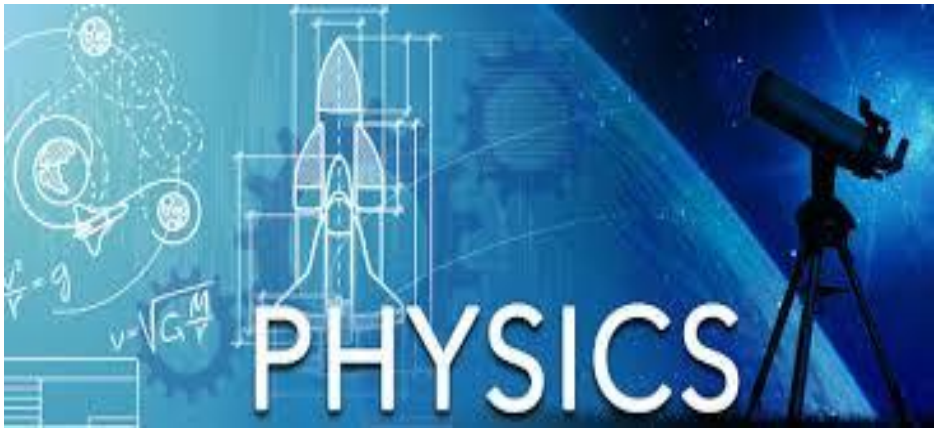
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG

Khoa Điện - Điện tử

BỘ MÔN VẬT LÝ

PGS.TS. Lê Văn Hảo

BÀI GIẢNG
VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG



THÁNG 9/2019

MỤC LỤC

CÔNG THỨC TOÁN **5**
CHƯƠNG 1: CƠ HỌC **15**
I. Động học 15
I.1. Các khái niệm mở đầu 15
I.2. Các phương pháp xác định ví trí của chất điểm 15
I.3. Vận tốc 20
I.4. Gia tốc 26
I.5. Tổng hợp véctơ vận tốc và véctơ gia tốc 38
I.6. Chuyển động thẳng thay đổi đều 40
II. Động lực học 42
II.1. Các khái niệm mở đầu 42
II.2. Các định luật của Newton 46
Bài đọc thêm: *Pa-lăng* 60
Bài đọc thêm: *Hàn ma sát* 66
III. Cơ năng 68
III.1. Các khái niệm mở đầu 68
III.2. Định lí động năng 69
III.3. Trường lực thế 70
III.4. Cơ năng 74
III.5. Các vận tốc vũ trụ 76
Bài đọc thêm: *Những hình dạng quỹ đạo phổ biến của vật trong tự nhiên* 77
III.6. Va chạm 79
IV. Cơ học chất lưu 80
IV.1. Các khái niệm cơ bản 80
IV.2. Tĩnh học chất lưu 81
IV.3. Phương trình Bernoulli 82
V. Cơ học tương đối Einstein 83
V.1. Phép biến đổi Galilei 83
V.2. Nguyên lý tương đối Galilei 84
V.3. Thuyết tương đối hẹp của Einstein 84
V.4. Phép biến đổi Lorentz 85
V.5. Động học tương đối 86

CHƯƠNG 2: NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC 92
I. Các khái niệm mở đầu 92
II. Các định luật về chất khí 93
III. Nội năng khí lí tưởng 98
IV. Các quá trình nhiệt cơ bản 100
V. Công và nhiệt 100
VI. Nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học 104
VII. Động cơ nhiệt và máy lạnh 109
VIII. Chu trình Carnot 111
IX. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động lực học 113
Bài đọc thêm: *Cấu tạo và nguyên lý làm việc của điều hòa* 116
CHƯƠNG 3: ĐIỆN TRƯỜNG 118
I. Các khái niệm mở đầu 118
Bài đọc thêm: *Máy in Laser và máy photocopy* 118
II. Định luật Coulomb về tương tác tĩnh điện 119
III. Trường tĩnh điện 121
IV. Định lí Ostrogradsky – Gauss (O – G) của điện trường 126
Bài đọc thêm: *Chứng minh định lí O-G của điện trường* 129
V. Điện thế 134
VI. Năng lượng điện của hệ điện tích điểm 138
VII. Vật dẫn 139
VIII. Chất bán dẫn 141
Bài đọc thêm: *Cá chình điện* 144
CHƯƠNG 4: TỪ TRƯỜNG 146
I. Dòng điện 146
II. Định luật Biot – Savart – Laplace 148
III. Định lí Ostrogradsky – Gauss (O – G) của từ trường 156
IV. Định lí Ampere 158
V. Định luật Ampere về tương tác từ 160
Bài đọc thêm: *Hiệu ứng Hall* 161
VI. Vật liệu từ 162
CHƯƠNG 5: TRƯỜNG ĐIỆN TỪ - SÓNG ĐIỆN TỪ 165
I. Hiện tượng cảm ứng điện từ 165
Bài đọc thêm: *Dòng điện Foucault* 166
II. Luận điểm thứ nhất của Maxwell 170

III. Luận điểm thứ hai của Maxwell 171
IV. Trường điện từ 172
V. Sóng điện từ 173
VI. Các hiện tượng sóng của ánh sáng 176
CHƯƠNG 6: LÝ THUYẾT LƯỢNG TỬ & CƠ HỌC LƯỢNG TỬ 189
I. Bức xạ nhiệt 189
II. Thuyết lượng tử ánh sáng của Einstein 192
III. Lưỡng tính sóng hạt của ánh sáng 195
IV. Lưỡng tính sóng hạt của vi hạt 197
Bài đọc thêm: *Tiểu sử Louis de Broglie* 198
V. Nguyên lí bất định Heisenberg 199
VI. Phương trình Schrodinger 200
VII. Hiệu ứng đường hầm 200
VIII. Laser và ứng dụng 201
Bài đọc thêm: *Súng laser* 205
BẢNG CÁC HẰNG SỐ VẬT LÝ THƯỜNG GẶP 207
TÀI LIỆU THAM KHẢO 208

CÔNG THỨC TOÁN

Vật lý học thường được trình bày thông qua công cụ toán học. Phần này nêu những công thức toán học cơ bản thường gặp nhằm tạo thuận lợi cho sinh viên khi học Vật lý.

I/ Hình học

1/. Đường tròn bán kính r

- Chu vi: $s = 2\pi r$ (T.I-1)
- Diện tích: $S = \pi r^2$ (T.I-2)

2/. Hình cầu bán kính r

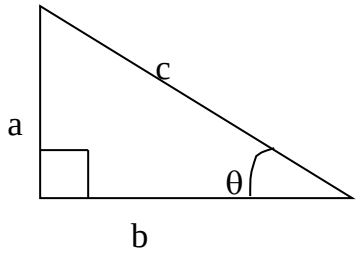
- Diện tích: $S = 4\pi r^2$ (T.I-3)
- Thể tích: $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ (T.I-4)

II.Nghiệm của phương trình bậc hai

Phương trình bậc hai: $ax^2 + bx + c = 0$

Có nghiệm: $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ (T.II-1)

III. Hàm lượng giác góc θ



$\sin\theta = \frac{a}{c}$ (T.III-1) $\quad \tg\theta = \frac{a}{b}$ (T.III.3)

$\cos\theta = \frac{b}{-}$ (T.III-2) $\quad \cotg\theta = \frac{b}{-}$ (T.III-4)

IV. Đồng nhất thức lượng giác

1/ Nếu $\theta + \alpha = 90^0$ thì :

$\sin\theta = \cos\alpha$ và $\cos\theta = \sin\alpha$ (T.IV-1)

2/ $\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = tg\theta$ và $\frac{\cos\theta}{\sin\theta} = \cot g\theta$ (T.IV-2)

3/ $\sin^2\theta + \cos^2\theta = 1$ (T.IV-3)

4/ $\sin 2\theta = 2\sin\theta\cos\theta$ (T.IV-4)

5/ $\cos 2\theta = \cos^2\theta - \sin^2\theta = 2\cos^2\theta - 1 = 1 - 2\sin^2\theta$ (T.IV-5)

V. Biểu thức gần đúng

Nếu $\varepsilon << 1$ thì $(1 \pm \varepsilon)^n \approx (1 \pm n\varepsilon)$ (T.V-1)

VI. Đạo hàm và Vi phân

VI.1 Đạo hàm

Sau đây các chữ y, u và v là các hàm số của x, và C, a và m là các hằng số.

Kí hiệu: $\frac{du}{dx} = u'$ *và* $\frac{dv}{dx} = v'$

1/ $y = u \pm v \rightarrow \frac{dy}{dx} = u' \pm v'$ (T.VI-1)

2/ $y = au \rightarrow \frac{dy}{dx} = a\,u'$ (T.VI-2)

3/ $y = u\,v \rightarrow \frac{dy}{dx} = u'v + uv'$ (T.VI-3)

4/ $y = \frac{u}{v} \rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{u'v - uv'}{v^2}$ với $v \neq 0$ (T.VI-4)

5/ $y = C \rightarrow \frac{dy}{dx} = 0$ (T.VI-5)

6/ $y = x \rightarrow \frac{dy}{dx} = 1$ (T.VI-6)

7/ $y = x^m \rightarrow \frac{dy}{dx} = mx^{m-1}$ (T.VI-7)

8/ $y = e^x \rightarrow \frac{dy}{dx} = e^x$ (T.VI-8)

9/ $y = e^{ax} \rightarrow \frac{dy}{dx} = a\,e^{ax}$ (T.VI-9)

10/ $y = \ln x \rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{1}{x}$ (T.VI-10)

11/ $y = \sin x \rightarrow \frac{dy}{dx} = \cos x$ (T.VI-11)

12/ $y = \sin ax \rightarrow \frac{dy}{dx} = a\cos ax$ (T.VI-12)

13/ $y = \cos x \rightarrow \frac{dy}{dx} = -\sin x$ (T.VI-13)

14/ $y = \cos ax \rightarrow \frac{dy}{dx} = -a\sin ax$ (T.VI-14)

15/ $y = tgx \rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\cos^2 x}$ (T.VI-15)

16/ $y = cotgx \rightarrow \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{\sin^2 x}$ (T.VI-16)

17/ $y = e^u \rightarrow \frac{dy}{dx} = e^u \frac{du}{dx}$ (T.VI-17)

18/ $y = \sin u \rightarrow \frac{dy}{dx} = \cos u \frac{du}{dx}$ (T.VI-18)

19/ y = cosu $\rightarrow$ $\frac{dy}{dx} = -\sin u \frac{du}{dx}$ (T.VI-19)

VI.2 Vi phân

20/Ta có đạo hàm: $\frac{dy}{dx}$ = f(x) $\rightarrow$ Vi phân của y: dy = f(x).dx

Để tính y từ vi phân dy ta làm toán tích phân:

y = $\int dy = \int f(x)dx$

VII. Tích phân

Sau đây các chữ u và v là các hàm số của x, và m, k, a, b là các hằng số.

Với mỗi tích phân không xác định cần cộng thêm một hằng số bất kì C.

1/ $\int_a^b udx = -\int_b^a udx$ (T.VII-1)

2/ $\int audx = a\int udx$ (T.VII-2)

3/ $\int (u \pm v)\, dx = \int udx \pm \int vdx$ (T.VII-3)

2/ $\int dx = x$ (T.VII-4)

3/ $\int x^m dx = \frac{x^{m+1}}{m+1}$ với m ≠ - 1 (T.VII-5)

4/ $\int \frac{dx}{x}$ = ln|x| (T.VII-6)

6/ $\int e^x dx = e^x$ (T.VII-7)

7/ $\int e^{kx} dx = \frac{1}{k} e^{kx}$ (T.VII-8)

8/ $\int \sin x dx = -\cos x$ (T.VII-9)

9/ $\int \sin kx dx = -\frac{1}{k}\cos kx$ (T.VII-10)

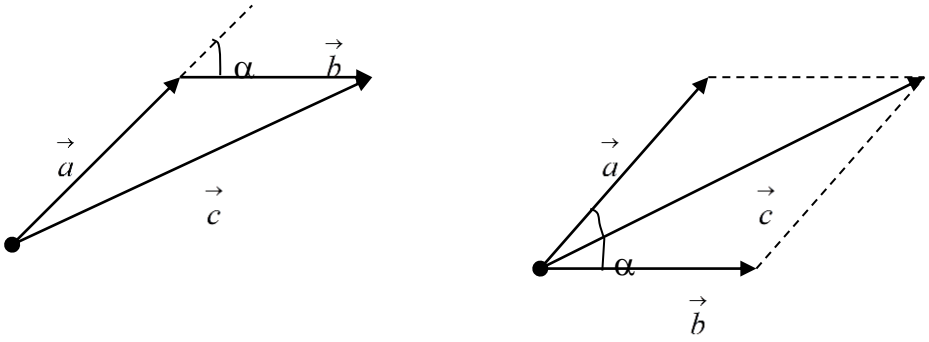
11/ $\int \cos x dx = \sin x$ (T.VII-11)

12/ $\int \cos kx dx = \frac{1}{k}\sin kx$ (T.VII-12)

VIII. Đại lượng véctơ

Đại lượng véctơ được biểu diễn bằng một đoạn thẳng có mũi tên (→). Chiều dài của véctơ đặc trưng cho độ lớn của véctơ hay còn gọi là môđun của véctơ. Mũi tên đặc trưng cho phương chiều của véctơ.

1/. Cộng véctơ



Tổng hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ là một véctơ $\vec{c}$

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$$

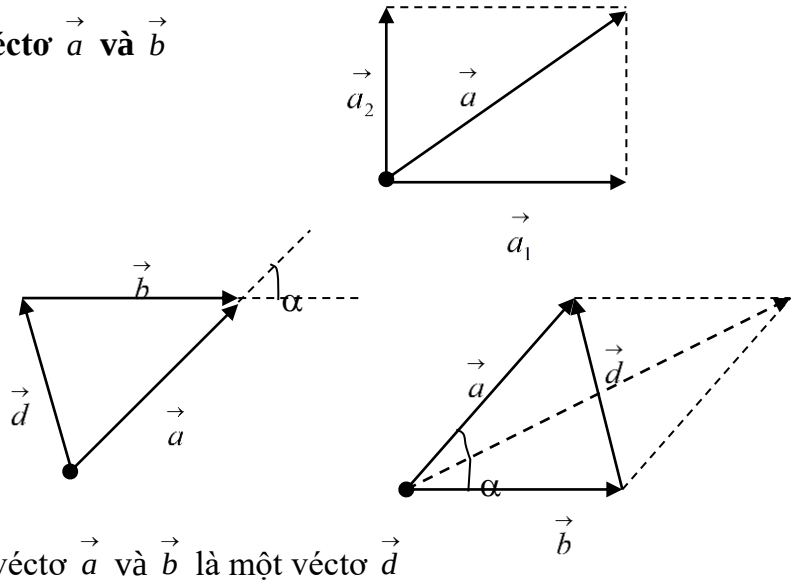
Véctơ tổng $\vec{c}$ có độ lớn hay môđun c được xác định theo độ lớn hay môđun a của véctơ $\vec{a}$, độ lớn hay môđun b của véctơ $\vec{b}$ và góc α hợp bởi hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$.

$$c^2 = a^2 + b^2 + 2ab\cos\alpha \qquad \text{(T.VIII-1)}$$

Ngược lại nếu cho trước một véctơ $\vec{c}$ thì ta cũng có thể phân tích véctơ $\vec{c}$ thành hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ nào đó, với: $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$. Khi đó hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ được gọi là hai thành phần của véctơ $\vec{c}$.

Trong vật lý trong tính toán người ta hay phân tích một véctơ $\vec{a}$ nào đó thành hai véctơ thành phần $\vec{a}_1$ và $\vec{a}_2$ vuông góc nhau: $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$

2/. Hiệu hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$



Hiệu hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ là một véctơ $\vec{d}$

$$\vec{d} = \vec{a} - \vec{b}$$

Hay: $\vec{a} = \vec{d} + \vec{b}$

Véctơ hiệu $\vec{d}$ có độ lớn d được xác định theo độ lớn a của véctơ $\vec{a}$, độ lớn b của véctơ $\vec{b}$ và góc α hợp bởi hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$.

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha \qquad \text{(T.VIII-2)}$$

3/. Tích vô hướng của hai véctơ – tích chấm (.)

Tích vô hướng của hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ là một đại lương vô hướng A.

$$A = \vec{a} . \vec{b}$$

$$A = a.b.\cos\alpha \qquad \text{(T.VIII-3)}$$

- $\alpha = (\vec{a}, \vec{b})$
- a và b là độ lớn của hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$
- A có thể âm, dương hay bằng 0 tùy theo giá trị của góc α
- Tích vô hướng của hai véctơ có tính giao hoán: $\vec{a} . \vec{b} = \vec{b} . \vec{a}$

4/. Nhân véctơ với đại lượng vô hướng k

Nhân véctơ $\vec{a}$ với một đại lượng vô hướng k là một véctơ $\vec{b}$.

$$\vec{b} = k\,\vec{a}$$

Véctơ $\vec{b}$:

- Có độ lớn: $b = k.a$ (T.VIII-4)
- Cùng phương chiều với $\vec{a}$ nếu $k > 0$, ngược chiều với $\vec{a}$ nếu $k < 0$.
- Nếu k là đại lượng vật lý thì $\vec{a}$ và $\vec{b}$ khác tính chất. Ví dụ: $\vec{F} = m\vec{a}$

5/. Chia véctơ với đại lượng vô hướng k

Chia véctơ $\vec{a}$ với một đại lượng vô hướng k là một véctơ $\vec{b}$.

$$\vec{b} = \frac{1}{k}\,\vec{a}$$

Véctơ $\vec{b}$:

- Có độ lớn: $b = \frac{1}{k}.a$ (T.VIII-5)
- Cùng phương chiều với $\vec{a}$ nếu $k > 0$, ngược chiều với $\vec{a}$ nếu $k < 0$.
- Nếu k là đại lượng vật lý thì $\vec{a}$ và $\vec{b}$ khác tính chất. Ví dụ: $\vec{a} = \frac{1}{m}\vec{F}$

6/. Tích có hướng hai véctơ (tích véctơ)- tích chéo (×).

Tích hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ là một véctơ $\vec{d}$.

$$\vec{d} = \vec{a} \times \vec{b}$$

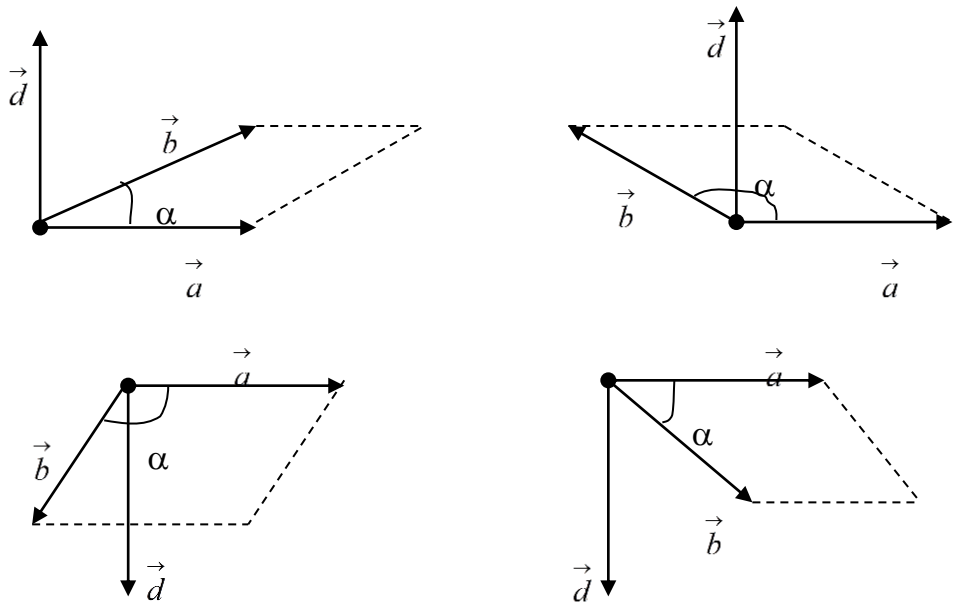
Véctơ $\vec{d}$:

- Có độ lớn: d = a.b.sin α (T.VIII-6)

  với α = ($\vec{a}$, $\vec{b}$) là góc nhỏ hợp bởi ($\vec{a}$ và $\vec{b}$), α < 180^o

- Có phương: $\vec{d} \perp \vec{a}$ và $\vec{d} \perp \vec{b}$
- Có chiều xác định theo qui tắc bàn tay phải: đặt bàn tay phải theo véctơ thứ nhất $\vec{a}$, lòng bàn tay nhìn về véctơ thứ hai $\vec{b}$ theo góc α < 180^0 chiều ngón cái dang ra là chiều của $\vec{d}$
- Tích hai véctơ không có tính giao hoán: $\vec{a} \times \vec{b} = - \vec{b} \times \vec{a}$

Bốn hình vẽ sau mặt phẳng tạo bởi hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$ vuông góc với mặt phẳng hình vẽ (mặt phẳng tờ giấy).



Chú ý: Khi trình bày sinh viên thường hay lẫn lộn giữa hai ký hiệu tích chấm (.) và tích chéo **(×).**

7/. Công thức tích hợp

$$\vec{a} \times \vec{b} \times \vec{c} = \vec{b}.(\vec{a}.\vec{c}) - \vec{c}.(\vec{a}.\vec{b}) \qquad \text{(T.VIII-7)}$$

8/. $\vec{a}.d\vec{a} = ada$

Chứng minh:

Đối với một véctơ $\vec{a}$ bất kì. Ta có: $\vec{a}.\vec{a} = a^2$

Lấy vi phân hai vế: $d\vec{a}.\vec{a} + \vec{a}.d\vec{a} = 2ada$

Vì tích vô hướng hai véctơ có tính giao hoán, nên: $d\vec{a}.\vec{a} = \vec{a}.d\vec{a}$.

Vậy: $2\vec{a}.d\vec{a} = 2ada$

Suy ra: $\vec{a}.d\vec{a} = ada$ (đpcm) (T.VIII-8)

9/. Đạo hàm theo thời gian một véctơ có độ lớn không đổi là một véctơ vuông góc với chính nó.

Ta có một véctơ $\vec{a}$ có độ lớn không đổi: a = const. Vậy:

$\vec{a}.\vec{a} = a^2 = const$

Đạo hàm hai vế theo thời gian: $\frac{d\vec{a}}{dt}.\vec{a} + \vec{a}.\frac{d\vec{a}}{dt} = 0$

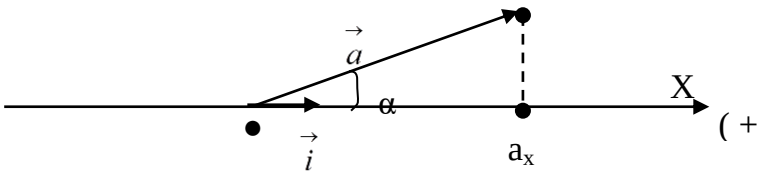
Vì tích vô hướng hai véctơ có tính giao hoán, nên: $\frac{d\vec{a}}{dt}.\vec{a} = \vec{a}.\frac{d\vec{a}}{dt}$.

Vậy: $2\vec{a}.\frac{d\vec{a}}{dt} = 0$ Hay: $\vec{a}.\frac{d\vec{a}}{dt} = 0$. Suy ra : $\vec{a} \perp \frac{d\vec{a}}{dt}$ (đpcm) (T.VIII-9)

10/ Hình chiếu của một véctơ lên một trục

Ta có một trục tọa độ $\overrightarrow{OX}$ với $\vec{i}$ là véctơ đơn vị trên trục $\overrightarrow{OX}$, có phương trùng với phương của trục $\overrightarrow{OX}$, có chiều cùng chiều đương (+) của trục $\overrightarrow{OX}$, có độ lớn $\left|\vec{i}\right| = 1$.

Ta có một véctơ $\vec{a}$ hợp với trục $\overrightarrow{OX}$ một góc α.



Hình chiếu của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OX}$ là đại lượng a_x được định nghĩa:

$a_x = a\,coc\alpha$ (T.VIII-10)

Với a là độ lớn của véctơ $\vec{a}$.

