cả tính chất trên đều đúng

ĐÁP ÁN CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 8

1-d	2-c	3-a	4-d	5-a	6-d	7-d	8-c	9-b
10-a-	11-a	12-a	13-b	14-a	15-a	16-b	17-d	18-a

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 9

1-a	2-b	3-a	4-b	5-d	6-a	7-a	8-a	9-a
10-b	11-c	12-a	13-d	14-b	15-a	16-a	17-b	18-d

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 10

1-c	2-c	3-d	4-c	5-a
6-c	7-b	8-d	9-a	10-b

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 11

1-c	2-d	3-d	4-d	5-a

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 12

1-b	2-d	3-c	4-a	5-a	6-d

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A.X.Kompanheetx, Giáo trình vật lý lí thuyết, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1981.
2. Bùi Trọng Tuân, Vật lý phân tử và nhiệt học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1999.
3. Cao Long Vân,Vật lý đại cương, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2008.
4. David Halliday, Cơ Sở vật lý (6 tập), Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1998.
5. Đào Văn Phúc, Lịch sử Vật lý học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1999.
6. Đặng Hùng, Vật lý kỹ thuật, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2005.
7. H.Wichmann, Vật lý lượng tử, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1981.
8. I.V.Xavaliev, Giáo trình Vật lý đại cương, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1988.
9. Lê Nguyên Long, Vật lý-Công nghệ-Đời sống, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2003.
10. Lương Duyên Bình, Vật lý đại cương (3 tập), Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2003.
11. Jean-Marie Brébec, Điện Từ học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2001.
12. Nguyễn Hữu Xí, Cơ học, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1985.
13. Nguyễn Hữu Mình, Cơ Học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1998..
14. Nguyễn Xuân Chánh, Vật lý ứng dụng trong đời sống hiện đại, Nhà xuất bản Trẻ, Năm 2009.
15. Nguyễn Xuân Chánh, Vật lý với khoa học và công nghệ hiện đại, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2003.
16. Nguyễn Tứ, Sự tiến triển của công nghệ, Nhà xuất bản Trẻ, Năm 2007.
17. Nguyễn Đình Thắng, Giáo trình vật liệu điện, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2007.
18. Nguyễn Hữu Đức, Vật liệu từ cấu trúc nano và điện tử học spin, Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội. Năm 2003.
19. Ronald Gautreau, Vật lý hiện đại, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1997.
20. Stephen Hawking, Lược sử thời gian, Nhà xuất bản Trẻ, Năm 2007.
21. Vũ Thanh Khiết, Điện học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1992.