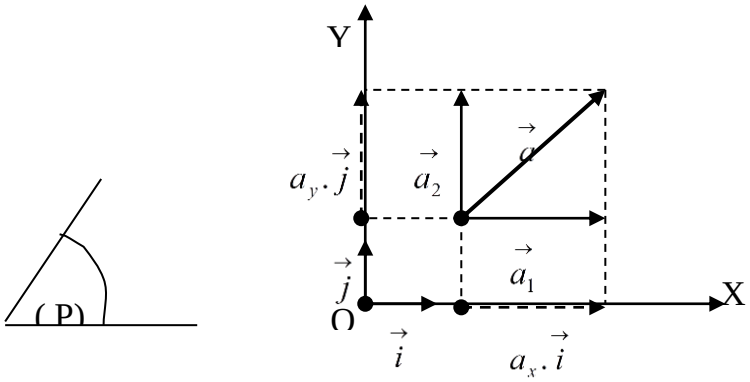
Hình chiếu a_x của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OX}$ là đại lượng đại số :

- Nếu góc $\alpha < 90^0$: góc nhọn thì $a_x > 0$
- Nếu góc $\alpha > 90^0$: góc tù thì $a_x < 0$
- Nếu góc $\alpha = 90^0$: góc vuông thì $a_x = 0$

Thành phần của véctơ $\vec{a}$ theo trục $\overrightarrow{OX}$ là véctơ : $a_x.\vec{i}$

11/ Biểu điễn véctơ qua các hình chiếu của nó lên các trục tọa độ

Ta có một véctơ $\vec{a}$ nằm trong mặt phẳng (P). Trong mặt phẳng (P) ta thiết lập hệ trục tọa độ Descartes OXY, $\vec{i}$ là véctơ đơn vị trên trục $\overrightarrow{OX}$ và $\vec{j}$ là véctơ đơn vị trên trục $\overrightarrow{OY}$ (xem hình vẽ)



Từ hình vẽ ta có: $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$

Vì $\vec{a}_1 = a_x \vec{i}$ và $\vec{a}_2 = a_y \vec{j}$, nên:

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} \qquad \text{(T.VIII-11)}$$

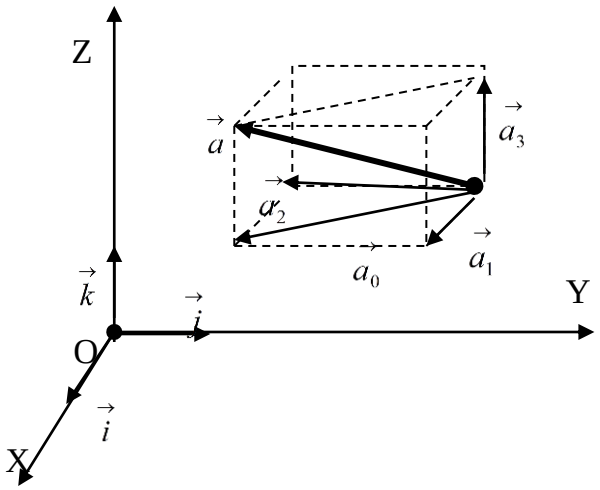
Trong đó a_x là hình chiếu của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OX}$ và a_y là hình chiếu của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OY}$.

Như vậy theo biểu thức (1) ta có thể biểu diễn một véctơ $\vec{a}$ bất kì qua các hình chiếu của nó lên các trục tọa độ $\overrightarrow{OX}$ và $\overrightarrow{OY}$.

Từ hình vẽ và áp dụng định lý Pitago ta suy ra được biểu thức tính độ lớn a của véctơ $\vec{a}$ theo các hình chiếu a_x và a_y của véctơ $\vec{a}$.

$$a^2 = a_x^2 + a_y^2 \qquad \text{(T.VIII-12)}$$

Bằng cách tương tự ta cũng có thể biểu diễn một véctơ $\vec{a}$ bất kì qua các hình chiếu của nó lên các trục tọa độ: $\overrightarrow{OX}$, $\overrightarrow{OY}$ và $\overrightarrow{OZ}$ của hệ trục tọa độ Descartes OXYZ. Với: $\vec{k}$ là véctơ đơn vị trên trục $\overrightarrow{OZ}$ và a_z là hình chiếu của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OZ}$.



Từ hình vẽ ta có:

$$\vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}_3 \text{ và } \vec{a}_0 = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$$

Suy ra: $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3$

Vì: $\vec{a}_1 = a_x \vec{i}$, $\vec{a}_2 = a_y \vec{j}$ *và* $\vec{a}_3 = a_z \vec{k}$, nên:

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \qquad \text{(T.VIII-13)}$$

Từ hình vẽ và áp dụng định lý Pytago ta suy ra được biểu thức tính độ lớn a của véctơ $\vec{a}$ theo các hình chiếu a_x , a_y và a_z của véctơ $\vec{a}$.

$$a^2 = a_0^2 + a_3^2 \text{ và } a_0^2 = a_1^2 + a_2^2$$

Suy ra: $a^2 = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2$

Vì: $a_1^2 = a_x^2$, $a_2^2 = a_y^2$ *và* $a_3^2 = a_z^2$, nên:

$$a^2 = a_x^2 + a_y^2 + a_z^2 \qquad \text{(T.VIII.14)}$$

Như vậy bất kì một đại lượng véctơ nào cũng có thể biểu điễn qua các hình chiếu của nó trong hệ tọa độ Descartes như biểu thức (T.VIII-13) và độ lớn của nó được xác định theo biểu thức (T.VIII-14).

12/ Các phép tính véctơ trong hệ tọa độ Descartes

Với $\vec{i}$, $\vec{j}$ và $\vec{k}$ là véctơ đơn vị theo các trục tọa độ $\overrightarrow{OX}$, $\overrightarrow{OY}$ và $\overrightarrow{OZ}$ thì:

- $\vec{i} \cdot \vec{i} = \vec{j} \cdot \vec{j} = \vec{k} \cdot \vec{k} = 1$ (T.VIII-15)
- $\vec{i} \cdot \vec{j} = \vec{j} \cdot \vec{k} = \vec{k} \cdot \vec{i} = 0$ (T.VIII-16)
- $\vec{i} \times \vec{i} = \vec{j} \times \vec{j} = \vec{k} \times \vec{k} = 0$ (T.VIII-17)
- $\vec{i} \times \vec{j} = \vec{k}$; $\vec{j} \times \vec{k} = \vec{i}$; $\vec{k} \times \vec{i} = \vec{j}$ (T.VIII-18)

a/ Cộng hai véctơ

$$\vec{c} = \vec{a} + \vec{b} = (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}) + (b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k})$$

$$\vec{c} = (a_x + b_x)\vec{i} + (a_y + b_y)\vec{j} + (a_z + b_z)\vec{k}$$

Suy ra: $c_x = a_x + b_x$; $c_y = a_y + b_y$, $c_z = a_z + b_z$

Ta có công thức tính độ lớn c của véctơ $\vec{c}$ trong hệ tọa độ Descartes OXYZ

$$c^2 = c_x^2 + c_y^2 + c_z^2 = (a_x + b_x)^2 + (a_y + b_y)^2 + (a_z + b_z)^2$$

(T.VIII-19)

b/ Tích vô hướng hai véctơ

$$A = \vec{a} \cdot \vec{b} = (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}) \cdot (b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k})$$

Suy ra: $A = \vec{a} \cdot \vec{b} = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z$ (T.VIII-20)

c/Tích hai véctơ

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k}) \times (b_x \vec{i} + b_y \vec{j} + b_z \vec{k})$$

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix} = (a_y b_z - b_y a_z)\vec{i} + (a_z b_x - b_z a_x)\vec{j} + (a_x b_y - b_x a_y)\vec{k}$$

Ta có công thức tính độ lớn c của véctơ $\vec{c}$ trong hệ tọa độ Descartes OXYZ

$$c^2 = (a_y b_z - b_y a_z)^2 + (a_z b_x - b_z a_x)^2 + (a_x b_y - b_x a_y)^2$$ (T.VIII-21)

d/ Div véctơ

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

$$div \vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$ (T.VIII-22)

e/ Rot véctơ

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

$$rot \vec{A} = \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}\right)\vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}\right)\vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right)\vec{k}$$ (T.VIII-23)

CHƯƠNG 1: CƠ HỌC

I. Động học

I.1. Các khái niệm mở đầu

I.1.1. Chuyển động cơ học

Chuyển động cơ học của một vật là sự thay đổi **vị trí** của một vật này đối với một vật khác trong không gian theo thời gian.

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị đo thời gian là giây (s), đơn vị đo chiều dài là mét (m).

Câu hỏi: Phát biểu sau đúng hay sai? Giải thích.

*Chuyển động cơ học của một vật là sự thay đổi **khoảng cách** của một vật này đối với một vật khác trong không gian theo thời gian.*

I.1.2. Qũy đạo

Quỹ đạo là quỹ tích của những vị trí của vật trong không gian hay là "đường đi" của vật trong không gian.

I.1.3. Hệ qui chiếu

Hệ qui chiếu O là một vật hay một hệ vật được qui ước đứng yên, để làm mốc khảo sát chuyển động của một vật khác. Người ta gắn vào hệ qui chiếu O một hệ toạ độ để xác định vị trí M của vật trong không gian và một đồng hồ để xác định thời gian.

Phân tích:

Chuyển động cơ học của một vật mang tính chất tương đối. Đứng trên các hệ qui chiếu khác nhau cùng khảo sát chuyển động một vật sẽ thấy vật chuyển động khác nhau.

I.1.4. Chất điểm

Chất điểm là vật có kích thước nhỏ không đáng kể so với khoảng cách từ nó đến hệ qui chiếu O. Như vậy việc biểu diễn một vật bằng khái niệm chất điểm mang tính chất tương đối.

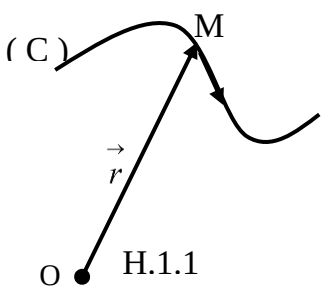
Khi biểu diễn vật bằng khái niệm chất điểm thì hình dạng và kích thước của vật không ảnh hưởng đến chuyển động của vật.

Khi khảo sát *chuyển động quay* của một vật, không thể biểu diễn vật bằng khái niệm chất điểm.

Khi khảo sát *chuyển động tịnh tiến* của một vật, có thể biểu diễn vật bằng khái niệm chất điểm.

I.2. Các phương pháp xác định ví trí của chất điểm

I.2.1. Vectơ vị trí $\vec{r}$



H.1.1

Một chất điểm M chuyển động trên một quỹ đạo cong (C) (H.1.1). Để xác định vị trí của chất điểm M, từ hệ qui chiếu O người ta vẽ một véctơ $\vec{r}$ đến chất điểm M, véctơ $\vec{r}$ được gọi là **véctơ vị trí,** còn gọi là bán kính véctơ.

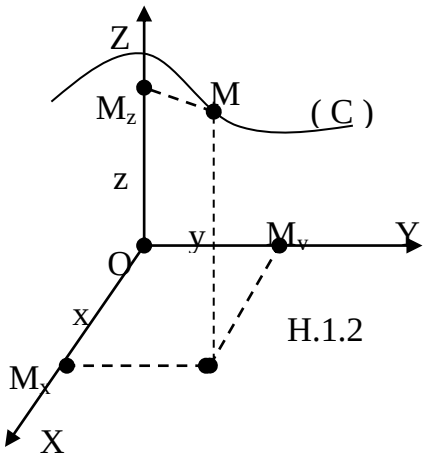
Khi chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo véctơ vị trí $\vec{r}$ thay đổi theo thời gian t.

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \qquad (1\text{-}1)$$

Biểu thức (1-1) được gọi là phương trình chuyển động của chất điểm.

I.2.2. Tọa độ Descartes OXYZ

Để xác định vị trí của chất điểm M, người ta gắn vào hệ qui chiếu O một hệ trục tọa độ Descartes OXYZ.



H.1.2

Trên hình vẽ (H.1.2):

- M_z là hình chiếu của chất điểm M lên trục OZ có tọa độ z.
- M_x là hình chiếu của chất điểm M lên trục OX có tọa độ x.
- M_y là hình chiếu của chất điểm M lên trục OY có tọa độ y.

Như vậy vị trí của chất điểm M được xác định bởi ba tọa độ: x, y, z.

Khi chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo (C) thì các hình chiếu M_x, M_y và M_z của chất điểm M chuyển động trên các trục OX, OY và OZ. Khi đó các tọa độ x,y,z của chất điểm M là hàm của thời gian t.

$$\left.\begin{aligned} x &= f(t) \\ y &= g(t) \\ z &= h(t) \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}2)$$

Trong đó x = f(t), y = g(t) và z = h(t) là phương trình chuyển động của các hình chiếu M_x, M_y và M_z trên các trục OX, OY và OZ.

Hệ phương trình (1-2) còn được gọi là phương trình quỹ đạo tham số t.

Biết phương trình (1-2) có thể suy ra phương trình quỹ đạo của chất điểm.

<u>Bài tập 1.1</u>:

Bài a: Một chất điểm M chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình quỹ đạo tham số t:

x = 5 sin 2t (m) (1)

y = 5 cos 2t (m) (2)

Hãy xác định hình dạng quỹ đạo của chất điểm M.

Bài b: Một chất điểm M chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình quỹ đạo tham số t:

$x = -4t^2 + 8t$ (m) (1)

$y = -3t^2 + 6t$ (m) (2)

Hãy xác định hình dạng quỹ đạo của chất điểm M.

Bài c: Một chất điểm M chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình quỹ đạo tham số t:

$x = 10t$ (m) (1)

$y = -5t^2 + 20t$ (m) (2)

Hãy xác định hình dạng quỹ đạo của chất điểm M.

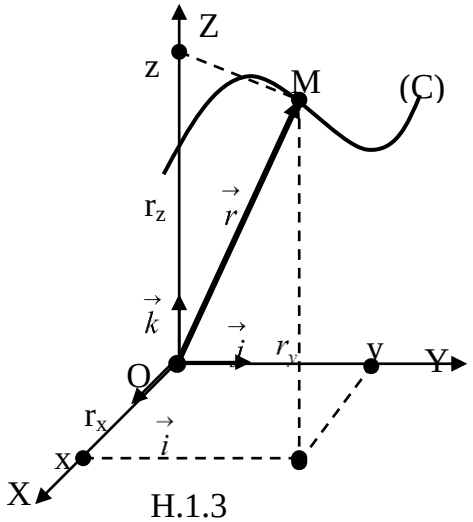
Hướng dẫn giải: Thiết lập mối quan hệ hàm giữa y và x bằng cách khử t.

Bài a: Bình phương hai vế (1) và (2), rồi cộng lại, ta được: $x^2 + y^2 = 5^2$: Quỹ đạo của chất điểm M là đường tròn bán kính R = 5 m

Bài b: Nhân (1) với 3 và nhân (2) với - 4, rồi cộng lại, ta được: $y = \frac{3}{4}x$: Quỹ đạo của chất điểm M là đường thẳng.

Bài c: Từ (1) suy ra t, thế t vào (2), ta được: $y = -\frac{x^2}{20} + 2x$: Quỹ đạo của chất điểm M là đường cong parabol.

I.2.3. Quan hệ giữa véctơ vị trí $\vec{r}$ và tọa độ của chất điểm M (x,y,z) trong hệ tọa độ Descartes OXYZ



H.1.3

Từ hệ qui chiếu O người ta vẽ véctơ vị trí $\vec{r}$ đến chất điểm M. (H.1.3)

Theo toán học véctơ vị trí $\vec{r}$ được biểu diễn trong hệ tọa độ OXYZ như sau:

$$\vec{r} = r_x \vec{i} + r_y \vec{j} + r_z \vec{k} \quad (1)$$

Trong đó:

- r_x , r_y , r_z là hình chiếu của véctơ vị trí $\vec{r}$ lên các trục OX, OY, OZ.
- $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ là các véctơ đơn vị trên các trục OX, OY, OZ.

Từ hình vẽ (H.1.3) ta có:

$$\left.\begin{aligned} r_x &= x \\ r_y &= y \\ r_z &= z \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Từ (1) và (2) ta suy ra véctơ vị trí $\vec{r}$ được biểu diễn trong hệ tọa độ Descartes OXYZ như sau:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \qquad (1\text{-}3)$$

I.2.4. Tọa độ thẳng x và tọa độ cong s

I.2.4.1. Tọa độ thẳng x

Trong trường hợp chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo thẳng. Ngoài hai phương pháp chung là véctơ vị trí $\vec{r}$ và tọa độ Descartes M (x,y,z) để xác định vị trí chất điểm, chúng ta còn có thể xác định vị trí chất điểm M bằng phương pháp đơn giản hơn: phương pháp tọa độ thẳng x.

Trong phương pháp tọa độ thẳng x hệ qui chiếu O được đặt trên quỹ đạo và thiết lập trục $\vec{OX}$ theo quỹ đạo có chiều dương (+) chọn tùy ý. (H.1.4)

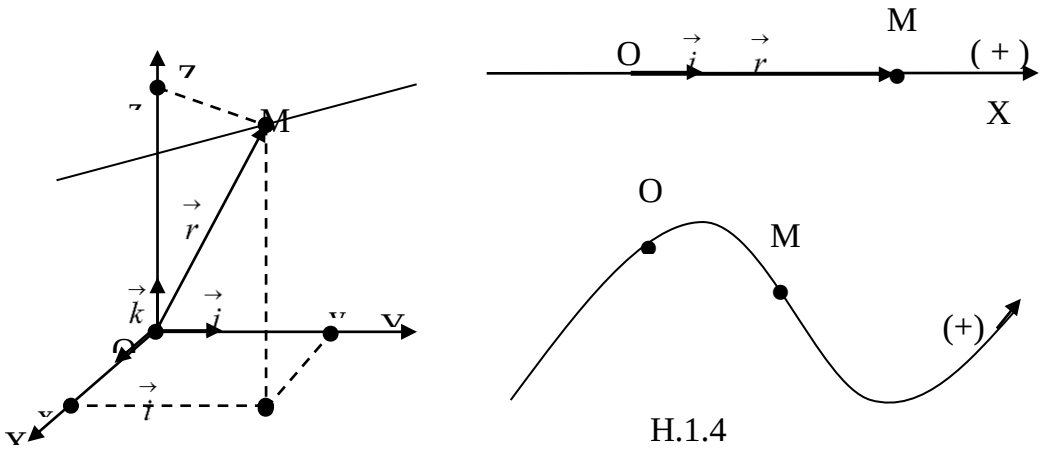
Khi đó y = 0 và z = 0 và từ (1-3) vị trí chất điểm M được xác định:

$$\vec{r} = x\,\vec{i} \qquad (1\text{-}4)$$

Với $\vec{i}$ là véctơ đơn vị trên quỹ đạo và cùng chiều (+) của quỹ đạo.

Trong (1-4) x được gọi là tọa độ thẳng, nó là đại lượng đại số, trước chữ số của tọa độ x phải có dấu (+) hay dấu trừ (-)

Ví dụ: x = + 5 (m) hay x = - 5 (m) .



H.1.4

Khi chất điểm M chuyển động, tọa độ thẳng x là hàm của thời gian t.

$$x = f(t) \qquad (1\text{-}5)$$

Biểu thức (1-5) được gọi là phương trình chuyển động của chất điểm M.

Phương trình chuyển động của chất điểm cho biết quy luật chuyển động của chất điểm trên quỹ đạo.

I.2.4.2. Tọa độ cong s

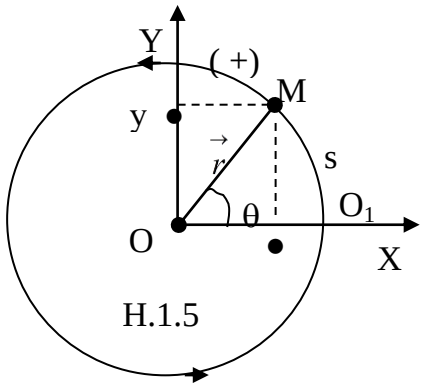
Trường hợp chất điểm chuyển động trên quỹ đạo cong, tương tự như tọa độ thẳng x, chúng ta cũng có thể xác định vị trí của chất điểm M trên quỹ đạo bằng tọa độ cong s, với s là khoảng cách từ hệ qui chiếu O đến chất điểm M theo quỹ đạo. (H.1.4)

Khi chất điểm M chuyển động tọa độ cong s là hàm của thời gian t.

$$s = f(t) \qquad (1\text{-}6)$$

Biểu thức (1-6) được gọi là phương trình chuyển động của chất điểm M.

I.2.4.3. Tọa độ góc θ



H.1.5

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo tròn bán kính r.

Nếu đặt hệ qui chiếu O tại tâm quỹ đạo, chúng ta có thể xác định vị trí chất điểm M bằng ve-tơ vị trí $\vec{r}$ hay tọa độ Descartes M (x,y).

Nếu đặt hệ qui chiếu O_1 trên quỹ đạo, chúng ta có thể xác định vị trí chất điểm M bằng tọa độ cong s.

Ngoài những phương pháp xác định vị trí của chất điểm M nêu trên. Chúng ta còn có thể xác định vị trí chất điểm M bằng tọa độ góc θ. (H.1.5).

Tọa độ góc θ có đơn vị : rad

Từ hình (H.1.5) và theo toán học, ta có:

$$s = r.\theta \qquad (1\text{-}7)$$

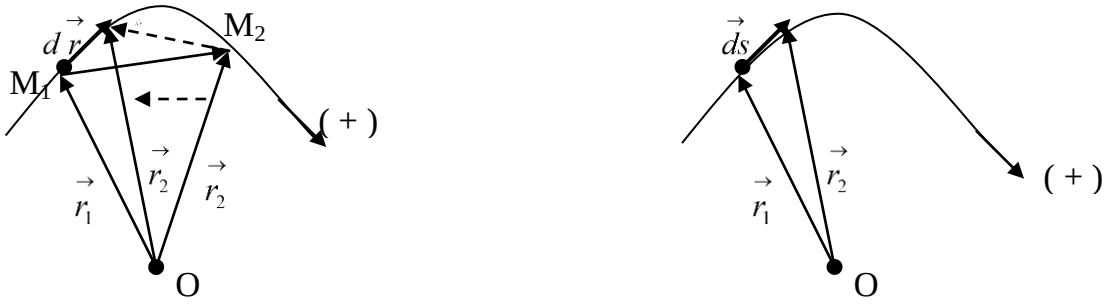
Khi chất điểm M chuyển động θ thay đổi theo thời gian t.

$$\theta = \theta\,(t) \qquad (1\text{-}8)$$

Biểu thức (1-8) được gọi là phương trình chuyển động của chất điểm M.

Biết phương trình chuyển động (1-8) của chất điểm. Ta có thể tính được vận tốc góc ω và gia tốc góc β của chất điểm M trong chuyển động tròn.

I.2.4.4. Véctơ dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$



H.1.6

Trong khoảng thời gian $dt = t_2 - t_1$ rất nhỏ ($dt \rightarrow 0$) chất điểm M dịch chuyển một đoạn rất ngắn ds trên quỹ đạo. Trên ds, ta thiết lập véctơ $\vec{ds}$ cùng chiều chuyển động với chất điểm M. Véctơ $\vec{ds}$ được gọi là véctơ dịch chuyển vi phân của chất điểm M (H.1.6).

Chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo cong. Tại thời điểm t_1 chất điểm M ở vị trí M_1 được xác định bằng véctơ vị trí $\vec{r}_1$. Tại thời điểm t_2 chất điểm M ở vị trí M_2 được xác định bằng véctơ vị trí $\vec{r}_2$.

Véctơ $\overrightarrow{M_1M_2}$ nối từ điểm M_1 đến điểm M_2 được gọi là ***véctơ dịch chuyển*** của chất điểm M trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$.

Từ hình vẽ (H.1.6) ta có:

$$\vec{r}_2 = \vec{r}_1 + \overrightarrow{M_1M_2}$$

Hay: $\overrightarrow{M_1M_2} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta\vec{r}$

Với: $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ là độ biến thiên của véctơ vị trí $\vec{r}$.

Như vậy véctơ dịch chuyển của chất điểm bằng độ biến thiên của véctơ vị trí $\vec{r}$.

Nếu $\Delta t \to dt \to 0$ thì $\overrightarrow{M_1M_2} \to \vec{ds}$ và $\Delta\vec{r} \to d\vec{r}$

Như vậy khi $dt \to 0$ thì:

$$\overrightarrow{M_1M_2} = \vec{ds} = d\vec{r} \qquad (1\text{-}9)$$

I.3. Vận tốc

I.3.1. Định nghĩa véctơ vận tốc $\vec{v}$

Tại thời điểm t_1 vị trí chất điểm M được xác định bằng véctơ vị trí $\vec{r}_1$. Tại thời điểm t_2 vị trí chất điểm M được xác định bằng véctơ vị trí $\vec{r}_2$. Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ véctơ vị trí $\vec{r}$ biến thiên một lượng $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$.

Để đặt trưng cho mức độ nhanh chậm và phương chiều chuyển động của chất điểm M tại từng thời điểm t, người ta dùng khái niệm ***véctơ vận tốc*** $\vec{v}$ ***được định nghĩa bằng đạo hàm của véctơ vị trí*** $\vec{r}$ ***theo thời gian t.***

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Vậy: $$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \qquad (m/s) \qquad (1\text{-}10)$$

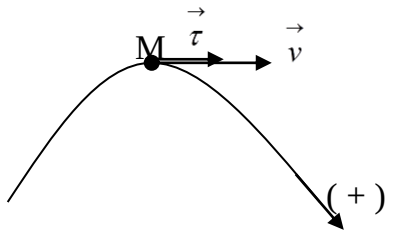
Véctơ vận tốc $\vec{v}$: Có phương trùng với phương tiếp tuyến của quỹ đạo, có chiều cùng với chiều chuyển động của chất điểm M.

Từ (1-9): $\vec{ds} = d\vec{r}$ và (1-10) ta suy ra:

$$\vec{v} = \frac{\vec{ds}}{dt} \qquad (1\text{-}11)$$

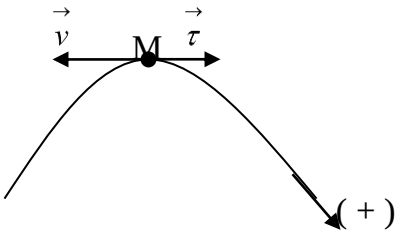
Nhận xét: Trong biểu thức (1-10) véctơ vận tốc $\vec{v}$ bằng ***đạo hàm*** véctơ vị trí $\vec{r}$ theo thời gian t. Còn biểu thức (1-11) véctơ vận tốc $\vec{v}$ bằng véctơ dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ ***chia*** thời gian vi phân dt.

I.3.2. Vận tốc tức thời và tốc độ tức thời



Chất điểm M chuyển động theo chiều dương (+) quỹ đạo

H.1.7



Chất điểm M chuyển động theo chiều âm (-) quỹ đạo

Ta có thể viết véctơ vận tốc $\vec{v}$ như sau:

$$\vec{v} = v\vec{\tau} \qquad (1\text{-}12)$$

Với:

- $\vec{\tau}$ là véctơ tiếp tuyến đơn vị: có phương tiếp tuyến với quỹ đạo, có chiều ***cùng với chiều dương (+) quỹ đạo***, có độ lớn hay môđun $\left|\vec{\tau}\right| = 1$. Xem hình (H.1.7)
- Nếu chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo thẳng $\vec{OX}$ thì $\vec{\tau}$ trùng với $\vec{i}$.
- v là ***vận tốc tức thời*** của chất điểm M, thường được gọi đơn giản là ***vận tốc***: Nếu $v > 0$ thì $\vec{v}$ và $\vec{\tau}$ cùng chiều, chất điểm chuyển động theo chiều dương (+) quỹ đạo. Nếu $v < 0$ thì $\vec{v}$ và $\vec{\tau}$ ngược chiều, chất điểm chuyển động theo chiều âm (-) quỹ đạo. Xem hình (H.1.7)
- Độ lớn hay môđun của véctơ vận tốc $\vec{v}$ được gọi là ***tốc độ tức thời*** của chất điểm M, thường gọi đơn giản là ***tốc độ:*** $\left|\vec{v}\right| = |v|.\left|\vec{\tau}\right| = |v|$, vì $\left|\vec{\tau}\right| = 1$. Như vậy tốc độ bằng độ lớn hay mô-đun của véctơ vận tốc $\vec{v}$ hay bằng giá trị tuyệt đối của vận tốc v
- Tốc độ của chất điểm được ký hiệu: $\left|\vec{v}\right|$ *hay* $|v|$

Chuyển động đều là chuyển động có **tốc độ** $|v|$ không thay đổi theo thời gian .

Chuyển động nhanh dần là chuyển động có **tốc độ** $|v|$ tăng theo thời gian.

Chuyển động chậm dần là chuyển động có **tốc độ** $|v|$ giảm theo thời gian.

Chú ý: Khi viết vận tốc tức thời v trước chữ số phải có dấu (+) hay dấu (-). Dấu (+) xác định chất điểm chuyển động theo chiều dương (+) quỹ đạo. Dấu trừ (-) xác định chất điểm chuyển động theo chiều (-) quỹ đạo. Ví dụ: v = + 5 (m/s) hay v = - 5 (m/s). Cả hai trường hợp đều có tốc độ $|v|$ = 5 (m/s). **Kim chỉ trên tốc kế của xe máy hay Ô-tô là tốc độ $|v|$.**

I.3.3. Véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong tọa độ Descartes

Từ (1-3): $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ và (1-10): $\vec{v} = \dfrac{d\vec{r}}{dt}$ ta suy ra:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x.\vec{i} + y\vec{j} + z.\vec{k}) = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} \qquad (1)$$

Theo toán học véctơ vận tốc $\vec{v}$ cũng được biểu diễn trong hệ tọa độ Descartes OXYZ như sau:

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} \qquad (1\text{-}13)$$

Trong đó: v_x, v_y , v_z là hình chiếu của véctơ vận tốc $\vec{v}$ lên ba trục toạ độ OXYZ

So sánh (1) và (1-13) ta suy ra :

$$\left.\begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt} \\ v_y &= \frac{dy}{dt} \\ v_z &= \frac{dz}{dt} \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}14)$$

Theo toán học ta có tốc độ của chất điểm M:

$$|\vec{v}| = |v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \qquad (1\text{-}15)$$

<u>Bài tập 1.2</u>:

Một chất điểm M chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình quỹ đạo tham số t:

x = $-4t^2 + 8t$ (m) (1)

y = $-3t^2 + 6t$ (m) (2)

1) Hãy viết véctơ vị trí $\vec{r}$ của chất điểm M trong tọa độ OXY
2) Tìm phương trình quỹ đạo của chất điểm M
3) Hãy viết véctơ vận tốc $\vec{v}$ của chất điểm M trong tọa độ OXY

4) Tính tốc độ $|v|$ của chất điểm M tại thời điểm t = 0

5) Tìm vị trí của chất điểm M khi tốc độ $|v|$ của chất điểm bằng 0

I.3.4. Vận tốc v theo tọa độ thẳng x

I.3.4.1. Vận tốc v

Từ (1-4) $\vec{r}$ = x $\vec{i}$ và (1-10): $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ ta suy ra:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d}{dt}(x.\vec{i}) = \frac{dx}{dt}.\vec{i} \qquad (1)$$

So sánh (1-12): $\vec{v}$ = v$\vec{\tau}$ = v$\vec{i}$ và (1) ta suy ra: vận tốc v của chất điểm M trong chuyển động thẳng.

$$v = \frac{dx}{dt} \qquad \text{(m/s)} \qquad (1\text{-}16)$$

Vậy vận tốc v của chất điểm M trong chuyển động thẳng bằng đạo hàm tọa độ thẳng x theo thời gian t.

Vận tốc v trong chuyển động thẳng phản ảnh mức độ nhanh chậm và chiều chuyển động của chất điểm tại từng thời điểm trên quỹ đạo thẳng.

I.3.4.2. Vận tốc trung bình $\bar{v}$ và tốc độ trung bình $\bar{s}$

I.3.4.2.a. Vận tốc trung bình $\bar{v}$

Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo thẳng. Tại thời điểm t_1 chất điểm có tọa độ x_1 , tại thời điểm t_2 chất điểm có tọa độ x_2. Độ dịch chuyển Δx của chất điểm trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ được định nghĩa: $\Delta x = x_2 - x_1$

Vận tốc trung bình của chất điểm được định nghĩa:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \text{(m/s)} \qquad (1\text{-}17)$$

Vận tốc trung bình $\bar{v}$ là đại lượng đại số.

Trong trường hợp tổng quát vận tốc trung bình $\bar{v}$ không đặc trưng cho mức độ nhanh chậm và chiều chuyển động của chất điểm trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$.

I.3.4.2.b. Tốc độ trung bình $\bar{s}$

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo thẳng. Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ chất điểm chuyển động được một đoạn đường L. Tốc độ trung bình $\bar{s}$ của chất điểm được định nghĩa:

$$\bar{s} = \frac{L}{\Delta t} \qquad \text{(m/s)} \qquad (1\text{-}18)$$

Tốc độ trung bình $\bar{s}$ của chất điểm là đại lượng luôn luôn dương.

Tốc độ trung bình $\bar{s}$ của chất điểm đặc trưng cho đoạn đường trung bình chất điểm đi được trong một đơn vị thời gian (giây-s)

Nếu trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ chất điểm **chỉ** chuyển động theo chiều dương (+) hay **chỉ** chuyển động theo chiều âm (-) của quỹ đạo, thì $L = |\Delta x|$. Trong trường hợp này tốc độ trung bình bằng giá trị tuyệt đối của vận tốc trung bình: $\bar{s} = |\bar{v}|$

<u>Bài tập 1.3</u>:

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo thẳng $\overrightarrow{OX}$ có phương trình chuyển động: $x = 4t^2 - 8t$ (m).

1) Tìm vận tốc v của chất điểm
2) Tìm vận tốc trung bình $\bar{v}$ của chất điểm M chuyển động từ thời điểm $t_0 = 0$ đến thời điểm $t_2 = 2s$
3) Tìm tốc độ trung bình $\bar{s}$ của chất điểm M chuyển động từ thời điểm $t_0 = 0$ đến thời điểm $t_2 = 2s$

Phương pháp giải

1/ Tìm vận tốc v của chất điểm

Ta có vận tốc v của chất điểm:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(4t^2 - 8t) = 8t - 8$$

$v = 8t - 8$ (m/s)

- Tại thời điểm $t_0 = 0$, chất điểm M ở gốc tọa độ $x_0 = 0$ và vận tốc $v_0 = -8$ m/s. Chất điểm M chuyển động theo chiều âm (-) quỹ đạo.
- Tại thời điểm $t_1 = 1s$, chất điểm m ở vị trí $x_1 = -4$ (m) và vận tốc $v_1 = 0$. Như vậy từ thời điểm $t_0 = 0$ đến $t_1 = 1$ s chất điểm M chuyển động chậm dần theo chiều âm (-) quỹ đạo.
- Tại thời điểm $t_2 = 2$ s, chất điểm M ở vị trí $x_2 = 0$ và vận tốc $v_2 = +8$ m/s. Như vậy tại thời điểm $t_1 = 1s$ chất điểm M đổi chiều chuyển động và chuyển động nhanh dần theo chiều dương (+) quỹ đạo.

2/ Tìm vận tốc trung bình $\bar{v}$ của chất điểm M chuyển động từ thời điểm $t_0 = 0$ đến thời điểm $t_2 = 2s$

- Tại thời điểm $t_0 = 0$: $x_0 = 4.0^2 - 8.0 = 0$
- Tại thời điểm $t_2 = 2s$: $x_2 = 4.2^2 - 8.2 = 0$
- Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_0 = 2 - 0 = 2s$, độ dịch cuyển của chất điểm $\Delta x = x_2 - x_0 = 0 - 0 = 0$

Vậy vận tốc trung bình $\bar{v}$ của chất điểm M trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_0 = 2s$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{0}{2} = 0$$

3/ **Tìm tốc độ trung bình $\bar{s}$ của chất điểm M chuyển động từ thời điểm $t_0 = 0$ đến thời điểm $t_2 = 2s$**

- Tại thời điểm $t_0 = 0$: $x_0 = 4.0^2 - 8.0 = 0$
- Tại thời điểm $t_1 = 1s$: $x_1 = 4.1^2 - 8.1 = -4$ (m)
- Tại thời điểm $t_2 = 2s$: $x_2 = 4.2^2 - 8.2 = 0$

Như vậy:

- Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_1 - t_0 = 1 - 0 = 1s$, độ dịch cuyển của chất điểm $\Delta x = x_1 - x_0 = -4 - 0 = -4$ (m) . Vậy khoảng đường chất điểm M dịch chuyển được: $L_1 = |\Delta x| = |-4| = 4$ (m)
- Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1 = 2 - 1 = 1s$, độ dịch cuyển của chất điểm $\Delta x = x_2 - x_1 = 0 - (-4) = 4$ (m) . Vậy khoảng đường chất điểm M dịch chuyển được: $L_2 = |\Delta x| = |4| = 4$ (m)
- Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_0 = 2 - 0 = 2s$, khoảng đường chất điểm M dịch chuyển được: $L = L_1 + L_2 = 4 + 4 = 8$ (m)

Tốc độ trung bình $\bar{s}$ của chất điểm M chuyển động từ thời điểm $t_0 = 0$ đến thời điểm $t_2 = 2s$ là:

$$\bar{s} = \frac{L}{\Delta t} = \frac{8}{2} = 4 \quad \text{(m/s)}$$

I.3.5. Vận tốc v theo tọa độ cong s

Tại thời điểm t_1 vị trí chất điểm M được xác định bằng tọa độ cong s_1. Tại thời điểm t_2 vị trí chất điểm M được xác định bằng tọa độ cong s_2. Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ tọa độ cong s biến thiên một lượng $\Delta s = s_2 - s_1$.

Vận tốc v của chất điểm M trong chuyển động cong được định nghĩa bằng đạo hàm tọa độ cong s theo thời gian.

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

Vậy: $$v = \frac{ds}{dt} \quad \text{(m/s)} \qquad (1\text{-}19)$$

Vận tốc v trong chuyển động cong phản ảnh mức độ nhanh chậm và chiều chuyển động của chất điểm tại từng thời điểm trên quỹ đạo cong.

I.3.6. Véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo tròn, có bán kính r.

Tại thời điểm t_1 vị trí chất điểm M được xác định bằng tọa độ góc θ_1. Tại thời điểm t_2 vị trí chất điểm M được xác định bằng tọa độ góc θ_2. Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ tọa độ góc θ biến thiên một lượng $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$.

Vận góc ω của chất điểm M trong chuyển động tròn được định nghĩa bằng đạo hàm tọa độ góc θ theo thời gian.

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

Vậy : $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ (rad/s) (1-20)

Từ (1-7): s = r.θ và (1-19) ta suy ra:

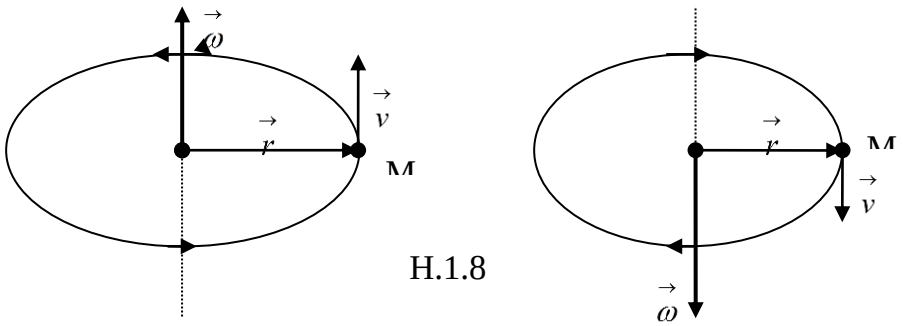
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dt}(r\theta) = r\frac{d\theta}{dt} = r\omega$$

$$v = r\omega \quad (1\text{-}21)$$

Biểu thức (1-21) thiết lập mối quan hệ giữa vận tốc v và vận tốc góc ω của chất điểm trong chuyển động tròn.

Người ta biểu diễn vận tốc góc ω bằng véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$:

- Có phương nằm trên trục quỹ đạo tròn.
- Có chiều được xác định theo qui tắc bàn tay phải: đặt bàn tay phải theo chiều chuyển động của chất điểm M, sao cho lòng bàn tay hướng vào tâm, chiều ngón cái dang ra là chiều của véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ (H.1.8).



H.1.8

Mặt phẳng của quỹ đạo tròn vuông góc với mặt tờ giấy.

Từ (1-21), hình vẽ (H.1.8) và tính chất tích (×) của hai véctơ ta suy ra:

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (1\text{-}22)$$

I.4. Gia tốc

I.4.1. Định nghĩa véctơ gia tốc $\vec{a}$

Tại thời điểm t_1 chất điểm M có véctơ vận tốc $\vec{v}_1$. Tại thời điểm t_2 chất điểm M có véctơ vận tốc $\vec{v}_2$. Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ véctơ vận tốc $\vec{v}$ biến thiên một lượng $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

Véctơ gia tốc $\vec{a}$ là đại lượng vật lí được dùng để đo độ biến thiên của véctơ vận tốc $\vec{v}$ theo thời gian, được định nghĩa bằng đạo hàm véctơ vận tốc $\vec{v}$ theo thời gian t.

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Vậy: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ (m/s^2) (1-23)

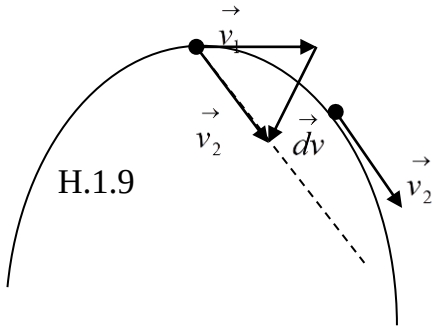
Từ (1-10): $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ và (1-23) ta suy ra:

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \quad (1\text{-}24)$$

Như vậy véctơ gia tốc $\vec{a}$ bằng đạo hàm bậc hai véctơ vị trí $\vec{r}$ theo thời gian t.

Véctơ gia tốc $\vec{a}$ có phương chiều hướng vào bề lõm quỹ đạo cong.

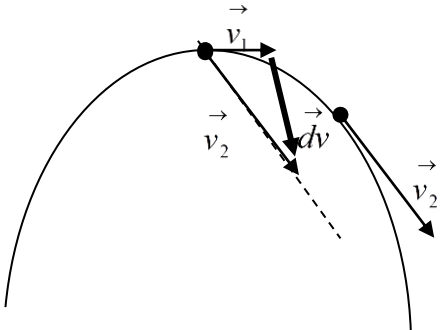
Phân tích minh họa:



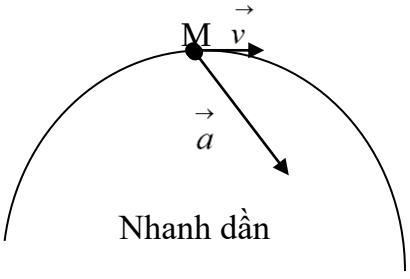
H.1.9

Tại thời điểm t_1 chất điểm có vận tốc $\vec{v}_1$, tại thời điểm t_2 chất điểm có vận tốc $\vec{v}_2$. Ta có độ biến thiên của véctơ vận tốc của chất điểm $d\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ trong khoảng thời gian $dt = t_2 - t_1$.

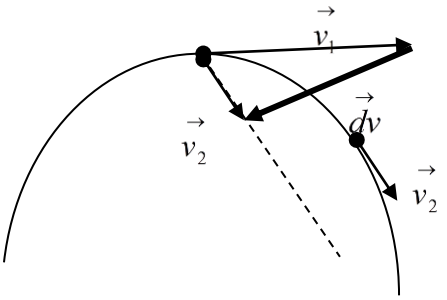
Theo hình vẽ (H.1.9) ta thấy $d\vec{v}$ có phương chiều hướng vào bề lõm quỹ đạo . Theo (1-23) véctơ gia tốc $\vec{a}$ cùng phương chiều với $d\vec{v}$. Nên véctơ gia tốc $\vec{a}$ có phương chiều hướng vào bề lõm quỹ đạo cong.



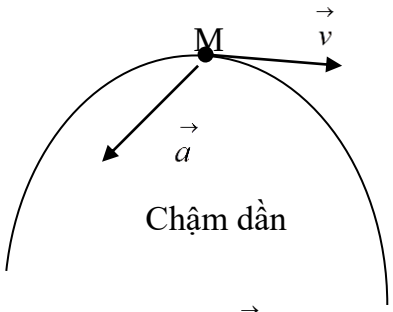
H.1.10



Chuyển động nhanh dần $\left|\vec{v}_2\right| > \left|\vec{v}_1\right|$ có véctơ gia tốc $\vec{a}$ hướng về phía trước theo chiều của véctơ vận tốc $\vec{v}$ (H.1.10).



H.1.11



Chuyển động chậm dần $\left|\vec{v}_2\right| < \left|\vec{v}_1\right|$ có véctơ gia tốc $\vec{a}$ hướng về phía sau ngược chiều với véctơ vận tốc $\vec{v}$ (H.1.11).

I.4.2. Véctơ gia tốc $\vec{a}$ trong tọa độ Descartes OXYZ

Từ (1-3): $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ và (1-24): $\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ ta suy ra:

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(x.\vec{i} + y\vec{j} + z.\vec{k}) = \frac{d^2x}{dt^2}.\vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2}.\vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2}.\vec{k} \qquad (1)$$

Theo toán học véctơ gia tốc $\vec{a}$ được biểu diễn trong hệ tọa độ Descartes OXYZ như sau:

$$\vec{a} = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} + a_z.\vec{k} \qquad (1\text{-}25)$$

Trong đó: a_x, a_y, a_z là hình chiếu của véctơ gia tốc $\vec{a}$ lên ba trục toạ độ OXYZ

So sánh (1) và (1-25) ta suy ra :

$$\left.\begin{aligned} a_x &= \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y &= \frac{d^2y}{dt^2} \\ a_z &= \frac{d^2z}{dt^2} \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}26)$$

Theo toán học ta có độ lớn hay mô-đun của véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M:

$$\left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2} \qquad (1\text{-}27)$$

Bài tập 1.4:

Một chất điểm M chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình quỹ đạo tham số t:

$x = 10\,t$ (m) (1)

$y = -5t^2 + 20t$ (m) (2)

1) Hãy viết véctơ vị trí $\vec{r}$ của chất điểm M trong tọa độ OXY
2) Hãy xác định hình dạng quỹ đạo của chất điểm M
3) Hãy viết véctơ vận tốc $\vec{v}$ của chất điểm M trong tọa độ OXY
4) Tính tốc độ $|v|$ của chất điểm M tại thời điểm t = 1s
5) Hãy viết véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M trong tọa độ OXY
6) Hãy tính độ lớn hay mô-đun của véctơ gia tốc $\vec{a}$
7) Hãy tính thời điểm t khi hai véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M vuông góc nhau

I.4.3. Gia tốc a theo tọa độ thẳng x

Trường hợp chất điểm chuyển động trên quỹ đạo thẳng. Chúng ta thiết lập trục $\overrightarrow{OX}$ theo quỹ đạo.

Từ (1-12): $\vec{v} = v\vec{\tau} = v\vec{i}$ và (1-23): $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ ta suy ra:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v\vec{i}) = \frac{dv}{dt}\vec{i} \quad (1)$$

Ta viết lại: $\vec{a} = a\vec{i}$ (2)

Với a được gọi là gia tốc của chất điểm M trong chuyển động thẳng

So sánh (1) và (2) ta suy ra:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (m/s^2) \qquad (1\text{-}28)$$

Từ (1-16): $v = \frac{dx}{dt}$ và (1-26) ta suy ra:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{dx}{dt}\right) = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (1\text{-}29)$$

Vậy trong chuyển động thẳng gia tốc a bằng đạo hàm bậc hai của tọa độ thẳng x theo thời gian.

<u>Bài tập 1.5</u>:

Bài a: Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo thẳng có phương trình chuyển động: $x = 2t^2 - 8t + 3$ (m).

1) Tính vận tốc v của chất điểm tại thời điểm t = 1s

2) Tính gia tốc a của chất điểm.

Hướng dẫn giải

1) Tính vận tốc v của chất điểm tại thời điểm t = 1s

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(2t^2 - 8t + 3) = 4t - 8 \quad (m/s)$$

v = 4.1 – 8 = - 4 (m/s): Chất điểm chuyển động theo chiều âm quỹ đạo

2) Tính gia tốc a của chất điểm.

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(4t - 8) = 4 \quad (m/s^2)$$

Hay:

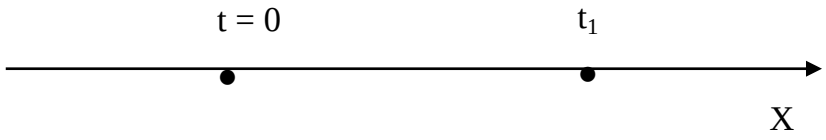
$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(2t^2 - 8t + 3) = 4 \quad (m/s^2)$$

Phương pháp: x → v → a: Cho x tìm v, tìm a hay cho v tìm a . Chúng ta dùng công cụ toán học đạo hàm

Bài b: Một chiếc xe chạy trên đường thẳng tại vị trí O thời điểm t = 0, người lái xe hãm phanh, vận tốc xe biến đổi theo qui luật: $v = 20 - \frac{4}{45}t^2$ (m/s).

Hãy tính đoạn đường L xe đi được kể từ lúc hãm phanh đến khi xe dừng lại.

Hướng dẫn giải



Ta có phương trình vận tốc của xe:

$$v = 20 - \frac{4}{45}t^2 \qquad (1)$$

Tại thời điểm t_1 xe dừng $v_1 = 0$:

$$v_1 = 20 - \frac{4}{45}t_1^2 = 0$$

Suy ra $t_1 = 15s$

Mặt khác ta có: $v = \frac{dx}{dt}$ (2)

Suy ra độ biến thiên tọa x: $dx = v\,dt$ (3)

Thế (1) vào (3) ta được:

$$dx = (20 - \frac{4}{45}t^2)\,dt = 20dt - \frac{4}{45}t^2\,dt \qquad (4)$$

Như vậy sau một khoảng thời gian dt xe đi được đoạn đường dx. Để tìm toạ độ x của xe ta lấy tích phân biểu thức (4).

$$\int dx = 20\int dt - \frac{4}{45}\int t^2 dt \qquad (5)$$

* *Ta lấy tích phân xác định biểu thức (5)*

Điều kiện đầu và cuối :

- t = 0 xe ở gốc tọa độ $x = x_0 = 0$. (cận dưới)
- $t = t_1 = 15s$ xe dừng ở vị trí $x = x_1$. (cận trên)

$$\int_0^{x_1} dx = 20\int_0^{t_1} dt - \frac{4}{45}\int_0^{t_1} t^2 dt$$

Sau khi lấy tích phân ta tìm được phương trình chuyển động của chất điểm:

$$x_1 = 20t_1 - \frac{4}{45}.\frac{1}{3}t_1^3$$

Với $t_1 = 15$ s ta tính được:

$$x_1 = 20t_1 - \frac{4}{45}.\frac{1}{3}t_1^3 = 20.15 - \frac{4}{135}15^3 = 200 \text{ (m)}$$

Vậy đoạn đường xe đi được:

$$L = |x_1 - x_0| = |200 - 0| = 200 \text{ (m)}$$

Phương pháp: a → v → x: Cho a tìm v, cho v tìm x . Chúng ta dùng công cụ toán học tích phân.

<u>Bài tập 1.6</u>:

Một chiếc xe chạy trên đường thẳng. Tại vị trí O, thời điểm $t_0 = 0$, vận tốc tức thời của xe $v_0 = 25$ (m/s), người lái xe hãm phanh, gia tốc xe biến đổi theo qui luật: $a = -0{,}5\,t$ (m/s^2).

1) Hãy tính thời điểm t_A xe dừng lại (A là điểm xe dừng lại)
2) Hãy tính quảng đường L xe đi được kể từ lúc hãm phanh đến khi xe dừng

I.4.4. Véctơ gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$ và véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$

Từ (1-12): $\vec{v} = v\vec{\tau}$ và (1-23): $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ ta suy ra:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d}{dt}(v.\vec{\tau}) = \frac{dv}{dt}.\vec{\tau} + v.\frac{d\vec{\tau}}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}.\vec{\tau} + v.\frac{d\vec{\tau}}{dt} = \vec{a}_t + \vec{a}_n \qquad (1\text{-}30)$$

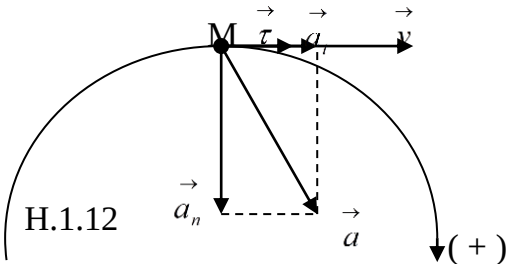
Theo (1-30) véctơ gia tốc $\vec{a}$ được phân tích thành hai thành phần.

Thành phần $\vec{a}_t = \frac{dv}{dt}.\vec{\tau}$ được gọi là véctơ gia tốc tiếp tuyến của chất điểm M, có phương tiếp tuyến với quỹ đạo.

Thành phần $\vec{a}_n = v.\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ được gọi là véctơ gia tốc pháp tuyến của chất điểm, có phương vuông góc với quỹ đạo.

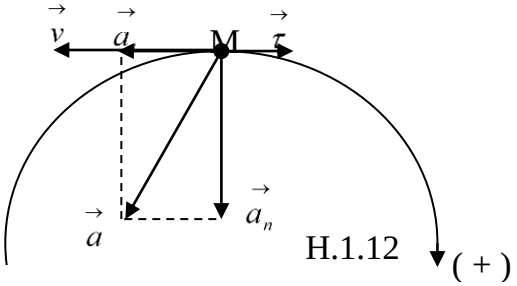
Phân tích minh họa:

Chú ý: $\vec{\tau}$ là véctơ tiếp tuyến đơn vị, có phương tiếp tuyến với quỹ đạo, có chiều luôn luôn ***cùng với chiều dương (+) quỹ đạo.***



H.1.12

Chuyển động nhanh dần

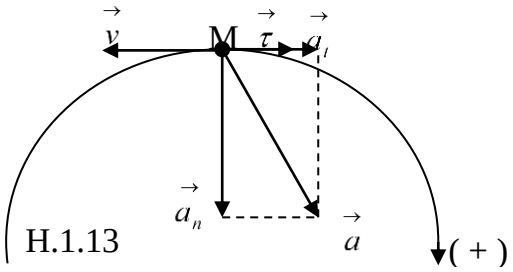


H.1.12

Chuyển động nhanh dần

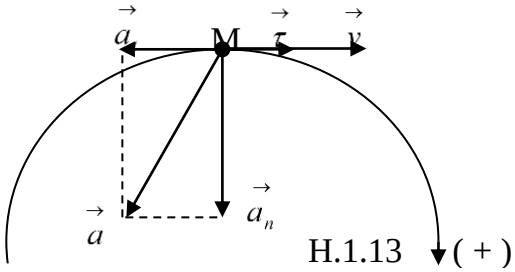
Trên hình H.1.12a chất điểm M chuyển động nhanh dần cùng chiều dương (+) quỹ đạo.

Trên hình H.1.12b chất điểm M chuyển động nhanh dần ngược chiều dương (+) quỹ đạo.



H.1.13

Chuyển động chậm dần



H.1.13

Chuyển động chậm dần

Trên hình H.1.13a chất điểm M chuyển động chậm dần ngược chiều dương (+) quỹ đạo. Trên hình H.1.13b chất điểm M chuyển động chậm dần cùng chiều dương (+) quỹ đạo.

I.4.4.1. Véctơ gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$

Ta có véctơ gia tốc tiếp tuyến: $\vec{a}_t = \frac{dv}{dt}.\vec{\tau}$ (1-31)

Chúng ta viết lại biểu thức (1-31): $\vec{a}_t = a_t.\vec{\tau}$

Với : $a_t = \frac{dv}{dt}$ (m/s^2) (1-32)

a) a_t được gọi là **gia tốc tiếp tuyến** đặt trưng cho sự thay đổi về độ lớn của véctơ vận tốc $\vec{v}$

b) Gia tốc tiếp tuyến a_t theo tọa độ thẳng x:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\frac{dx}{dt}) = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a_t = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (1\text{-}33)$$

c) Gia tốc tiếp tuyến a_t theo tọa độ cong s:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\frac{ds}{dt}) = \frac{d^2s}{dt^2}$$

$$a_t = \frac{d^2s}{dt^2} \quad (1\text{-}34)$$

d) a_t là đại lượng đại số: có thể bằng 0, dương hay âm

e) $\boldsymbol{a_t = \frac{dv}{dt} = 0}$ ***: Chất điểm chuyển động đều***

f) $a_t = \frac{dv}{dt} > 0$: Véctơ gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$ cùng chiều với véctơ tiếp tuyến đơn vị $\vec{\tau}$, tức cùng chiều dương (+) quỹ đạo.

g) $a_t = \frac{dv}{dt} < 0$: Véctơ gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$ ngược chiều với véctơ tiếp tuyến đơn vị $\vec{\tau}$, tức ngược chiều dương (+) quỹ đạo.

h) Véctơ gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$ ***cùng chiều*** với véctơ vận tốc $\vec{v}$**:** chất điểm chuyển động nhanh dần. (H.1.12)

i) Véctơ gia tốc tiếp tuyến $\vec{a}_t$ ***ngược chiều*** với véctơ vận tốc $\vec{v}$**:** chất điểm chuyển động chậm dần. (H.1.13)

I.4.4.2. Véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$

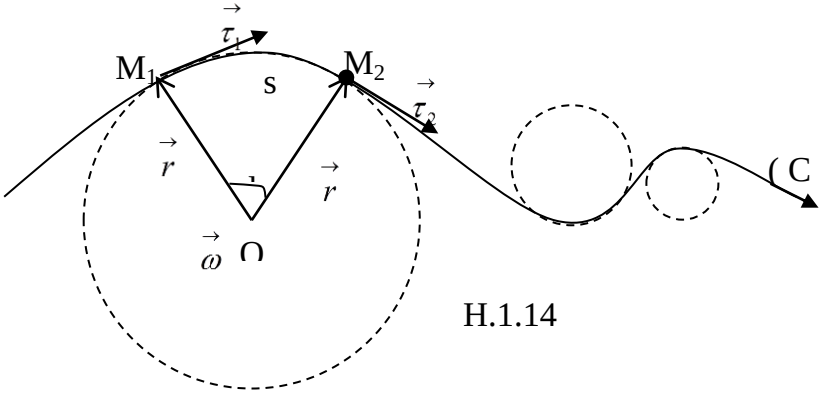
Ta có véctơ gia tốc pháp tuyến: $\vec{a}_n = v.\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ (1-35)

a) Vì $\left|\vec{\tau}\right| = 1 = const$, nên theo toán học: $\frac{d\vec{\tau}}{dt} \perp \vec{\tau}$. Vậy véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$ có phương vuông góc với qũy đạo và có chiều hướng vào bề lõm quỹ đạo. Hình vẽ (H.1.12) và (H.1.13).

b) Véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$ đặt trưng cho sự thay đổi về phương chiều của véctơ vận tốc $\vec{v}$

c) Vì trong chuyển động thẳng $\vec{\tau} = \overrightarrow{const}$, nên $\frac{d\vec{\tau}}{dt} = 0$. Vậy trong chuyển động thẳng véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n = 0$.

d) Độ lớn của véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$ được gọi là gia tốc pháp tuyến a_n .



H.1.14

Trên hình vẽ (H.1.14) một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo cong bất kỳ (C). Tại thời điểm t_1 chất điểm ở vị trí M_1 có véctơ tiếp tuyến đơn vị $\vec{\tau}_1$. Tại thời điểm t_2 chất điểm ở vị trí M_2 có véctơ tiếp tuyến đơn vị $\vec{\tau}_2$.

Trong khoảng thời gian vi phân $dt = t_2 - t_1$ chất điểm M dịch chuyển một đoạn đường M_1M_2 trên quỹ đạo. Từ hình vẽ (H.1.14) ta thấy đoạn đường nhỏ M_1M_2 trên quỹ đạo cong (C) được xem như trùng với một cung s của một vòng tròn bán kính r, với r được gọi là bán kính cong của quỹ đạo tại vị trí khảo sát.

Như vậy trong khoảng thời gian dt , xem như chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo tròn bán kính r, có véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$. Véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ có phương vuông góc với mặt phẳng tờ giấy và có chiều hướng vào.

Vì $\vec{\tau}$ luôn luôn vuông góc với bán kính véctơ $\vec{r}$, nên hai véctơ $\vec{\tau}$ và $\vec{r}$ cùng quay với vận tốc góc $\vec{\omega}$.

Do $\left|\vec{\tau}\right| = 1 = const$, nên theo (1-22) ta có:

$$\frac{d\vec{\tau}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{\tau} \qquad (1)$$

Thế (1) vào (1-35): $\vec{a}_n = v.\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ ta được:

$$\vec{a}_n = v.\frac{d\vec{\tau}}{dt} = v\vec{\omega}\times\vec{\tau} = \vec{\omega}\times v\vec{\tau} = \vec{\omega}\times\vec{v}$$

$$\vec{a}_n = \vec{\omega}\times\vec{v} \qquad (1\text{-}36)$$

Vì $\vec{v} \perp \vec{\omega}$ nên ta có gia tốc pháp tuyến a_n:

$a_n = \omega v$ (2)

Thế (1-21): $v = r\omega$ vào (2) ta được:

$$a_n = \frac{v^2}{r} \qquad (1\text{-}37)$$

Theo (1-30): $\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n$, vì $\vec{a}_t \perp \vec{a}_n$, nên ta có độ lớn hay môđun của véctơ gia tốc $\vec{a}$:

$$\left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{r}\right)^2} \qquad (1\text{-}38)$$

Bài tập 1.7:

Một chất điểm M chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình chuyển động:

$x = 5 \sin 2t$ (m) (a)

$y = 5 \cos 2t$ (m) (b)

1. Hãy viết véctơ vị trí $\vec{r}$ của chất điểm M trong hệ tọa độ OXY
2. Hãy xác định hình dạng quỹ đạo của chất điểm
3. Hãy viết véctơ vận tốc $\vec{v}$ của chất điểm M trong hệ tọa độ OXY
4. Tính tốc độ $\left|\vec{v}\right|$ của chất điểm M
5. Hãy tính vận tốc góc ω và gia tốc góc β của chất điểm M
6. Viết véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M trong hệ tọa độ OXY
7. Độ lớn hay mô-đun của véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M
8. Tính gia tốc tiếp tuyến a_t và gia tốc pháp tuyến a_n chất điểm M

Hướng dẫn giải

1/ Hãy viết véctơ vị trí $\vec{r}$ của chất điểm M trong hệ tọa độ OXY

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} = (5\sin 2t)\vec{i} + (5\cos 2t)\vec{j} \quad \text{(m)}$$

2/ Hãy xác định hình dạng quỹ đạo của chất điểm

Bình phương hai vế của (a) và (b), rồi cộng lại:

$x^2 = 5^2 \sin^2 2t$

$y^2 = 5^2 \cos^2 2t$

$x^2 + y^2 = 5^2 (\sin^2 2t + \cos^2 2t)$

$x^2 + y^2 = 5^2$: Quỹ đạo của chất điểm M là đường tròn bán kính r = 5 m

3/ Hãy viết véctơ vận tốc $\vec{v}$ của chất điểm M trong hệ tọa độ OXY

$$\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} \qquad (1)$$

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(5\sin 2t) = 10\cos 2t \quad (2)$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt}(5\cos 2t) = -10\sin 2t \quad (3)$$

Thế (2) và (3) vào (1) ta được:

$$\vec{v} = (10\cos 2t)\vec{i} + (-10\sin 2t)\vec{j} \quad \text{(m/s)}$$

4/ Tính tốc độ $\left|\vec{v}\right|$ của chất điểm M

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \qquad (4)$$

Thế (2) và (3) vào (4) ta được:

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{10^2 \cos^2 2t + (-10)^2 \sin^2 2t} = \sqrt{100(\cos^2 2t + \sin^2 2t)} = 10 \text{ m/s}$$

$\left|\vec{v}\right| = 10$ m/s: Chất điểm M chuyển động tròn đều

5/ Hãy tính vận tốc góc ω và gia tốc góc β của chất điểm M

Ta có: v = rω

Suy ra: $\omega = \frac{v}{r} = \frac{10}{5} = 2$

ω = 2 (rad/s)

Ta có gia tốc góc : $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{dt}(2) = 0$

β = 0 (rad/s^2)

6/ Viết véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M trong hệ tọa độ OXY

$$\vec{a} = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} \qquad (5)$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(5\sin 2t) = -20\sin 2t \quad (6)$$

$$a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(5\cos 2t) = -20\cos 2t \quad (7)$$

Thế (6) và (7) vào (5) ta được:

$$\vec{a} = a_x.\vec{i} + a_y.\vec{j} = (-20\sin 2t).\vec{i} + (-20\cos 2t).\vec{j} =$$

$$= -4\left[(5\sin 2t).\vec{i} + (5\cos 2t).\vec{j}\right] =$$

$$\vec{a} = -4\vec{r} \quad (m/s^2)$$

Véctơ gia tốc $\vec{a}$ cùng phương và ngược chiều với véctơ vị trí $\vec{r}$ (bán kính véctơ).

Vậy véctơ gia tốc $\vec{a}$ có phương vuông góc với quỹ đạo tròn và có chiều hướng vào tâm O của quỹ đạo.

7/ Độ lớn hay mô-đun của véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M

$$\left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \qquad (8)$$

Thế (6) và (7) vào (8) ta được:

$$\left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{400\sin^2 2t + 400\cos^2 2t} = \sqrt{20^2(\sin^2 2t + \cos^2 2t)} = 20 \ (\text{m/s}^2)$$

$$\left|\vec{a}\right| = 20 \ (\text{m/s}^2)$$

8/ Tính gia tốc tiếp tuyến a_t và gia tốc pháp tuyến a_n chất điểm M

Ta có: $a_t = \dfrac{dv}{dt} = \dfrac{d}{dt}(10) = 0 \quad (\text{m/s}^2)$

Ta có : $a_n = \dfrac{v^2}{r} = \dfrac{10^2}{5} = 20 \quad (m/s^2)$

I.4.5. Véctơ gia tốc góc $\vec{\beta}$

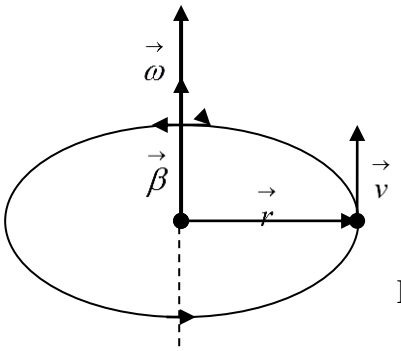
Véctơ gia tốc góc $\vec{\beta}$ là đại lượng được dùng để đo độ biến thiên của véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ theo thời gian, được định nghĩa bằng đạo hàm của véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ theo thời gian.

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \qquad (1\text{-}39)$$

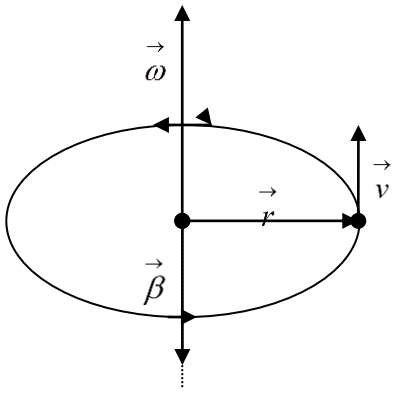
Véctơ gia tốc $\vec{\beta}$:

- Có phương nằm trên trục quỹ đạo tròn
- Có độ lớn: $\beta = \dfrac{d\omega}{dt}$ (rad/ s^2) (1-40)
- β có thể bằng 0 dương hay âm
- Nếu β = 0: chất điểm M chuyển động tròn đều
- Nếu β > 0: Chất điểm M chuyển động nhanh dần và $\vec{\beta}$ cùng chiều với $\vec{\omega}$ (H.1.12)

- Nếu β < 0: Chất điểm M chuyển động chậm dần và $\vec{\beta}$ ngược chiều với $\vec{\omega}$ (H.1.15)



H.I.15



Chuyển động nhanh dần

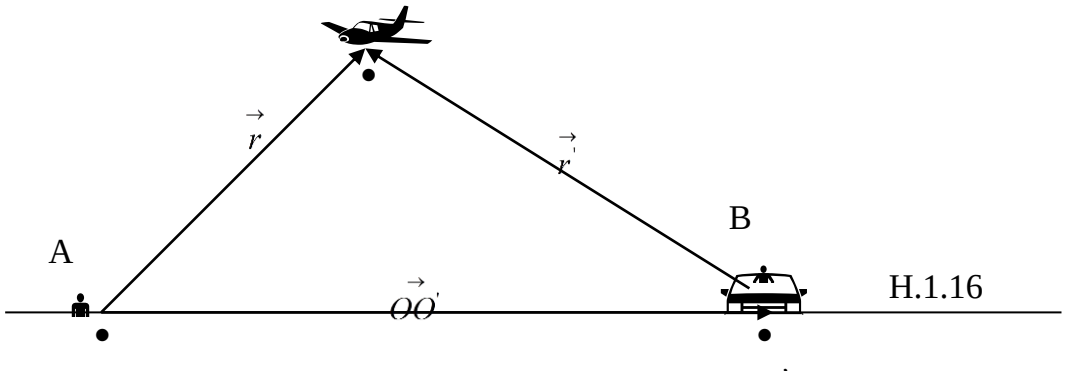
Chuyển động chậm dần

<u>Bài tập 1.8</u>:

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo tròn, bán kính r = 2 (m), có phương trình chuyển động: $s = 2t^2$ (m)

1) Tính vận tốc v của chất điểm M tại thời điểm t = 1s.
2) Tính vận tốc góc ω của chất điểm M tại thời điểm t = 1s.
3) Tính gia tốc góc β của chất điểm M.
4) Tính gia tốc tiếp tuyến a_t của chất điểm M.
5) Tính gia tốc pháp tuyến a_n của chất điểm M. tại thời điểm t = 1s.
6) Tính mô-đun của véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M tại thời điểm t = 1s.

I.5. Tổng hợp véctơ vận tốc và véctơ gia tốc



H.1.16

Ta có hệ qui chiếu O gắn trên mặt đường, hệ qui chiếu O'gắn trên một Ôtô đang chuyển động trên mặt đường.

Quan sát viên A đứng trên hệ qui chiếu O, còn quan sát viên B đứng trên hệ qui chiếu O'. Hai quan sát viên A và B cùng khảo sát chuyển động một chiếc máy bay M.

Để xác định vị trí máy bay M quan sát viên A dùng véctơ vị trí $\vec{r}$, để xác đinh vị trí máy bay M quan sát viên B dùng vec tơ vị trí $\vec{r}'$, để xác định vị trí Ôtô quan sát viên A dùng vec tơ vị trí $\vec{OO}'$.

Từ hình vẽ (H.1.16) ta có:

$$\vec{r} = \vec{OO}' + \vec{r}'$$

Đạo hàm theo thời gian ta được :

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{OO}'}{dt} + \frac{d\vec{r}'}{dt}$$

Hay: $$\vec{v} = \vec{V} + \vec{v}' \qquad (1.-41)$$

Trong đó:

- $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$: là vận tốc của chất điểm M đối với hệ O .
- $\vec{v}' = \frac{d\vec{r}'}{dt}$: là vận tốc của chất điểm M đối với hệ O'.
- $\vec{V} = \frac{d\vec{OO}'}{dt}$: là vận tốc của hệ O' đối hệ O .

Biểu thức (1-41) là công thức cộng véctơ vận tốc $\vec{v}$ trên hai hệ qui chiếu khác nhau O và O'.

Trên các hệ qui chiếu khác nhau véctơ vận tốc $\vec{v}$ của chất điểm khác nhau

Đạo hàm (1-41) ta được:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{d\vec{v}'}{dt}$$

Hay: $$\vec{a} = \vec{A} + \vec{a}' \qquad (1\text{-}42)$$

Trong đó:

- $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$: là gia tốc của chất điểm M đối với hệ O
- $\vec{a}' = \frac{d\vec{v}'}{dt}$: là gia tốc của chất điểm M đối với hệ O'.
- $\vec{A} = \frac{d\vec{V}}{dt}$: là gia tốc của hệ O' đối hệ O .

Biểu thức (1-42) là công thức cộng véctơ gia tốc trên hai hệ qui chiếu khác nhau O và O'.

Trên các hệ qui chiếu khác nhau véctơ vận tốc $\vec{a}$ của chất điểm khác nhau. Nếu hệ qui chiếu O' chuyển động thẳng đều đối với hệ qui chiếu O thì $\vec{A}$ = 0, ta có: $\vec{a} = \vec{a}'$.

Bài tập 1.9:

Một giọt nước mưa rơi thẳng đứng với vận tốc v_0 = 10 m/s. Một người ngồi trong ôtô chuyển động ngang với vận tốc v = 10 m/s sẽ quan sát thấy giọt nước mưa có vận tốc v' bằng bao nhiêu và hợp với phương thẳng đứng một góc α bằng bao nhiêu ?

Đáp số : $v' = 14$ m/s ; $\alpha = 45^o$

Bài tập 1.10:

Trên một dòng sông nước chảy đều có vận tốc v_n = 10 m/s .Một chiếc canô muốn qua sông theo phương vuông góc với hai bờ, phải hướng mũi canô về phía thượng nguồn và hợp với phương vuông góc với hai bờ một góc $\alpha = 30^0$. Tìm vận tốc canô đối với bờ v_{cb}.

Đáp số: v_{cb} = 17,2 m/s

I.6. Chuyển động thẳng thay đổi đều

I.6.1. Định nghĩa

Chuyển động thẳng thay đổi đều là chuyển động trên quỹ đạo thẳng và có gia tốc a không đổi. Một chất điểm chuyển động tự do theo phương thẳng đứng trên mặt đất là một ví dụ thực tế về chuyển động thẳng thay đổi đều.

I.6.2. Phương trình vận tốc

Từ (1-28) ta có: $a = \frac{dv}{dt} = \text{const}$

Suy ra: $dv = a\,dt$ (1)

Lấy tích phân hai vế biểu thức (1) theo tích phân không xác định:

$$\int dv = \int a dt = a\int dt$$

$$v = a\,t + C \qquad (2)$$

Hằng số C phụ thuộc vào điều kiện ban đầu. Nếu tại thời điểm ban đầu t = 0 vận tốc của chất điểm là v_0 thì từ (2) ta suy ra hằng số $C = v_0$.

Vậy ta có phương trình vận tốc của chất điểm trong chuyển động thẳng thay đổi đều:

$$v = at + v_0 \qquad (1\text{-}43)$$

Nếu tại thời điểm ban đầu t = 0 vận tốc ban đầu của chất điểm v = 0 thì C = 0 và phương trình vận tốc của chất điểm có dạng:

$$v = at. \qquad (1\text{-}44)$$

I.6.3. Phương trình chuyển động

Từ biểu thức (1-16) ta có: $v = \frac{dx}{dt}$

Suy ra: $dx = vdt$ (1)

Thế biểu thức (1-43) vào (1) ta được:

$$dx = vdt = (at + v_0)\, dt = a\, t\, dt + v_0\, dt \quad (2)$$

Lấy tích phân biểu thức (2) theo tích phân không xác định.

$$\int dx = a\int tdt + v_0 \int dt$$

$$x = ½\, a\, t^2 + v_0\, t + C \quad (3)$$

Để tính hằng số C ta áp dụng điều kiện ban đầu:

Nếu tại thời điểm ban đầu t = 0 chất điểm ở vị trí x_0 thì từ (3) ta suy ra $C = x_0$.

Vậy ta có phương trình chuyển động của chất điểm chuyển động thẳng thay đổi đều:

$$x = ½\, a\, t^2 + v_0 t + x_0 \quad (1\text{-}45)$$

Nếu tại thời điểm ban đầu t = 0 chất điểm ở gốc tọa độ x = 0 thì C = 0, phương trình chuyển động có dạng:

$$x = ½\, a\, t^2 + v_0 t \quad (1\text{-}46)$$

Nếu tại thời điểm ban đầu t = 0 chất điểm ở gốc tọa độ x = 0 và vận tốc đầu v_0 = 0 thì phương trình chuyển động của chất điểm có dạng:

$$x = ½\, a t^2 \quad (1\text{-}47)$$

I.6.4. Phương trình độc lập thời gian

Ta có phương trình vận tốc: $v = at + v_0$ (1)

Ta bình phương hai vế (1):

$$v^2 = a^2t^2 + v_0^2 + 2atv_0$$

$$v^2 - v_0^2 = a^2t^2 + 2atv_0 = 2a\left(\frac{1}{2}at^2 + v_0 t\right)$$

Theo (I-46) ta suy ra :

$$v^2 - v_0^2 = 2a\, x \quad (1\text{-}48)$$

<u>Bài tập 1.11</u>:

1) Tính tốc độ điểm A đối với hệ qui chiếu mặt đường O_1
2) Tính mô-đun của véctơ gia tốc điểm A đối với hệ qui chiếu mặt đường O_1.

Đáp số: $v_A = 2at$; $a_A = 2a\sqrt{1+(\frac{at^2}{2r})^2}$

Hướng dẫn:

1. Khi đĩa tròn lăn không trượt thì trong cùng một thời gian tâm O và điểm A dịch chuyển một đoạn đường bằng nhau.

2. Dùng công thức cộng véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ gia tốc $\vec{a}$

II. Động lực học

II.1. Các khái niệm mở đầu

II.1.1. Chất điểm cô lập

Chất điểm cô lập là chất điểm hoàn toàn không tham gia tương tác với bên ngoài.

II.1.2. Hệ qui chiếu quán tính

Định nghĩa:

Hệ qui chiếu quán tính là hệ qui chiếu đặt biệt mà đối với nó một chất điểm cô lập đứng yên hay chuyển động thẳng đều.

Nói cách khác đối với hệ qui chiếu quán tính O véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm cô lập bằng không: $\vec{a} = 0$.

Phân tích

Hệ qui chiếu O_1 chuyển động thẳng đều đối với qui chiếu quán tính O thì hệ qui chiếu O_1 cũng là hệ qui chiếu quán tính.

Hệ qui chiếu O_1 chuyển động có gia tốc $\vec{a}$ đối với hệ qui chiếu quán tính O thì hệ qui chiếu O_1 không phải hệ qui chiếu quán tính.

Năm 1543 Copernicus đưa ra mô hình vũ trụ nhật tâm. Theo mô hình vũ trụ nhật tâm Mặt trời nằm yên ở trung tâm vũ trụ.

Hệ qui chiếu quán tính đầu tiên Newton xây dựng là hệ qui chiếu gắn với Mặt trời, còn gọi là hệ qui chiếu Galilei.

Ngày nay chúng ta biết Mặt trời là một ngôi sao trong dãy Ngân hà (Thiên hà của chúng ta). Mặt trời cách tâm của Ngân hà khoảng 30.000 năm ánh sáng. Ngân hà tự quay chung quanh tâm và còn chuyển động đối với các thiên hà khác. Như vậy Mặt trời không phải đứng yên hay chuyển động thẳng đều trong vũ trụ. Do đó hệ qui chiếu Mặt trời chỉ là hệ qui chiếu quán tính ngần đúng.

Do Trái đất chúng ta chuyển động tự quay chung quang trục và chuyển động chung quanh Mặt trời trên quỹ đạo elíp gần tròn, tức Trái đất không đứng yên hay chuyển động thẳng đều. Cho nên hệ qui chiếu gắn liền với Trái đất không phải là hệ qui chiếu quán tính.

Như vậy hệ qui chiếu quán tính theo định nghĩa là một giới hạn lý thuyết. Trên thực tế chúng ta hay sử dụng hệ qui chiếu gắn vào Trái đất làm hệ qui chiếu quán tính gần đúng.

Câu hỏi

Hãy chứng minh hệ qui chiếu O_1 chuyển động thẳng đều đối với qui chiếu quán tính O thì hệ qui chiếu O_1 cũng là hệ qui chiếu quán tính.

II.1.3. Khối lượng

Khối lượng quán tính m của chất điểm là đại lượng đo quán tính của chất điểm. Quán tính của chất điểm là tính chất khó thay đổi trạng thái chuyển động của chất điểm hay tính chất duy trì trạng thái chuyển động cũ của chất điểm. Chất điểm có khối lượng quán tính m càng lớn thì càng khó thay đổi trạng thái chuyển động. Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của khối lượng là kg.

Phân tích

Ngoài khối lượng quán tính m_{qt}, vật còn có khối lượng hấp dẫn m_{hd}. Khối lượng hấp dẫn của vật đặc trưng cho lực hấp dẫn giữa các vật. Khối lượng hấp dẫn m_{hd} của vật càng lớn thì lực hấp dẫn giữa các vật càng lớn.

Ví dụ 1: Khối lượng m trong các biểu thức sau là khối lượng quán tính:

- Véctơ động lượng $\vec{p}$: $\vec{p} = m\vec{v}$
- Định luật Newton thứ hai: $\vec{F} = m\vec{a}$
- Động năng: $W_d = \frac{1}{2}mv^2$
- …

Ví dụ 2: Khối lượng m trong các biểu thức sau là khối lượng hấp dẫn

- Trọng lực: $\vec{P} = m\vec{g}$
- Thế năng của chất điểm trong trọng trường đều: $W_t = mgh$
- …

Thực nghiệm đo được khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn của cùng một vật là tương đương nhau: $m_{qt} \approx m_{hd}$. Do đó để đơn giản ta thường gọi chung là khối lượng m. Nhưng trên từng biểu thức cụ thể cần phân biệt khối lượng m là khối lượng quán tính hay khối lượng hấp dẫn.

II.1.4. Véctơ động lượng $\vec{p}$ của chất điểm

Véctơ động lượng $\vec{p}$ của chất điểm là đại lượng vật lí đo ***lượng chuyển động cơ*** của chất điểm. Được định nghĩa :

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad (1\text{-}49)$$

Véctơ động lượng $\vec{p}$ có độ lớn:

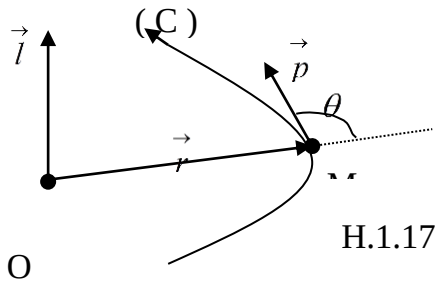
$$p = mv \qquad (1.50)$$

Trong đó m là khối lượng quán tính của chất điểm và p được gọi là động lượng của chất điểm. Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của động lượng là (kg.m/s)

Nhận xét: Một chất điểm chuyển động thẳng đều thì véctơ động lượng $\vec{p}$ của chất điểm không đổi (bảo toàn)

II.1.5. Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm.

II.1.5.1. Định nghĩa véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm



H.1.17

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo cong (C). Ta thiết lập hệ qui chiếu O nằm trên mặt phẳng của quỹ đạo. Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M đối với hệ qui chiếu O được định nghĩa :

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} \qquad (1.51)$$

Với: $\vec{p} = m\vec{v}$ là véctơ động lượng của chất điểm M và $\vec{r}$ là véctơ vị trí có gốc tại O, có ngọn tại M.

Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm là đại lượng vật lý dùng để đo mức độ và phương hướng quay của vật so với một tâm quay nhất định.

Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M:

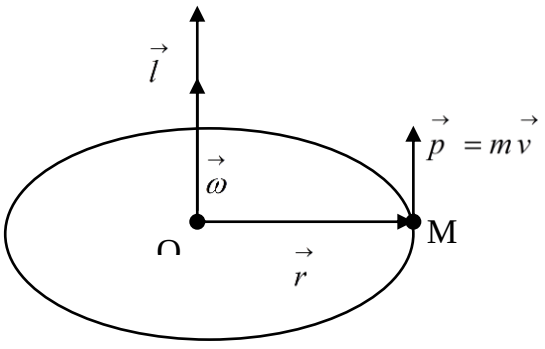
- Có độ lớn: $l = rp\sin\theta$ (1.52)

  Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) mômen động lượng l có đơn vị ($kg.m^2/s$)
- Với: $\theta = (\vec{r}, \vec{p})$
- Véctơ $\vec{l}$ có phương vuông góc với $\vec{r}$ và $\vec{p}$ (vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo)
- Có chiều được xác định theo qui tắc bàn tay phải: đặt bàn tay phải theo chiều của $\vec{r}$, sao cho lòng bàn tay hướng theo $\vec{p}$, chiều ngón cái dang ra là chiều của véctơ $\vec{l}$.

II.1.5.2. Véctơ mô-mem động lượng $\vec{l}$ của chất điểm trong chuyển động tròn

Trường hợp chất điểm M chuyển động trên trên quỹ đạo tròn tâm O và bán kính r.

Ta có véctơ vận tốc của chất điểm M: $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$



H.1.18

Ta có véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M đối với O.

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} = \vec{r} \times m\vec{v} = m\vec{r} \times \vec{v} = m\vec{r} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

Áp dụng công thức toán: $\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = \vec{b}.(\vec{a}.\vec{c}) - \vec{c}.(\vec{a}.\vec{b})$

Ta suy ra: $\vec{l} = mr^2\vec{\omega} - m\vec{r}.(\vec{\omega}.\vec{r})$

Vì: $(\vec{\omega}.\vec{r}) = 0$ do $\vec{\omega} \perp \vec{r}$

Nên: $\vec{l} = mr^2\vec{\omega}$

Hay: $\vec{l} = I\vec{\omega}$ (1-53)

Với : $I = m r^2$ (1-54)

I là mômen quán tính của chất điểm M đối với O.

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) mômen quán tính I có đơn vị ($kg.m^2$)

Biểu thức (1-53) là véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M trong chuyển động tròn.

Nhận xét: Một chất điểm chuyển động tròn đều thì véctơ mô-mem động lượng $\vec{l}$ của chất điểm không đổi (bảo toàn)

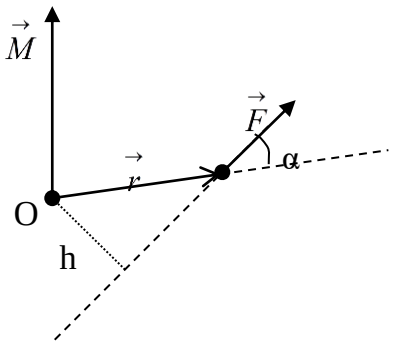
II.1.6. Lực

Lực $\vec{F}$ là đại lượng đo sự tương tác giữa các vật. Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của lực là N (Newton)

Phân tích: Một chất điểm cô lập, lực tác dụng lên chất điểm bằng không ($\vec{F} = 0$), lượng chuyển động cơ của chất điểm không đổi (bảo toàn.). Khi chất điểm tương tác với bên ngoài, ta nói chất điểm chịu tác dụng một ngoại lực $\vec{F}$, lượng chuyển động cơ của chất điểm tăng lên hay giảm đi. Như vậy lực $\vec{F}$ phải liên quan đến lượng chuyển động cơ mà chất điểm nhận vào hay mất đi trong quá trình tương tác. Sự liên quan đó như thế nào sẽ được làm rõ ở sau.

II.1.7. Véctơ mômen lực $\vec{M}$ của một lực $\vec{F}$ đối với điểm O

H.1.19



Ta có một lực $\vec{F}$ và một điểm O được chọn trước.

Véctơ mômen của một lực $\vec{F}$ đối với điểm O là véctơ $\vec{M}$, được định nghĩa :

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad (1\text{-}55)$$

Với: $\vec{r}$ là véctơ vị trí có gốc tại O, có ngọn tại điểm đặt của lực $\vec{F}$

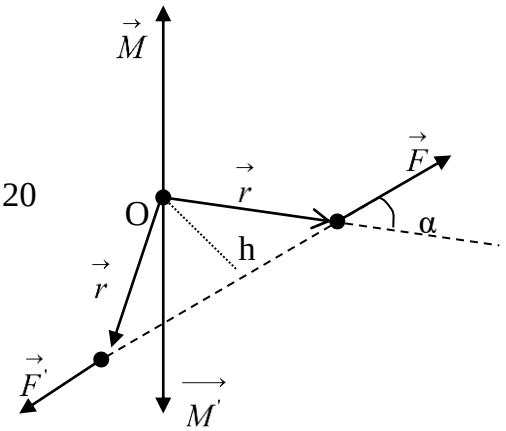
Véctơ $\vec{M}$:

- Có độ lớn : $M = r F \sin\alpha = F h$ (1-56)
  Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của mômen lực là (N.m)
- Có điểm đặt tại O
- Có phương $\vec{M} \perp \vec{r}$, $\vec{M} \perp \vec{F}$
- Có chiều được xác định theo qui tắc bàn tay phải: đặt bàn tay phải theo chiều của $\vec{r}$ **,** sao cho lòng bàn tay hướng theo $\vec{F}$, chiều ngón cái dang ra là chiều của véctơ $\vec{M}$.

Nếu lực $\vec{F}$ trượt theo phương của nó thì mômen của lực $\vec{F}$ đối với điểm O không đổi.

Dễ dàng chứng minh được: nếu $\vec{F} = -\vec{F'}$ thì tổng mômen của hai lực $\vec{F}$ và $\vec{F'}$ đối với điểm O bằng không (H.1.20).

H.1.20



II.2. Các định luật của Newton

II.2.1. Định luật Newton thứ nhất

Phát biểu:

Trong một hệ qui chiếu quán tính một chất điểm cô lập, nếu đứng yên thì đứng yên mãi, nếu chuyển động thì chuyển động thẳng đều mãi.

Phân tích:

Định luật Newton thứ nhất còn gọi là *nguyên lý quán tính Galilei*.

Bởi vì nội dung của định luật Newton thứ nhất do Galilei đưa ra lần đầu tiên vào năm 1638.

Chuyển động của một chất điểm cô lập được gọi là chuyển động theo quán tính.

Năm 1687 Newton đã cấu trúc nguyên lý quán tính Galilei thành một trong ba định luật cơ bản của Cơ học.

Newton đã lấy nội dung của nguyên lý quán tính Galilei (định luật Newton thứ nhất) làm cơ sở để xây dựng hệ qui chiếu quán tính.

Định luật bảo toàn động lượng của một chất điểm cô lập

Phát biểu:

Trong một hệ qui chiếu quán tính véctơ động lượng $\vec{p}$ *của chất điểm cô lập bảo toàn:* $\vec{p} = m\vec{v} = \overrightarrow{const}$.

Phân tích:

Một chất điểm cô lập (không tương tác với bên ngoài) thì *lượng chuyển động cơ* của chất điểm không thay đổi (bảo toàn): $\vec{p} = m\vec{v} = \overrightarrow{const}$. Suy ra chất điểm chuyển động thẳng đều.

Như vậy định luật bảo toàn động lượng của một chất điểm cô lập và định luật Newton thứ nhất có cùng bản chất vật lý.

II.2.2. Định luật Newton thứ hai

II.2.2.1. Phát biểu định luật Newton thứ hai

Trong hệ qui chiếu quán tính véctơ gia tốc $\vec{a}$ *của một chất điểm tỉ lệ thuận với tổng hợp ngoại lực* $\vec{F}$ *tác dụng lên chất điểm và tỉ lệ nghịch với khối lượng m của chất điểm .*

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) ta có :

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad (1\text{-}57)$$

Biểu thức (2-9) là phương trình cơ bản của động lực học và chỉ được áp dụng trong trường hợp khối lượng m của chất điểm không thay đổi .

Từ (1-57) ta suy ra:

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

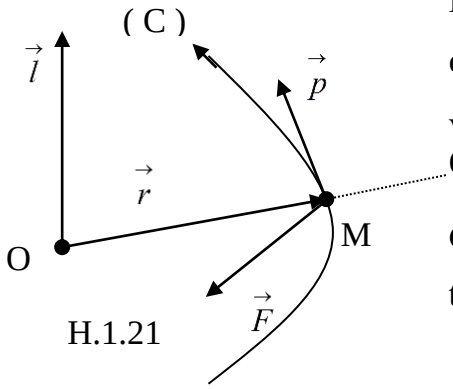
Hay :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \qquad (1\text{-}58)$$

Vậy : **Trong hệ qui chiếu quán tính đạo hàm véctơ động lượng** $\vec{p}$ **của chất điểm theo thời gian bằng tổng ngoại lực** $\vec{F}$ **tác dụng lên chất điểm.**

Biểu thức (1-58) là phương trình tổng quát của động lực học, có thể áp dụng trong trường hợp khối lượng m của chất điểm không đổi hay thay đổi .

II.2.2.2. Định lí biến thiên mômen động lượng của chất điểm



H.1.21

Một chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo cong (C), có động lượng $\vec{p}$ và được xác định vị trí bằng véctơ vị trí $\vec{r}$ đối với hệ qui chiếu O.

Chất điểm M chịu tác dụng một lực $\vec{F}$, theo định luật Newton thứ hai, ta có:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad (1)$$

Ta nhân có hướng véctơ $\vec{r}$ với hai vế biểu thức (1).

$$\vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad (2)$$

- $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$: (3)

  $\vec{M}$ là mômen của ngoại lực $\vec{F}$ tác dụng lên chất điểm M đối với điểm O.

- $\frac{d}{dt}\left(\vec{r} \times \vec{p}\right) = \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$

  $\frac{d}{dt}\left(\vec{r} \times \vec{p}\right) = \vec{v} \times \vec{p} + \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$. Vì $\vec{v} \times \vec{p} = 0$, nên:

  $$\frac{d}{dt}\left(\vec{r} \times \vec{p}\right) = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Hay $\frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}$ (4)

Thế (3) và (4) vào (2), ta được:

$$\frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{M} \qquad (1\text{-}59)$$

Biểu thức (1-59) là định lí biến thiên mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M:

Đạo hàm véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M đối với điểm O bằng véctơ mômen lực $\vec{M}$ đối với điểm O.

Trong trường hợp chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn bán kính r, theo (1-53) ta có: $\vec{l}$ = I $\vec{\omega}$. Từ (1-59) ta suy ra:

$$\frac{d\vec{l}}{dt} = \frac{d}{dt}(I\vec{\omega}) = I\frac{d\vec{\omega}}{dt} = I\vec{\beta} = \vec{M}$$

Hay: $I\vec{\beta} = \vec{M}$ (1-60)

Với I = mr^2 là mô-men quán tính của chất điểm M đối với tâm O.

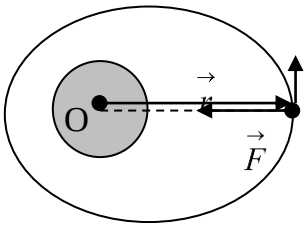
Định lí biến thiên mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M là một dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai.

Nếu mômen ngoại lực tác dụng lên chất điểm bằng không: $\vec{M}$ = 0, thì từ (1-60) ta suy ra mômen động lượng của chất điểm bảo toàn: $\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} = \overrightarrow{const}$.

Nhận xét:

- Phương trình $I\vec{\beta} = \vec{M}$ có dạng tương đương với $m\vec{a} = \vec{F}$
- Phương trình $\frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{M}$ có dạng tương đương với $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$

Phân tích



Các vệ tinh nhân tạo hay Mặt trăng chuyển động chung quanh Trái đất luôn luôn chịu tác dụng một trọng lực $\vec{P}$ có phương chiều hướng vào tâm O của Trái đất, tức ngược chiều với véctơ vị trí $\vec{r}$.

Cho nên mômen của trọng lực $\vec{P}$ đối với tâm O trái đất bằng không: $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{P} = 0$. Suy ra mômen động lượng $\vec{l}$ của các vệ tinh nhân tạo hay Mặt trăng bảo toàn. Vì véctơ $\vec{l}$ vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo, nên mặt phẳng quỹ đạo của các vệ tinh nhân tạo và Mặt trăng cũng bảo toàn trong không gian, tức giữ cố định trong không gian.

Tương tự do mômen $\vec{M}$ của lực hấp dẫn $\vec{F}$ của Mặt trời tác dụng lên các hành tinh trong hệ Mặt trời đối với tâm O của mặt trời bằng không, nên mômen động lượng $\vec{l}$ của các hành tinh bảo toàn. Dẫn đến mặt phẳng quỹ đạo của các hành tinh giữ cố định trong không gian.

II.2.2.3. Chuyển động của các vật có khối lượng thay đổi

Trong nhiều trường hợp chuyển động của vật có khối lượng thay đổi theo thời gian. Một ví dụ điển hình là chuyển động của tên lửa mà các khí nhiên liệu thoát ra. Ví dụ khác là chuyển động của giọt nước mưa khi khối lượng của nó tăng lên do hấp thụ hơi nước, hay băng tải trong các mỏ mà than được đổ lên nó.

Theo định luật Newton thứ hai ta có: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

Suy ra dưới tác dụng của ngoại lực $\vec{F}$, véctơ động lượng $\vec{p}$ của vật biến thiên một lượng: $d\vec{p} = \vec{F}\,dt$.

Ta lấy hệ qui chiếu mặt đất làm hệ qui chiếu quán tính O.

Tại thời điểm t vật có khối lượng thay đổi M(t) và vận tốc $\vec{v}$. Ta giả thiết trong khoảng thời gian vi phân dt, khối lượng của vật thay đổi đi một lượng là dM, còn véctơ vận tốc của khối lượng thêm vào (hay bớt đi) đối với vật là $\vec{u}$.

Như vậy véctơ vận tốc của khối lượng dM đối với hệ qui chiếu quán tính mặt đất O là $\vec{v}+\vec{u}$. Khối lượng dM thêm vào hay bớt đi của vật làm cho véctơ động lượng $\vec{p}$ của vật biến thiên một lượng: dM ($\vec{v}+\vec{u}$).

Tóm lại dưới tác dụng của ngoại lực $\vec{F}$ và sự thay đổi khối lượng dM của vật trong khoảng thời gian vi phân dt véctơ động lượng $\vec{p}$ của vật biến thiên một lượng:

$$d\vec{p} = \vec{F}\,dt + \text{dM}\,(\vec{v}+\vec{u}) \qquad (1)$$

Chia hai vế (1) cho dt ta được:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} + \frac{dM}{dt}(\vec{v}+\vec{u}) \qquad (2)$$

Mặt khác ta có:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(M\vec{v}) = \frac{dM}{dt}\vec{v} + M\frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (3)$$

So sánh (2) và (3) ta được:

$$M\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dM}{dt}\vec{u} + \vec{F}$$

Hay: $M\vec{a} = \vec{T} + \vec{F}$ (1-61)

Với:

- $\vec{T} = \frac{dM}{dt}\vec{u}$ (1-62)
  - Đối với tên lửa $\vec{T}$ là lực đẩy của tên lửa do khối khí phụt ra tác dụng lên tên lửa, nó ngược chiều với $\vec{u}$, vì dM < 0
  - $\vec{F}$ là ngoại lực tác dụng lên tên lửa.
  - *Biểu thức (1-62) là dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai, áp dụng cho tên lửa.*

Nếu tên lửa chuyển động trong trọng trường. Để tên lửa đi lên tăng tốc, lực đẩy $\vec{T}$ của tên lửa phải lớn hơn trọng lực $\vec{P}$ tác dụng lên tên lửa.

Trường hợp ngoại lực $\vec{F}$ tác dụng lên tên lửa không đáng kể so với lực đẩy $\vec{T}$ của tên lửa. Từ (1-62) ta suy ra:

$$Md\vec{v} = dM\vec{u}$$

Chiếu lên chiều chuyển động của tên lửa ta được :

$$Mdv = - u\,dM$$

Hay :

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

Gỉa sử lúc đầu vận tốc tên lửa bằng không và khối lượng M_o, lấy tích phân ta được :

$$\int_o^v dv = -u \int_{M_0}^{M} \frac{dM}{M}$$

$$v = u \ln \frac{M_O}{M} \qquad (1\text{-}63)$$

Biểu thức (1-63) là công thức Xiôncôpxki.

Đặt $M_O = M_l + M_t$, với M_l là khối lượng nhiên liệu và M_t là khối lượng thiết bị.

Từ 1-63) suy ra vận tốc tên lửa khi cháy hết nhiên liệu .

$$v = u \ln (1 + \frac{M_l}{M_t}) \qquad (1\text{-}64)$$

Phân tích:

Từ (1-64) ta suy ra:

$$\frac{v}{u} = \ln (1 + \frac{M_l}{M_t}) \Rightarrow \quad e^{\frac{v}{u}} = 1 + \frac{M_l}{M_t}$$

Thông thường vận tốc phụt khí u = 3km/s, vận tốc vũ trụ cấp I là vận tốc để các vệ tinh chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất v_1 = 7,9 km/s.

$$\frac{v_1}{u} = \frac{7,9}{3} = 2,6 \quad \Rightarrow e^{\frac{v_1}{u}} = e^{2,6} = 13,5 = 1 + \frac{M_l}{M_t}$$

Vậy: $\frac{M_l}{M_t} = 12,5$ có nghĩa để đưa 1kg thiết bị lên quỹ đạo phải tốn 12,5 kg nhiên liệu. Khó khăn này có thể vượt qua bằng cách dùng tên lửa nhiều tầng. Người đầu tiên đưa ra ý tưởng tên lửa nhiều tầng là Nhà Bác học người Nga Xiôncôpxki (1857-1935). Mesherxki (1859-1935) cũng là Nhà Bác học người Nga.

II.2.2.4. Khảo sát chuyển động của chất điểm trong hệ qui chiếu không quán tính

Ta có định luật Newton thứ hai của chất điểm M trong ***hệ qui chiếu quán tính O***:

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad (1)$$

Nếu khảo sát chất điểm M ***trong hệ qui chiếu không quán tính O'*** chuyển động đối với hệ qui chiếu quán tính O với gia tốc $\vec{A}$. Theo công thức tổng hợp gia tốc ta có :

$$\vec{a} = \vec{A} + \vec{a'} \qquad \Rightarrow \quad \vec{a'} = \vec{a} - \vec{A}$$

Nhân hai vế cho khối lượng m của chất điểm, ta được:

$$\Rightarrow \quad m\vec{a'} = m\vec{a} - m\vec{A}$$

Theo (1) ta có:

$$m\vec{a'} = \vec{F} + \vec{F}_{qt} \qquad (1\text{-}65)$$

Trong đó:

- $\vec{F}$ là tổng ngoại lực tương tác tác dụng lên chất điểm
- $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ (1-66)
- $\vec{F}_{qt}$ được gọi là **lực quán tính**, lực quán tính không có phản lực.
- Lực quán tính $\vec{F}_{qt}$ cùng phương và ngược chiều với gia tốc của hệ qui chiếu không quán tính.

Nhận xét:

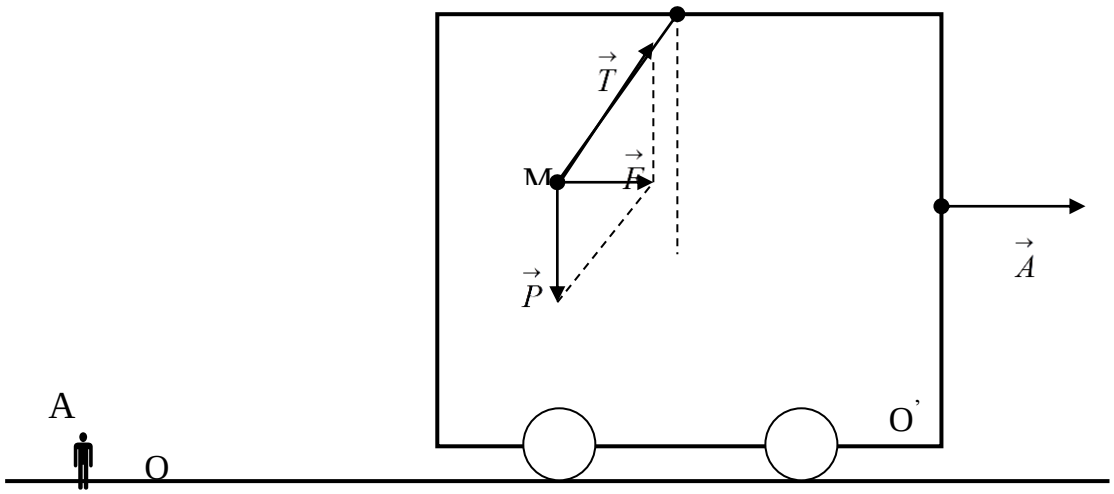
Khi khảo sát chất điểm M trong ***hệ qui chiếu quán tính O***. Phương trình động lực học của chất điểm là định luật Newton thứ hai có dạng:

- $m\vec{a} = \vec{F}$
- Với $\vec{F}$ là tổng ngoại lực tương tác, tác dụng lên chất điểm M, tuân theo định luật Newton thứ ba.

Khi khảo sát chất điểm M trong ***hệ qui không chiếu quán tính O'***. Phương trình động lực học của chất điểm có dạng:

- $m\vec{a'} = \vec{F} + \vec{F}_{qt}$
- Với $\vec{F}$ là tổng ngoại lực tương tác, tác dụng lên chất điểm M, tuân theo định luật Newton thứ ba.
- Với $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ là lực quán tính, không phải là lực tương tác, không tuân theo định luật Newton thứ ba.

Phân tích:

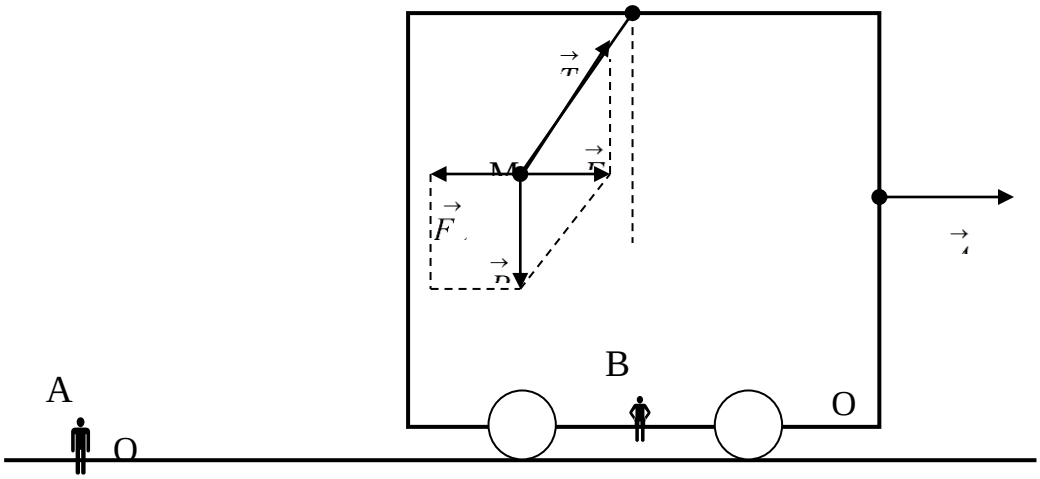


Giả sử hệ qui chiếu O gắn liền vào mặt đất là *hệ qui chiếu quán tính*. Một Ô-tô chuyển động trên mặt đất với gia tốc $\vec{A}$. Trên ô-tô có treo một con lắc M. Một quan sát viên A đứng trên mặt đất (hệ qui chiếu quán tính O) và khảo sát con lắc. Đối với quan sát viên A con lắc chuyển động với gia tốc $\vec{A}$. Theo định luật Newton thứ hai:

$$\vec{F} = \vec{P} + \vec{T} = m\vec{A}$$

Như vậy tổng ngoại lực tương tác $\vec{F}$ tác dụng lên con lắc M có cùng phương chiều với gia $\vec{A}$ của Ô-tô. Để tổng ngoại lực tương tác $\vec{F}$ tác dụng lên con lắc M có cùng phương chiều với gia $\vec{A}$ của Ô-tô thì phương của con lắc phải hướng về phía sau.

Nếu phương con lắc thẳng đứng hay hướng về phía trước sẽ không tuân theo định luật Newton thứ hai.



Quan sát viên B đứng trên ô-tô (Hệ qui chiếu không quán tính O'). Đối với quan sát viên B con lắc đứng yên (có gia tốc bằng không), nhưng tổng ngoại lực tương tác tác dụng lên con lắc M: $\vec{F} = \vec{P} + \vec{T} \neq 0$ (khác không). Con lắc không tuân theo định luật

Newton thứ hai. Để giải thích đúng hiện tượng con lắc đứng yên. Quan sát viên B phải đưa thêm một đại lượng hiệu chỉnh: $\vec{F}_{qt} = -\vec{F} = -(\vec{P}+\vec{T}) = -m\vec{A}$. Hay $\vec{F}_{qt}+\vec{P}+\vec{T} = 0$ (1) : Theo (1) con lắc M đứng yên đối với B.

Đại lượng hiệu chỉnh $\vec{F}_{qt}$ được gọi là lực quán tính. Lực quán tính $\vec{F}_{qt}$ chỉ có khi quan sát chất điểm trong hệ qui chiếu không quán tính.

Anh A chở anh B trên xe máy. Xe máy đang chạy thẳng đều trên mặt đường. Anh C đang đứng trên mặt đường. Xe máy hãm phanh, anh B "nhúi về phía trước".

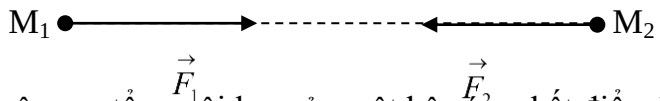
Anh C đứng trên mặt đường (hệ qui chiếu quán tính O) giải thích hiện tượng anh B "nhúi về phía trước" là do anh B chuyển động theo quán tính. Còn anh A ở trên xe máy (hệ qui chiếu không quán tính) giải thích hiện tượng anh B "nhúi về phía trước" là do anh B bị tác dụng một lực quán tính $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ hướng về phía trước, do xe máy chuyển động chậm lại và gia tốc xe máy $\vec{A}$ hướng về phía sau.

II.2.3. Định luật Newton thứ ba - Định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập

II.2.3.1. Phát biểu định luật Newton thứ ba

Trong một hệ qui chiếu quán tính , nếu chất điểm M_1 tác dụng lên chất điểm M_2 một lực $\vec{F}_2$, thì ngược lại chất điểm M_2 cũng tác dụng lên chất điểm M_1 một lực $\vec{F}_1$. Hai lực $\vec{F}_1$ và $\vec{F}_2$ cùng phương ngược chiều và cùng độ lớn **.**

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \qquad (1\text{-}67)$$



Suy rộng ra tổng nội lực của một hệ có n chất điểm bằng không .

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0 \qquad (1\text{-}68)$$

II.2.3.2. Định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập

Giả sử ta có hệ hai chất điểm M_1 và M_2 cô lập.

Theo định luật Newton thứ ba ta có:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \qquad (1)$$

Theo định luật Newton thứ hai ta có:

- $\vec{F}_1 = \frac{d\vec{p}_1}{dt}$ là lực chất điểm M_2 tác dụng lên chất điểm M_1 (2)

- $\vec{F}_2 = \frac{d\vec{p}_2}{dt}$ là lực chất điểm M_1 tác dụng lên chất điểm M_2.(3)

Thế (2) và (3) vào (1) ta được:

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

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

Suy ra : $$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \overrightarrow{const} \qquad (1\text{-}69)$$

Vậy tổng động lượng của hệ hai chất điểm cô lập bảo toàn.

Suy rộng ra tổng động lượng của một hệ cô lập bảo toàn

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i = \overrightarrow{const} \qquad (1\text{-}70)$$

Phân tích:

Định luật Newton thứ hai thiết lập mối quan hệ giữa định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập và định luật Newton thứ ba.

Từ định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập, áp dụng định luật Newton thứ hai, ta suy ra định luật Newton thứ ba và ngược lại.

Định luật Newton thứ hai dạng toán học $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ làm sáng tỏ: định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập và định luật Newton thứ ba có cùng một bản chất vật lý.

Theo định luật Newton thứ hai $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, lực $\vec{F}$ là lượng chuyển động cơ, mà chất điểm nhận vào hay mất đi trong một giây trong quá trình tương tác. Cho nên trong một hệ chất điểm cô lập M_1 và M_2, nếu chất điểm M_1 mất đi một lượng chuyển động cơ $\vec{F}_1$ trong quá trình tương tác thì chất điểm M_2 sẽ nhận đúng bằng lượng chuyển động cơ $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$ mà M_1 mất đi.

Áp dụng:

Ta xét một hệ có khối lượng (M + m) đang chuyển động với vận tốc $\vec{v}_1$ đối với hệ qui chiếu O – mặt đất. Chẳng hạn đó là hệ gồm súng đại bác và đạn chuyển động trên đường ray. Ta có động lượng của hệ:

$$\vec{P}_1 = M\vec{v}_1 + m\vec{v}_1$$

Gỉa sử sau đó đại bác bắn ngược chiều chuyển động, vận tốc đạn đối với súng là $\vec{u}$ tức đối với mặt đất là $\vec{v}_1 + \vec{u}$, vận tốc của đại bác sau khi bắn $\vec{v}_2$. Động lượng của hệ sau khi bắn:

$$\vec{P}_2 = M\vec{v}_2 + m\vec{v}_1 + m\vec{u}$$

Theo định luật bảo toàn động lượng, ta có:

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

$$M\vec{v}_1 + m\vec{v}_1 = M\vec{v}_2 + m\vec{v}_1 + m\vec{u}$$

$$M\vec{v}_1 = M\vec{v}_2 + m\vec{u}$$

Suy ra vận tốc của đại bác sau khi bắn:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 - \frac{m}{M}\vec{u}$$

Chiếu lên phương chiều chuyển động của đại bác ta được:

$$v_2 = v_1 + \frac{m}{M}u$$

Như vậy sau khi bắn vận tốc của đại bác tăng và khối lượng của hệ giảm. Đây chính là hiện tượng giật lùi của súng sau khi bắn. Nếu bắn liên tục thì vận tốc đại bác tăng liên tục và khối lượng của hệ giảm liên tục. Vậy gia tốc của súng do lực tác động của đạn lên súng khi bắn.

II.2.4. Định luật vạn vật hấp dẫn

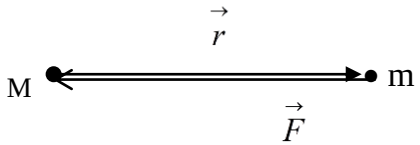
II.2.4.1. Phát biểu định luật

Hai chất điểm có khối lượng M và m cách nhau một khoảng r. Chất điểm M hút chất điểm m một lực hấp dẫn $\vec{F}$, ngược lại m cũng hút M một lực hấp dẫn $\vec{F}'$. Hai lực $\vec{F}$ và $\vec{F}'$ cùng phương ngược chiều và cùng độ lớn:

$$F = F' = G\frac{Mm}{r^2} \qquad (1\text{-}71)$$

Với G là hằng số hấp dẫn được xác định bằng thực nghiệm:

$$G = 6{,}67.10^{-11}\ Nm^2/kg^2$$



H.1.22

Từ hình vẽ (H.2.6) và (1-71), ta có:

$$\vec{F} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \qquad (1\text{-}72)$$

Trong đó:

- $\vec{F}$ là hấp dẫn của M tác dụng lên m

- $\vec{r}$ là véctơ có gốc tại M và ngọn tại m
- M và m là khối lượng hấp dẫn của chất điểm, khối lượng hấp dẫn càng lớn thì lực hấp dẫn càng lớn, thường gọi đơn giản là khối lượng. Thực nghiệm đã xác định khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn của cùng một chất điểm bằng nhau.

II.2.4.2. Trọng lực

Lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên một vật gọi là trọng lực $\vec{P}$. Nếu ta xem Trái đất có dạng cầu. Từ (1-72) ta có trọng lực tác dụng lên một chất điểm ***ở phía trên mặt đất***

$$\vec{P} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \qquad (1\text{-}73)$$

Với $\vec{r}$ là véctơ có gốc tại tâm Trái đất và ngọn tại m và M là khối lượng Trái đất .

Trọng lực $\vec{P}$:

- Có độ lớn: $P = G\frac{M.m}{r^2}$ (1-74)
- Có phương qua tâm Trái đất
- Có chiều hướng vào tâm Trái đất

Phân tích:

1/ Chỉ được áp dụng công thức (1-71) và (1-72) để tính lực hấp dẫn trong các trường hợp sau:

- Hai vật M và m là hai chất điểm, tức kích thước của hai vật nhỏ không đáng kể so với khoảng cách r giữa hai vật.
- Hai vật M và m là hai khối cầu, với r là khoảng cách giữa hai tâm khối cầu. Trong trường hợp này không đòi hỏi yêu kích thước hai khối cầu phải quá nhỏ so với r.
- Vật M là một khối cầu và vật m là một chất điểm, tức kích thước của vật m phải quá nhỏ so với khoảng cách r từ m đến tâm khối cầu M.

2/ Công thức (1-73) chỉ được áp dụng cho chất điểm m ở vị trí từ mặt đất trở lên. Không được áp dụng cho chất điểm m đặt ở dưới mặt đất.

Ta có công thức tính trọng lực đối với chất điểm m ở dưới mặt đất:

$$P = G\frac{M.m}{R^3}r$$

Với r là khoảng cách từ chất điểm m đến tâm Trái đất và R là bán kính Trái đất.

Càng xuống sâu dưới mặt đất thì trọng lực tác dụng lên chất điểm m càng nhỏ. Tại tâm Trái đất trọng lực tác dụng lên chất điểm m bằng không.

Như vậy tại mặt đất trọng lực lớn nhất, càng lên cao trọng lực càng nhỏ và càng xuống sâu dưới mặt đất trọng lực càng nhỏ.

II.2.4.3. Trường hấp dẫn

Mọi vật thể có khối lượng đều gây ra trong không gian chung quanh nó một trường hấp dẫn. Trường hấp dẫn là một dạng vật chất lan truyền trong không gian bằng vận tốc của ánh sáng. Tính chất cơ bản của trường hấp dẫn là tác dụng lên vật thể đặt trong trường một lực hấp dẫn. Trường hấp dẫn của Trái đất gọi là trọng trường.

Tương tác hấp dẫn giữa các vật được thực hiện thông qua trường hấp dẫn của chúng.

Như vậy tương tác hấp dẫn giữa hai chất điểm không phải là tương tác tức thời

Phân tích:

Chúng ta thường nói Trái đất tác dụng lên chất điểm m một trọng lực $\vec{P}$. Đây là cách nói theo thói quen, nhưng không đúng với bản chất vật lý. Chính trọng trường của Trái đất mới tác dụng trực tiếp lên chất điểm m, chứ không phải Trái đất.

II.2.4.4. **Véctơ gia tốc trọng trường** $\vec{g}$

Ta có trọng lực của trái đất tác dụng lên chất điểm m

$$\vec{P} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \qquad (1)$$

Có thể viết lại biểu thức (1):

$$\vec{P} = m\vec{g} \qquad (2)$$

Nếu hệ qui chiếu gắn vào Trái đất là hệ qui chiếu quán tính. Theo định luật Newton thứ hai, ta có:

$$\vec{P} = m\vec{a} \qquad (3)$$

Từ (2) và (3) ta suy ra véctơ gia tốc tọng trường $\vec{g}$.

$$\vec{a} = \vec{g} = -\frac{GM}{r^3}\vec{r} \qquad (1\text{-}75)$$

Vậy véctơ gia tốc trọng trường $\vec{g}$ của một chất điểm trong trọng trường có phương chiều hướng vào tâm Trái đất và có độ lớn:

$$g = \frac{GM}{r^2} \qquad (1\text{-}76)$$

Độ lớn g của véctơ gia tốc trọng trường $\vec{g}$ được gọi là gia tốc trọng trường.

Ta có gia tốc trọng trường tại mặt đất.

$$g_o = \frac{GM}{R^2} \qquad (1\text{-}77)$$

Trong đó R = 6.370 km là bán kính Trái đất.

Các công thức (1-75) và (1-76) được dẫn ra với điều kiện Trái đất có dạng cầu và hệ qui chiếu gắn vào Trái đất là hệ qui chiếu quán tính.

Phân tích:

Thực tế Trái đất có dạng dẹp ra ở xích đạo. Trái đất tự quay chung quanh trục và chuyển động chung quanh Mặt trời. Do đó nếu đòi hỏi chính xác hệ qui chiếu gắn vào Trái đất là hệ qui chiếu không quán tính.

Cho nên gia tốc trọng trường đo được trong thực tế còn phụ thuộc vào vĩ độ, do lực quán tính li tâm chi phối . Gia tốc ở xích đạo nhỏ nhất g_{ox} = 9,78 m/s^2, ở hai địa cực lớn nhất g_{oc} = 9,83 m/s^2.

Ngoài ra gia tốc còn phụ thuộc vào véctơ vận tốc $\vec{v}$ của vật, do lực quán tính Coriolis chi phối. Trong tính toán người ta thường lấy gia tốc trọng trường đều g_o = 9,81m/s^2

Vì bán kính Trái đất R lớn, nên mọi chất điểm chuyển động tự do gần mặt đất có gia tốc g giống nhau và bằng g_o.

Câu hỏi:

Hãy giải thích hiện tượng thủy triều

II.2.4.5. Trọng lượng

Trọng lượng là đại lượng lực mà vật tác dụng lên giá đỡ hay dây treo để nó không rơi thẳng xuống trong trọng trường.

Gỉa sử ta có một vật đặt trên sàn thang máy.Tổng hợp lực tác dụng lên vật.

$$\vec{f} = \vec{P} + \vec{N}$$

Theo định luật Newton thứ hai. Ta có:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N} \qquad (1)$$

Trong đó $\vec{N}$ là phản lực pháp tuyến mà sàn tác dụng lên vật. Theo định luật Newton III vật tác dụng lên sàn một lực: $\vec{Q} = -\vec{N}$. Vậy $\vec{Q}$ chính là trọng lượng của vật.

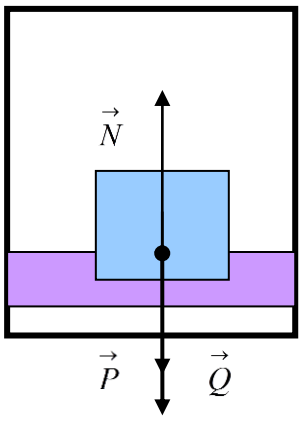
Từ (1) suy ra:

$$\vec{Q} = m(\vec{g} - \vec{a}) \qquad (1\text{-}78)$$

Nếu thang máy đứng yên hay chuyển động thẳng đều $\vec{a}$ = 0 . Suy ra:

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

Trong trường hợp này trọng lượng $\vec{Q}$ của vật bằng trọng lực $\vec{P}$ tác dụng lên vật. Nhưng có điểm đặt khác nhau, $\vec{P}$ có điểm đặt trên vật, còn $\vec{Q}$ có điểm đặt trên sàn.



Trường hợp thang máy có gia tốc $\vec{a}$ hướng lên.

Chiếu (1-78) lên phương thẳng đứng hướng xuống. Ta được: Q = m (g + a) > P . Vật ở trạng thái tăng trọng .

Trường hợp thang máy có gia tốc $\vec{a}$ hướng xuống. Chiếu (1-78) lên phương thẳng đứng hướng xuống. Ta

được : Q = m (g - a) < P . Vật ở trạng thái giảm trọng.

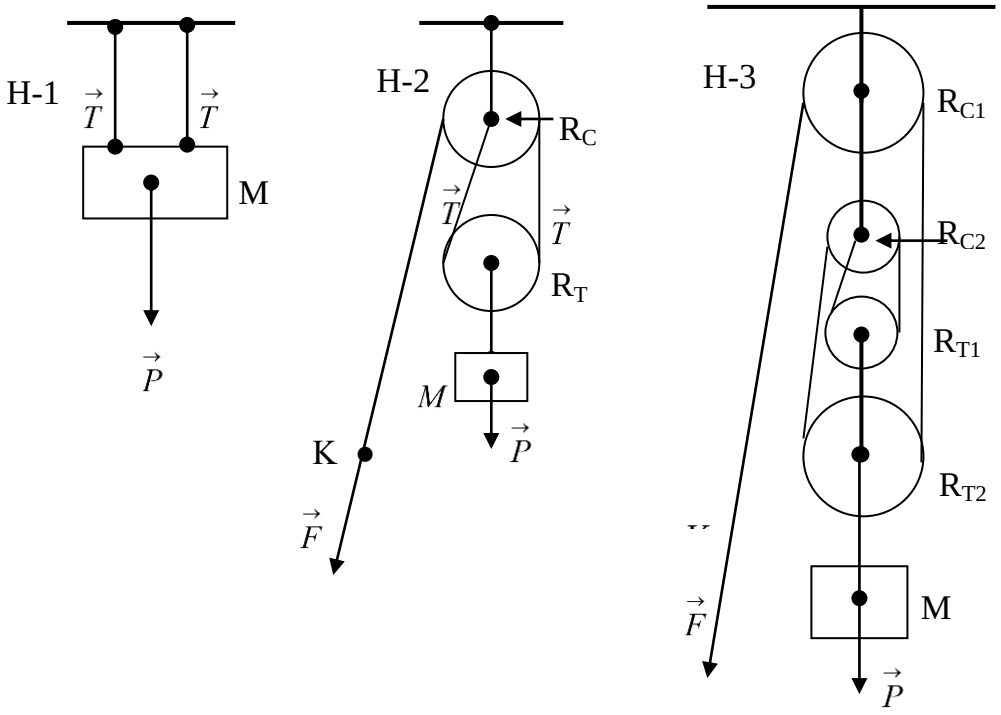
Trường hợp thang máy rơi xuống có gia tốc $\vec{a} = \vec{g}$. Suy ra Q = 0. Vật ở trạng thái không trọng lượng.

II.2.5. Lực liên kết

II.2.5.1. Lực căng

Khi tác dụng lên hai đầu sợi dây hai lực cùng phương ngược chiều, sơi dây ở trạng thái bị căng. Khi sợi dây ở trạng thái bị căng, tại mọi điểm trên sợi dây có lực căng $\vec{T}$, có độ lớn giống nhau. Độ lớn T của lực căng $\vec{T}$ bằng độ lớn của lực kéo căng tác dụng ở hai đầu dây.

Bài đọc thêm: *Pa-lăng*



1/ Trên hình H-1 vật M được treo trên hai sợi dây. Sợi dây tác dụng lên vật M một lực $\vec{T}$ hướng lên. Trái đất tác dụng lên vật M một trọng lực $\vec{P}$ hướng xuống.

Theo định luật Newton thứ hai ta có: $\vec{P} + 2\vec{T} = 0$. Chiếu lên chiều dương thẳng đứng hướng xuống . Ta được: P – 2T = 0 hay T = P/2

2/ Hình H-2 là một Pa-lăng gồm có một ròng rọc cố định R_C và một ròng rọc tự do R_T.

Vật M được treo ở tâm của ròng rọc tự do R_T . Sợi dây được cột vào tâm của ròng rọc cố định R_C rồi quấn xuống ròng rọc tự do R_T, rồi quấn lên ròng rọc cố định R_C , rồi kéo xuống điểm K. Khối lượng của ròng rọc và sợi dây không đáng kể và bỏ qua. Nếu ta tác dụng lên

đầu dây K một lực $\vec{F}$, sợi dây ở trạng thái bị căng. Độ lớn của lực căng $\vec{T}$ bằng độ lớn của lực kéo căng $\vec{F}$: T = F.

Từ hình vẽ H-2 ta thấy thông qua ròng rọc tự do R_T có hai đầu dây tác dụng lên vật M. Mỗi đầu dây tác dụng một lực $\vec{T}$ hướng lên.

Nếu ta tác dụng lên đầu dây K một lực $\vec{F}$ hướng xuống để giữ vật M đứng yên hay đi lên thẳng đều.

Áp dụng định luật Newton thứ hai cho vật M, ta có: $\vec{P}+2\vec{T}=0$. Chiếu lên chiều dương thẳng đứng hướng xuống, ta được: P – 2T = 0 suy ra T = P/2 hay F = P/2.

Như vậy, nếu lực tối đa của bạn chỉ có thể nâng lên một vật có khối lượng: M = 50kg thì thông qua Pa-lăng có một ròng rọc cố định R_C và một ròng rọc tự do R_T bạn có thể nâng lên một vật có khối lượng M = 100kg.

3/ Trên hình H-3 là một Pa-lăng gồm hai ròng rọc cố định R_{C1}, R_{C1} nối với nhau và hai ròng rọc tự do R_{T1}, R_{T1} nối với nhau.

Vật M được treo vào tâm của ròng rọc R_{T2}. Sợi dây được cột vào tâm của ròng rọc cố định R_{C2}, rồi quấn xuống ròng rọc tự do R_{T1}, rồi quấn lên ròng rọc cố định R_{C2}, rồi quấn xuống ròng rọc tự do R_{T2}, rồi quán lên ròng rọc có định R_{C1}, rồi kéo xuống điểm K.

Ta thấy thông qua hai ròng rọc tự do R_{T1} và R_{T2} có 4 đầu dây tác dụng lên vật M. Ta suy ra F = P/4.

Như vậy, nếu lực tối đa của bạn chỉ có thể nâng lên một vật có khối lượng: M = 50kg thì thông qua Pa-lăng có 2 ròng rọc cố định R_C và 2 ròng rọc tự do R_T bạn có thể nâng lên một vật có khối lượng M = 200kg.

Trường hợp Pa-lăng có n ròng rọc tự do và n ròng rọc cố định, ta có công thức sau:

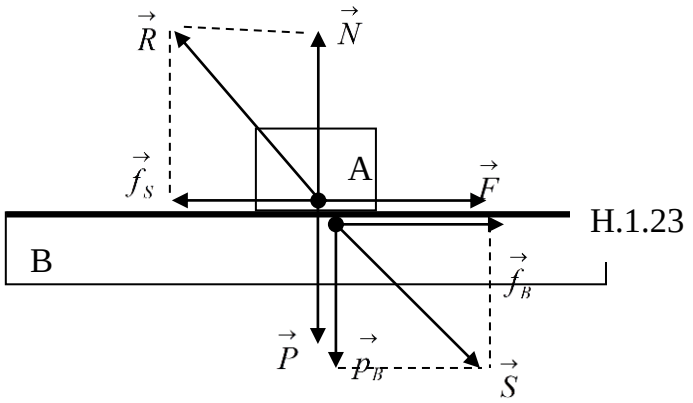
$$F=\frac{P}{2n}$$

Nếu lực tối đa của bạn chỉ có thể nâng lên một vật có khối lượng M = 50kg thì bạn cần Pa-lăng có 10 ròng rọc cố định và 10 ròng rọc tự do để nâng một vật có khối lượng M =1000kg.

Sinh viên tự tìm hiểu những ứng dụng khác của vật lý để chế tại những dụng cụ mà nhờ nó có thể nâng một vật có khối lượng lớn với tác dụng lên dụng cụ một lực nhỏ.

II.2.5.2. Lực ma sát trượt

II.2.5.2.a. Lực ma sát nghỉ



H.1.23

Một vật A nằm yên trên mặt phẳng nằm ngang B. Tác dụng lên A một lực $\vec{F}$ nằm ngang *sao cho A vẫn còn nằm yên trên B*.

Với tác dụng của trọng lực $\vec{P}$ vật A tác dụng lên mặt B một lực nén $\vec{p}_B$ vuông góc với mặt tiếp xúc A-B.

Với tác dụng của lực $\vec{F}$ vật A tác dụng lên mặt B một lực $\vec{f}_B$ tiếp tuyến với mặt tiếp xúc A-B.

Khi đó A tác dụng lên B một lực nén tổng hợp $\vec{S} = \vec{f}_B + \vec{p}_B$. Theo định luật Newton thứ ba mặt B tác dụng lên A một phản lực $\vec{R} = -\vec{S}$.

Ta phân tích $\vec{R} = \vec{N} + \vec{f}_s$:

- Với $\vec{N} = -\vec{p}_B$ là thành phần pháp tuyến của phản lực $\vec{R}$
- Và $\vec{f}_s = -\vec{f}_B$ là thành phần tiếp tuyến của phản lực $\vec{R}$ được gọi là lực ma sát nghỉ.

Như vậy lực ma sát nghỉ $\vec{f}_S$ là thành phần lực mà mặt B tác dụng lên vật A, có phương tiếp xúc với mặt tiếp xúc A-B, có tác dụng làm cân bằng lực, để giữ vật A đứng yên.

Nếu ta tăng lực $\vec{F}$ thì $\vec{f}_s$ sẽ tăng. Khi A bắt đầu chuyển động lực ma sát nghỉ đạt giá trị cực đại f_{So} . Từ thí nghiệm xác định được:

$$f_{So} = k_o N \qquad (1\text{-}79)$$

Trong đó:

- k_o là hệ số ma sát nghỉ
- N là thành phần pháp tuyến của phản lực $\vec{R}$, N bằng giá trị lực nén vuông góc lên mặt B: $N = p_B$.

Chú ý:

- Trong trường hợp hình vẽ trên lực $\vec{F}$ nằm ngang, song song với mặt tiếp xúc A-B thì N = P = mg. Nhưng trong trường hợp tổng quát lực $\vec{F}$ không nằm ngang , không song song với mặt tiếp xúc A-B thì $N \neq P = mg$.
- Để vật A trượt trên mặt B lực F tác dụng lên vật A phải thỏa mãn điều kiện: $F \geq f_{so}$

II.2.5.2.b. Lực ma sát động

Khi vật A chuyển động trên mặt ngang B thì thành phần tiếp tuyến của phản lực $\vec{R}$ là lực ma sát động $\vec{f}_{mS}$ thường được gọi là lực ma sát.

Lực ma sát $\vec{f}_{mS}$ là thành phần lực mà mặt B tác dụng lên vật A, có phương tiếp tuyến với mặt tiếp xúc, có chiều ngược với chiều chuyển động của vật, có độ lớn được xác định bằng thực nghiệm:

$$f_{ms} = kN \qquad (1\text{-}80)$$

Trong đó:

- k là hệ số ma sát động phụ thuộc vào bản chất của vật và trạng thái bề mặt tiếp xúc
- N là thành phần pháp tuyến của phản lực $\vec{R}$, N bằng giá trị lực nén vuông góc lên mặt B

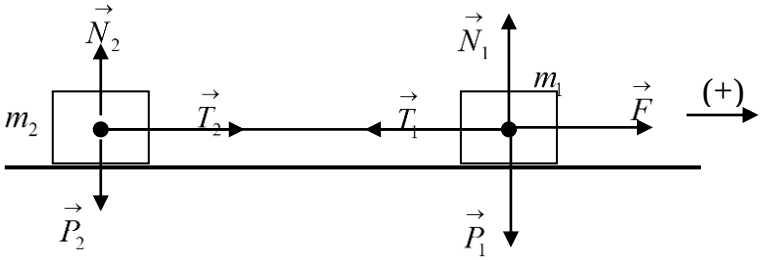
Chú ý :

- Nói chung lực ma sát động f_{ms} nhỏ hơn lực ma sát nghỉ cực đại f_{so} .
- Nếu vật A tác dụng lên mặt B một lực nén tổng hợp $\vec{S}$ vuông góc với mặt tiếp xúc A-B thì lực ma sát $\vec{f}_{mS} = 0$ và $\vec{R} = \vec{N}$.
- Nói chung lực ma sát động f_{ms} phụ thuộc vào vận tốc v của chất điểm. Tuy nhiên, nếu chất điểm chuyển động với vận tốc v nhỏ thì có thể xem như lực ma sát $\vec{f}_{mS}$ không phụ thuộc vào vận tốc v.

Bài tập 1.12:

Hai vật đặt trên một mặt phẳng nằm ngang khối lượng $m_1 = 4$ kg và $m_2 = 2$ kg. Hai vật nối với nhau bằng một sợi dây không đàn hồi có khối lượng không đáng kể. Tác dụng lên vật 1 một lực F = 12 N nằm ngang. Hai vật trượt không ma sát. Tính lực T_2 mà vật 1 tác dụng lên vật 2.

Hướng dẫn giải



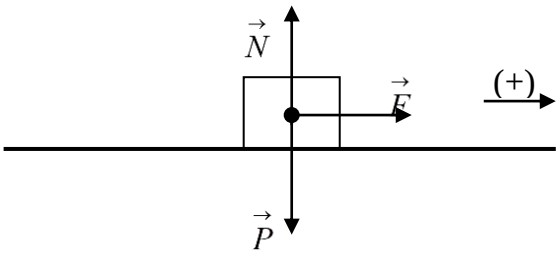
Thông qua sợi dây vật 1 tác dụng lên vật 2 một lực $\vec{T}_2$ và ngược lại theo định luật Newton thứ ba vật 2 cũng tác dụng lên vật 1 một lực $\vec{T}_1 = -\vec{T}_2$.

$\vec{P}_1$ và $\vec{P}_2$ là trọng lực của trái đất tác dụng lên vật 1 và vật 2.

$\vec{N}_1$ và $\vec{N}_2$ là phản lực của mặt ngang tác dụng lên vật 1 và vật 2.

Vì lực ma sát $\vec{f}_{ms} = 0$ nên $\vec{R} = \vec{N}$

Vì hai vật được nối với nhau bằng một sợi dây không đàn hồi. Nên hai vật chuyển động cùng véctơ gia tốc $\vec{a}$. Ta biểu diễn hai vật bằng một chất điểm có khối lượng: $m = m_1 + m_2$.



Áp dụng định luật Newton thứ hai cho chất điểm m:

$$\vec{f} = \vec{F} + \vec{P} + \vec{N} = m\vec{a} = (m_1 + m_2)\vec{a} \quad (1)$$

Chiếu (1) lên chiều dương (+), ta được:

$$F + 0 + 0 = (m_1 + m_2)\, a$$

Suy ra gia tốc a của vật m_1 và vật m_2:

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{12}{4+2} = 2\,\frac{m}{s^2}$$

Áp dụng định luật Newton thứ hai cho chất điểm m_2:

$$\vec{f} = \vec{T}_2 + \vec{P}_2 + \vec{N}_2 = m_2\vec{a} = m_2\vec{a} \quad (2)$$

Chiếu (2) lên chiều dương (+), ta được:

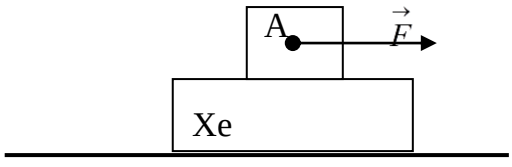
$$T_2 + 0 + 0 = m_2\, a$$

$$T_2 = m_2\, a = 2x2 = 4\ N$$

Bài tập 1.13:

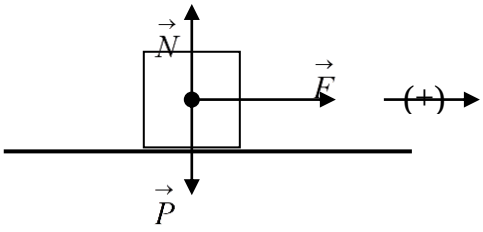
Một xe khối lượng $m_1 = 20$ kg có thể chuyển động không ma sát trên mặt phẳng nằm ngang trên xe đặt một vật A khối lượng $m_2 = 2$ kg. Hệ số ma sát giữa xe và vật A là k = 0,25, tác dụng lên A một lực F = 2 N nằm ngang. Hãy tìm lực ma sát giữa xe và vật A. Cho gia tốc của trọng trường g = 10 m/s^2 .

Hướng dẫn giải



Ta có lực ma sát nghỉ cực đại: $f_{So} = kN = k\,P = k\,mg = 0{,}25.\ 2.10 = 5$ N

Vì $f_{So} = 5$ N > F = 2 N nên vật A không có chuyển động trượt trên xe. Xe và vật A chuyển động cùng véctơ gia tốc $\vec{a}$. Ta xem xe và vật A là một chất điểm $m = m_1 + m_2$



Áp dụng định luật Newton thứ hai cho chất điểm m:

$$\vec{f} = \vec{F} + \vec{P} + \vec{N} = m\vec{a} = (m_1 + m_2)\vec{a} \quad (1)$$

Với:

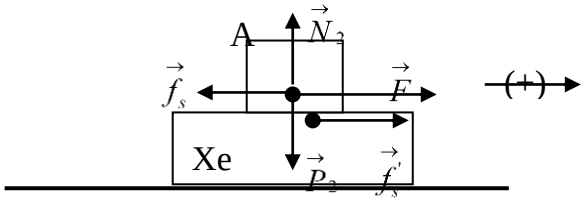
- $\vec{P}$ là trọng lực của trái đất tác dụng lên chất điểm m.
- $\vec{N}$ phản lực của mặt ngang tác dụng lên chất điểm m.
- Vì lực ma sát $\vec{f}_{ms} = 0$ nên $\vec{R} = \vec{N}$

Chiếu (1) lên chiều dương (+), ta được:

$$F + 0 + 0 = (m_1 + m_2)\, a$$

Suy ra gia tốc a của vật A và xe:

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} = \frac{2}{20 + 2} = 0,09\ \frac{m}{s^2}$$



Áp dụng định luật Newton thứ hai cho vật A:

$$\vec{f} = \vec{f}_s + \vec{P}_2 + \vec{N}_2 + \vec{F} = m_2\vec{a} = m_2\vec{a} \quad (2)$$

Với:

- $\vec{P}_2$ là trọng lực của trái đất tác dụng lên vật A
- $\vec{N}_2$ phản lực của xe tác dụng lên vật A

  Vì lực ma sát $\vec{f}_{ms} = 0$ nên $\vec{R} = \vec{N}$

- $\vec{f}_s$ là lực ma sát nghỉ mà xe tác dụng lên vật A

Chiếu (2) lên chiều dương (+), ta được:

$$-f_s + 0 + 0 + F = m_2\, a$$

Suy ra: $f_S = F - m_2\, a = 2 - 2.0.09 = 1,82$ N

f_s = 1,82 N

Bài tập 1.14:

Một khí cầu khối lượng M = 3.10^3 kg bắt đầu *bay xuống* với gia tốc không đổi a = 1 m/s^2 . Hãy xác định khối lượng m của vật nặng cần phải ném đi để truyền cho khí cầu có cùng gia tốc a = 1 m/s^2 nhưng *bay lên*. Bỏ qua lực cản của không khí. Cho g = 10 m/s^2.

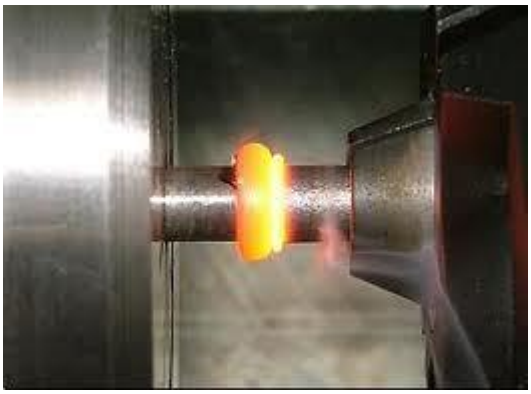
Đáp số : m = 59,4 kg

Bài tập 1.15:

Một người thợ khối lượng m = 60 kg , đứng trên một giá treo khối lượng M = 20 kg .Giá treo được buộc vào đầu một sợi dây vắt qua một ròng rọc . Hỏi người thợ phải kéo một lực F bằng bao nhiêu vào đầu sội dây còn lại để đi lên thẳng đều ? Cho gia tốc trọng trường g = 10 m/s^2

Đáp số: F = 400N

Bài đọc thêm: *Hàn ma sát*



1. Định nghĩa:

Hàn ma sát (Friction welding/Friction Stir Welding) là quá trình hàn áp lực, sử dụng nhiệt ma sát sinh ra tại bề mặt tiếp xúc giữa hai chi tiết chuyển động tương đối với nhau để nung mép hàn đến trạng thái chảy dẻo, sau đó dùng lực ép để ép hai chi tiết lại với nhau làm cho kim loại mép hàn khuếch tán sang nhau tạo thành mối hàn. Ma sát trong hàn là ma sát khô.

2. Các phương pháp hàn ma sát:

- Hàn ma sát quay
- Hàn ma sát tịnh tiến
- Hàn ma sát ngoáy

3. Ưu điểm hàn ma sát:

- Ít hao phí vật liệu, tiết kiệm kim loại.
- Thời gian hàn cực nhanh, năng suất cao .
- Không phát xạ độc hại (khói độc, bắn tóe,bức xạ điện tử ngoại,..)

- Khả năng chế tạo lại và điều khiển các thông số quá trình hàn tốt .
- Không cần bổ sung kim loại phụ.
- Dễ dàng tích hợp quá trình hàn vào dây chuyền sản xuất tự động .
- Độ chính xác của các chi tiết hàn cao (kể cả khi hàn tiết diện đặc biệt).
- Hàn được các kim loại khác loại với nhau.
- Cơ tính mối hàn rất tốt .
- Hàn được các loại tiết diện khác nhau .
- Môi trường sản xuất sạch.
- Không yêu cầu cao về tay nghề của công nhân.
- Khuyết tật mối hàn hầu như không có .
- Không cần yêu cầu tiết diện của 2 chi tiết phải giống nhau.

4. Nhược điểm hàn ma sát:

- Mối hàn lồi nên mất công cắt bỏ.
- Chiều dài của chi tiết hàn bị giảm.
- Thiết bị hàn đắt tiền.
- Kích thước của chi tiết hàn bị hạn chế.
- Không hàn được kết cấu quá phức tạp.

5. Phạm vi ứng dụng: Chủ yếu hàn các chi tiết dạng thanh, ống, trục..

6. Lịch sử phát triển:

Kỹ thuật này được một người thợ tiện của Nga Xô tên là AI Chudikov phát hiện vào năm 1954. Sau nhiều lần thực nghiệm, ông đã thành công.

Từ năm 1956, kỹ thuật này đã được đưa vào nghiên cứu tại Sở nghiên cứu kỹ thuật hàn Soviet (VNIESO) và được coi là kỹ thuật bí mật của Nga.

Năm 1960, thông tin về kỹ thuật này lọt vào tay của một Đoàn Điều tra Kỹ thuật của Nhật Bản trong khi đoàn điều tra này đang ở Nga (trong những năm ở thập kỷ 1970, chính phủ Nhật hỗ trợ thành lập các đoàn điều tra kỹ thuật, cử các kỹ sư giỏi đi tham quan các xí nghiệp ngoại quốc để học tập, thực ra là một dạng điệp viên kinh tế), lập tức các thông tin kỹ thuật được chuyển về Tokyo và Hiệp hội nghiên cứu kỹ thuật hàn của Anh Quốc (BWRA).

Năm 1961 người Nhật công bố kỹ thuật hàn ma sát xoay và bắt đầu ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật chế tạo phụ tùng xe hơi.

Năm 1962, hãng chế tạo máy dệt Toyota bắt đầu đưa vào chế tạo máy hàn ma sát xoay hàng loạt dạng Brake.

Năm 1964, thiết lập Hội nghiên cứu hàn ma sát, bắt đầu nghiên cứu hàn ma sát trên nhiều loại vật liệu khác nhau, tạo cơ sở lý thuyết cho ra đời các quy chuẩn về hàn ma sát JIS 3607

Năm 1998 hãng Izumi được ủy thác chế tạo toàn bộ từ kỹ thuật bàn giao của Toyota đã chế tạo thành công máy hàn ma sát NC . Máy hàn ma sát có khả năng hàn 2 loại vật liệu khác nhau với đường kính nhỏ nhất là 1.6mm.

Có thể nói kỹ thuật này do người Nga khởi đầu và người Nhật đã cải tiến và ứng dụng thành công.

(theo http://congnghehan.vn/han-ma-sat)

III. Cơ năng

III.1. Các khái niệm mở đầu

III.1.1. Động năng của chất điểm

Động năng là khái niệm được dùng để đặc trưng cho *lượng chuyển động cơ* của chất điểm, được định nghĩa:

$$W_đ = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (1\text{-}81)$$

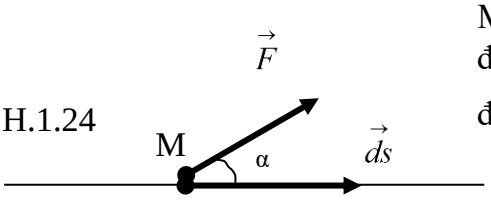
Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) động năng W_d có đơn vị là Joule (J)

III.1.2. Công của lực

Công của lực là đại lượng vật lý được dùng để đo độ biến thiên của năng lượng.

III.1.2.a. Công của một lực $\vec{F}$ không đổi dịch chuyển trên một đoạn thẳng $\vec{ds}$

H.1.24



Một lực $\vec{F}$ không đổi tác dụng lên một chất điểm M. Chất điểm M chuyển động trên một đoạn thẳng $\vec{ds}$.

Công dA của một lực $\vec{F}$ không đổi dịch chuyển trên một đoạn thẳng $\vec{ds}$, được định nghĩa:

$$dA = \vec{F} . \vec{ds} \qquad (1\text{-}82)$$

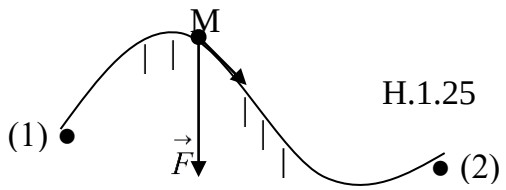
Hay: $$dA = F.ds.\cos\alpha \qquad (1\text{-}83)$$

Cộng dA của một lực $\vec{F}$ là đại lượng đại số.

Trong đó:

- $\alpha = (\vec{F}, \vec{ds})$
- Nếu $\alpha < \frac{\pi}{2}$ → dA > 0 : Công tác động, năng lượng (W_d) tăng
- Nếu $\alpha > \frac{\pi}{2}$ → dA < 0 : Công cản, năng lượng (W_d) giảm
- Nếu $\alpha = \frac{\pi}{2}$ → dA = 0: Năng lượng (W_d) không đổi
- Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của công là Joule (J)

III.1.2.b. Trường hợp tổng quát



H.1.25

Để xác định công A của một lực $\vec{F}$ bất kì dịch chuyển từ vị trí (1) đến vị trí (2) theo một đường cong bất kì (C). Ta chia đường cong (C) thành những đoạn dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$. Trên đoạn dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ lực $\vec{F}$ được xem như không đổi

Theo (3-2) công vi phân dA của lực $\vec{F}$ trên đoạn dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ là:

$$dA = \vec{F} . \vec{ds} \qquad (1)$$

Để tính công A_{12} của lực $\vec{F}$ dịch chuyển từ (1) đến (2) theo đường cong (C) bất kì, ta tính tích phân biểu thức (1):

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (1\text{-}84)$$

III.1.3. Công suất

Công suất là công thực hiện trong một đơn vị thời gian. Ta có:

$$P = \frac{dA}{dt} = \vec{F}.\frac{\vec{ds}}{dt} = \vec{F}.\vec{v} \qquad (1\text{-}85)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của công suất là Watt (W).

Ngoài hệ đơn vị SI, trong kỹ thuật người ta còn sử dụng đơn vị công suất là mã lực (CV): 1CV = 736 W

Phân tích:

Véctơ lực $\vec{F}$ là đại lượng vật lý đo *độ biến thiên của lượng chuyển động cơ*, được đo thông qua véctơ động lượng $\vec{p}$: $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$

Véctơ mômen lực $\vec{M}$ là đại lượng vật lý đo *độ biến thiên* của *lượng chuyển động cơ*, được đo thông qua véctơ mômen động lượng $\vec{l}$: $\vec{M} = \frac{d\vec{l}}{dt}$

Công A của lực $\vec{F}$ là đại lượng vật lý vô hướng đo *độ biến thiên của lượng chuyển động cơ*, được đo thông qua đại lượng vô hướng động năng (W_d): $dA = dW_d$

III.2. Định lí động năng

III.2.1. Phát biểu định lí động năng

III.2.1.1. Dạng tích phân

Công A_{12} của tổng ngoại lực $\vec{F}$ tác dụng lên chất điểm M trong dịch chuyển từ vị trí (1) đến vị trí (2) có giá trị bằng độ biến thiên động năng W_d của chất điểm trên đoạn đường (1 → 2).

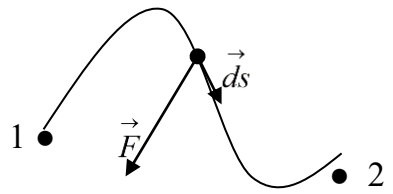
$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad (1\text{-}86)$$

III.2.1.2. Dạng vi phân

Trong dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ định lí động năng có dạng:

$$dA = dW_đ \qquad (1\text{-}87)$$

III.2.1.3. Chứng minh định lí động năng



Ta có : $A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds}$ (1)

Theo định luật Newton thứ hai:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{và} \quad \vec{ds} = \vec{v}\,dt \qquad (2)$$

Thế (2) vào (1) ta được: $A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} m\vec{v}\,d\vec{v}$

Theo toán học: $\vec{v}\,d\vec{v} = vdv$

Vậy : $A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} mvdv = \int_{(1)}^{(2)} d(\frac{1}{2}mv^2)$

$$A_{12} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad (\text{đpcm})$$

Định lí động năng là một dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai.

Câu hỏi:

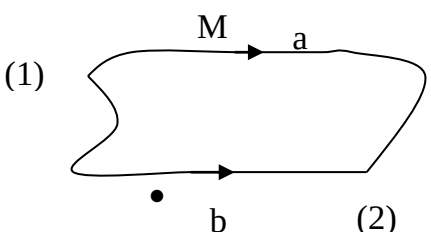
1) Hãy giải thích định lí động năng là một dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai
2) Hãy nêu tất cả những dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai.

III.3. Trường lực thế

III.3.1. Định nghĩa trường lực thế

Trường lực thế là trường lực mà công của lực thế A_{12} chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu (1) và vị trí cuối (2) của chuyển dời mà không phụ thuộc vào đường cong chuyển dời (1 → 2).

III.3.2. Tính chất của trường lực thế



H.1.26

Một chất điểm M chuyển động trong trường lực thế từ vị trí (1) đến vị trí (2)

theo đường cong (a) bất kì. Ta có công của lực thế:

$$A_{1a2} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (1)$$

Tương tự ta có công của lực thế khi dịch chuyển chất điểm từ vị trí (1) đến vị trí (2) theo đường cong (b) bất kì:

$$A_{1b2} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (2)$$

Từ (1) và (2) ta suy ra: $A_{1a2} = A_{1b2} \Rightarrow A_{1a2} - A_{1b2} = 0$

Do đổi dấu trước công phải đổi chiều dịch chuyển.

Nên ta có: $A_{1a2} + A_{2b1} = 0 \Rightarrow A_{1a2b1} = 0$

Hay : $$A = \int_{(C)} \vec{F}.\vec{ds} = 0 \qquad (1\text{-}88)$$

Vậy ***công của lực thế dịch chuyển theo đường cong kín (c) bất kì bằng không***.

Biểu thức (1-88) là biểu thức toán học diễn tả tính chất thế của trường lực thế .

Phân tích: Như vậy trong vật lý phân ra hai loại lực: lực thế và lực không phải lực thế.

Lực tuân theo (1-88) là lực thế. Lực không tuân theo (1-88) không phải là lực thế.

Lực hấp dẫn, lực tĩnh điện là lực thế. Lực ma sát, lực từ không phải là lực thế

III.3.3. Thế năng trong trường lực thế

Thế năng của một chất điểm tại vị trí (1) trong trường lực thế (W_{t1}) có giá trị bằng công của lực thế dịch chuyển chất điểm từ vị trí (1) đến vị trí O chọn trước tuỳ ý. Vị trí O gọi là gốc thế năng có thế năng bằng không.

$$W_{t1} = A_{1O} = \int_{(1)}^{(O)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (1\text{-}89)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của thế năng Joule (J)

III.3.4. Định lí thế năng

III.3.4.1. Phát biểu định lí thế năng

- Dạng tích phân:

Công của lực thế khi dịch chuyển chất điểm từ vị trí (1) đến vị trí (2) theo đường cong (C) bất kì bằng độ giảm thế năng từ (1) đến (2) .

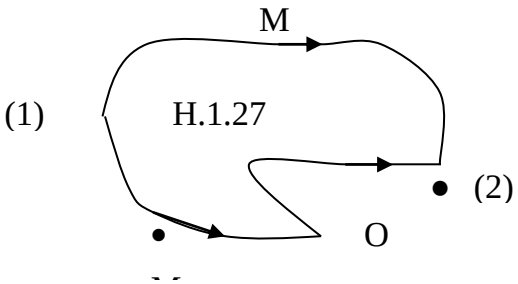
$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = W_{t1} - W_{t2} \qquad (1\text{-}90)$$

- Dạng vi phân:

Trong dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ định lí thế năng có dạng:

$$dA = - dW_t \qquad (1\text{-}91)$$

III.3.4.2. Chứng minh định lí thế năng



Ta có hai điểm (1) và (2) trong trường lực thế. Chọn điểm O tùy ý làm gốc thế năng.

Theo (3-9) ta có thế năng tại (1) và thế năng tại (2):

$$W_{t1} = A_{1O} = \int_{(1)}^{(O)} \vec{F}.\vec{ds} \quad (1)$$

$$W_{t2} = A_{20} = \int_{(2)}^{(O)} \vec{F}.\vec{ds} \quad (2)$$

Vì công của lực thế không phụ thuộc đường đi. Nên ta có:

$$A_{12} = A_{102} = A_{10} + A_{02}$$

Vì đổi dấu trước công thì đổi chiều dịch chuyển. Nên:

$$A_{12} = A_{10} - A_{20}$$

Theo (1) và (2) ta suy ra:

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

III.3.4.3. Thế năng của một chất điểm trọng trường

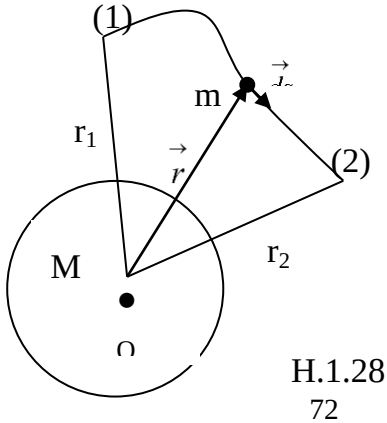
III.3.4.3.a. Chứng minh trọng trường là trường lực thế

Một chất điểm m chuyển động từ vị trí (1) đến vị trí (2) theo một đường cong (C) bất kì trong trọng trường của Trái đất. Ta có công của trọng lực $\vec{P}$ tác dụng lên chất điểm m trong dịch chuyển trên .

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

- Với : $\vec{P} = - G\frac{Mm}{r^3}\vec{r}$ (2)
- Trong dịch chuyển vi phân theo (1-9):

$$\vec{ds} = \vec{dr} \qquad (3)$$



H.1.28

Thế (2) và (3) vào (1), ta được:

$$A_{12} = - GMm \int_{r_1}^{r_2} \frac{\vec{r}\, d\vec{r}}{r^3} \qquad (4)$$

Theo toán học: $\vec{r}.d\vec{r} = rdr$ (5)

Thế (5) vào (4) , ta được:

$$A_{12} = -GMm \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = GMm \int_{r_1}^{r_2} d\left(\frac{1}{r}\right)$$

Tính tích phân, ta được công của trọng lực, khi dịch chuyển chất điểm m từ vị trí (1) đến vị trí (2) trong trọng trường ***theo đường cong bất kỳ:***

$$A_{12} = \frac{GMm}{r_2} - \frac{GMm}{r_1} \qquad (1\text{-}92)$$

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

Vậy trọng trường là trường lực thế. Suy rộng ra trường hấp dẫn là trường lực thế.

III.3.4.3.b. Thế năng của một chất điểm trong trọng trường

Theo định lí thế năng (1-90) và từ (1-92) ta có:

$$A_{12} = \frac{GMm}{r_2} - \frac{GMm}{r_1} = \left(-\frac{GMm}{r_1}\right) - \left(-\frac{GMm}{r_2}\right) = W_{t1} - W_{t2}$$

Suy ra thế năng tại (1) và tại (2):

$$W_{t1} = -\frac{GMm}{r_1} + C \qquad (6)$$

$$W_{t2} = -\frac{GMm}{r_2} + C \qquad (7)$$

Như vậy thế năng tại một điểm trong trọng trường được xác định sai khác bằng một hằng số C. Hằng số C này phụ thuộc vào cách chọn vị trí gốc thế năng O.

$$W_t = -\frac{GMm}{r} + C \qquad (8)$$

Nếu ta chọn gốc thế năng O ở vô cùng (∞) thì từ (8) ta suy ra: C = 0

Như vậy, nếu ta chọn gốc thế năng ở vô cùng (∞) thì thế năng của một chất điểm m trong trọng trường cách tâm trái đất một khoảng r, được tính theo công thức sau:

$$W_t = -\frac{GMm}{r} \qquad (1\text{-}93)$$

Nếu ta chọn gốc thế năng ở mặt đất r = R (bán kính Trái đất) thì từ (8) ta suy ra:

$$C = \frac{GMm}{R}$$

Như vậy, nếu ta chọn gốc thế năng ở mặt đất, thì thế năng của một chất điểm m trong trọng trường cách tâm trái đất một khoảng r, được tính theo công thức sau:

$$W_t = \frac{GMm}{R} - \frac{GMm}{r} = GMm\left(\frac{r-R}{rR}\right) = GMm\frac{h}{R(R+h)}$$

$$W_t = GMm\ \frac{h}{R(R+h)} \qquad (1\text{-}94)$$

Với h = r – R là độ cao của m tính từ mặt đất .

Nếu h << R: R + h ~ R.

$$W_t = \frac{GM}{R^2}mh = mg_o h$$

$$W_t = mg_o h \qquad (1\text{-}95)$$

Với: $g_o = \frac{GM}{R^2}$ là gia tốc trọng trường tại mặt đất.

Biểu thức (1-95) là thế năng của chất điểm m trong trọng trường đều.

Phân tích:

Trong biểu thức (1-15):

- Nếu lấy gốc thế năng tại vị trí chất điển m, thì h = 0
- Nếu lấy gốc thế năng tại vị trí dưới chất điểm m, thì h > 0
- Nếu lấy gốc thế năng tại vị trí trên chất điển m, thì h < 0

III.4. Cơ năng

III.4.1. Định nghĩa

Cơ năng của một chất điểm trong một trường lực thế là một đại lượng vật lý được định nghĩa:

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2}mv^2 + W_t \qquad (1\text{-}96)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của cơ năng là Joule (J).

Ngoài hệ đơn vị Quốc tế (SI) trong kỹ thuật người ta còn dùng đơn vị năng lương kWh:

1 kWh = 3600 kJ. Đơn vị kWh thường dùng trong điện năng.

III.4.2. Công của lực ma sát trong trường lực thế

Một chất điểm m chuyển động trong một trường lực thế. Ngoài chịu tác dụng của lực thế $\vec{F}_t$ còn chịu tác dụng những lực không phải lực thế, ví dụ lực ma sát $\vec{F}_{ms}$. Ta có tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm: $\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_{ms}$

Ta có công A_{12} của tổng ngoại lực $\vec{F}$ khi chất điểm chuyển động từ vị trí 1 đến vị trí 2 trong trường lực thế:

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_t.\vec{ds} + \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_{ms}.\vec{ds}$$

Suy ra công của lực ma sát:

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_{ms}.\vec{ds} = A_{12} - \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_t.\vec{ds} \qquad (1)$$

Theo định lí động năng: $A_{12} = W_{d2} - W_{d1}$ (2)

Theo định lí thế năng: $\int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_t.\vec{ds} = W_{t1} - W_{t2}$ (3)

Thế (2) và (3) vào (1):

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_{ms}.\vec{ds} = A_{12} - \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_t.\vec{ds} = W_{d2} - W_{d1} + W_{t2} - W_{t1}$$

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_{ms}.\vec{ds} = (W_{d2} + W_{t2}) - (W_{d1} + W_{d1})$$

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_{ms}.\vec{ds} = W_2 - W_1 \qquad (1\text{-}97)$$

Vì công của lực ma sát là công âm ($A_{ms} < 0$). Nên cơ năng tại 2 nhỏ hơn cơ năng tại 1: $W_2 < W_1$. Như vậy dưới tác dụng của lực ma sát cơ năng của chất điểm giảm. Cơ năng đã biến thành nhiệt năng.

III.4.3. Định luật bảo toàn cơ năng

Một chất điểm chuyển động trong trường lực thế, nếu chỉ chịu tác dụng duy nhất bởi lực thế (không có lực ma sát hay lực cản) thì:

$$A_{ms} = W_2 - W_1 = 0$$

Suy ra : $W_1 = W_2$

Phát biểu: ***Một chất điểm chuyển động trong trường lực thế, nếu chỉ chịu tác dụng duy nhất bởi lực thế thì cơ năng của chất điểm bảo toàn.***

$$W = \frac{1}{2} mv^2 + W_t = \text{const} \qquad (1\text{-}98)$$

Bài tập 1.16:

Một vật có khối lượng m = 1 kg trượt không vận tốc đầu xuống dốc cao h = 5m. Cho g = 10m/s^2. Vận tốc của vật tại chân dốc v = 8 m/s. Tìm công của lực ma sát.

Đáp số : A_{ms} = - 18 J

Bài tập 1.17:

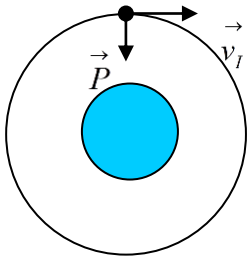
Để đo vận tốc viên đạn người ta dùng con lắc thử đạn, đó là một bì cát treo ở đầu sợi dây. Khi viên đạn xuyên vào bì cát, nó mắc lại trong bì cát và được nâng lên

độ cao h = 0,8 m. Tìm vận tốc của viên đạn. Cho khối lượng viên đạn m = 100g, khối lượng bì cát M = 3 kg, gia tốc trọng trường g = 10m/s^2 .

Đáp số : v = 124 m/s

III.5. Các vận tốc vũ trụ

III.5.1.Vận tốc vũ trụ cấp một



Vận tốc vũ trụ cấp một là vận tốc của một vật đang chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh Trái đất . Do trọng lực $\vec{P}$ là lực hướng tâm vuông góc với quỹ đạo, nên gia tốc trọng trường $\vec{g}$ cũng hướng tâm vuông góc với quỹ đạo. Vậy gia tốc trọng trường $\vec{g}$ bằng gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$.

$$g = a_n = \frac{v_I^{\,2}}{r} \qquad (1)$$

Với: $g = \frac{GM}{r^2}$ (2)

So sánh (1) và (2) ta suy ra được vận tốc vũ trụ cấp một v_I:

$$v_I = \sqrt{g.r} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (1\text{-}99)$$

Trường hợp vật ở gần mặt đất : g_o = 9,81m/s^2 , R = 6370 km .

$$v_I = \sqrt{g_o R} \;=\; 7{,}9 \text{ km/s}$$

Chú ý:

Biểu thức (1-99) được mở rộng áp dụng cho mọi thiên thể: Mặt trăng, các hành tinh, Mặt trời…

III.5.2. Vận tốc vũ trụ cấp hai

Vận tốc vũ trụ cấp hai là vận tốc ban đầu của vật được bắn đi để nó thoát khỏi lực hấp dẫn của Trái đất .

Vật được bắn đi từ vị trí (R) cách tâm trái đất một đoạn r, vị trí vật thoát khỏi lực hút của trái đất là (∞)

Theo định luật bảo toàn cơ năng. Ta có :

$W_R = W_\infty$

Cơ năng tại vị trí bắn:

$W_R = W_{dR} + W_{tR} = \frac{1}{2}mv_{II}^2 - \frac{GMm}{r}$

Cơ năng tại vị trí (∞) thoát khỏi lực hấp dẫn Trái đất:

$W_\infty = W_{d\infty} + W_{t\infty} = 0$

Suy ra:

$$\frac{1}{2}mv_{II}^2 - \frac{GMm}{r} = W_{d\infty} + W_{t\infty} = 0$$

Hay: $$v_{II} = \sqrt{2\frac{GM}{r}} = v_I\sqrt{2} \qquad (1\text{-}100)$$

Nếu vật được bắn ở gần mặt đất:

$$v_{II} = v_I\sqrt{2} = 7{,}9\sqrt{2} = 11{,}2\,km/s$$

Chú ý:

Biểu thức (1-100) được mở rộng áp dụng cho mọi thiên thể: Mặt trăng , các hành tinh, Mặt trời…

Bài tập 1.18:

Mặt trăng chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất. Khoảng cách từ trái đất đến mặt trăng r = 60R, với R = 6370 km là bán kính trái đất. Cho gia tốc trọng trường tại mặt đất g_0 = 10 m/s^2. Tính vận tốc v của mặt trăng.

Đáp số: v ≈ 1 km/s

Bài tập 1.19:

Trái đất chuyển động chung quanh mặt trời trên qũy đạo tròn bán kính r = 150.10^6 km, với vận tốc v = 30 km/s. Hãy tính khối lượng M của mặt trời.

Cho hằng số hấp dẫn vũ trụ G = 6,67.10 $^{-11}$ N.m^2/kg^2

Đáp số : M ≈ 2.10^{30} kg

Bài tập 1.20:

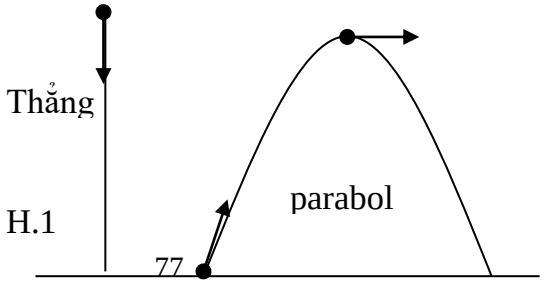
Một vật chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất, lấy gốc thế năng ở vô cùng. Vật có thế năng W_t = - 6400 J. Tìm cơ năng W của vật.

Đáp số : W = - 3200 J

Bài đọc thêm: ***Những hình dạng quỹ đạo phổ biến của vật trong tự nhiên***

Một vật được buông ra trong trọng trường. Vật sẽ rơi xuống trên **quỹ đạo thẳng** (H.1).

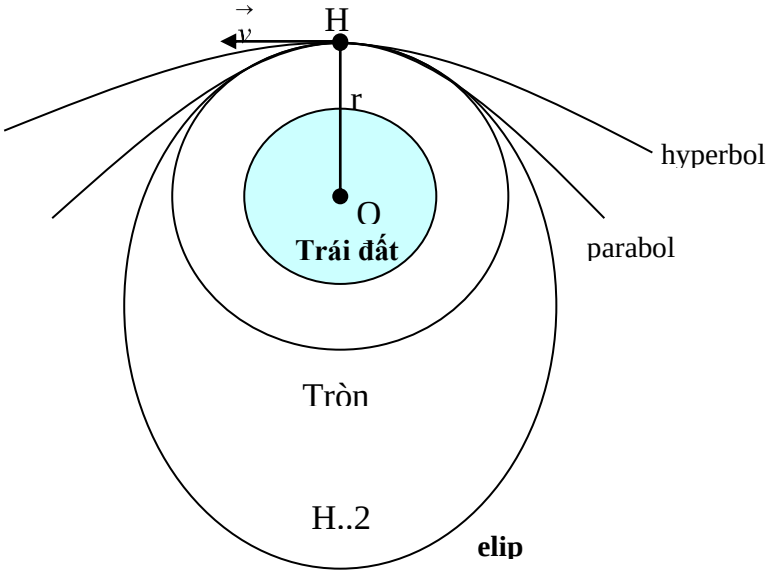
Một vật được ném nghiêng trên mặt đất trong trọng trường. Vật sẽ chuyển động trên **quỹ đạo parabol** (H.1).



H.1

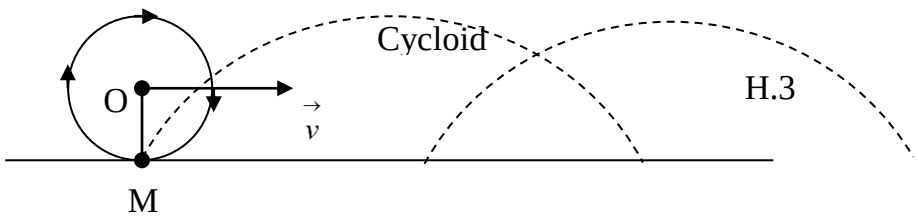
Từ vị trí H cách tâm O của Trái đất một khoảng OH = r, một vật được bắn đi với véctơ vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với OH:

- Nếu v = $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ trong đó M = 5,98.10^{24} kg là khối lượng của Trái đất và G = 6,67.10^{-11} N.m^2/kg^2 là hằng số hấp dẫn vũ trụ . Vật sẽ chuyển động trên **quỹ đạo tròn** chung quanh Trái đất. Tốc độ v_1 thường quen gọi là vận tốc vũ trụ cấp I (H.2)
- Nếu v = $v_2 = \sqrt{2\frac{GM}{r}}$, vật sẽ chuyển động thoát ra khỏi sức hút của Trái đất trên **quỹ đạo parabol**. Tốc độ v_2 thường quen gọi là vận tốc vũ trụ cấp II (H.2)

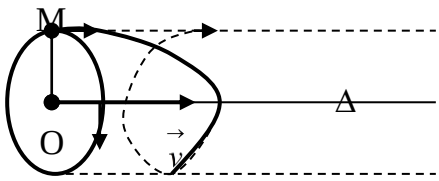


- Nếu $v_1 < v < v_2$: Vật sẽ chuyển động trên **quỹ đạo elíp** chung quanh Trái đất (H.2)
- Nếu $v > v_2$: Vật sẽ chuyển động thoát ra khỏi sức hút của Trái đất trên **quỹ đạo hyperbol.** (H.2)

Một vòng tròn tâm O đang lăn trên một mặt phẳng ngang (vòng tròn quay và tâm O chuyển động tới với vận tốc $\vec{v}$, mặt phẳng vòng tròn luôn luôn nằm trong cùng một mặt phẳng thẳng đứng). Điểm M trên vòng tròn sẽ chuyển động trên **quỹ đạo là đường cong cycloid** (H.3).



Một vòng tròn tâm O đang quay quanh trục Δ của vòng tròn và tâm O chuyển động đều với vận tốc $\vec{v}$ theo phương của trục Δ. Điểm M trên vòng tròn sẽ chuyển động trên **quỹ đạo là đường cong xoắn ốc lò xo** (H.4)

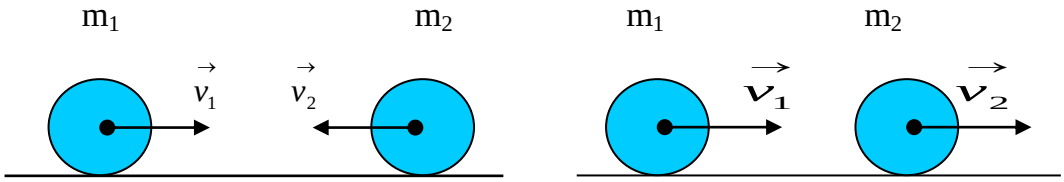


H.4

III.6. Va chạm

III.6.1. Va chạm đàn hồi xuyên tâm

Trong va chạm đàn hồi xuyên tâm giữa hai vật . Hệ tuân theo định luật bảo toàn động lượng và cơ năng. Ta lấy gốc thế năng tại vị trí mặt ngang va chạm. Nên trong va chạm đàn hồi xuyên tâm động năng của hệ bảo toàn.



Gọi $\vec{v}_1, \vec{v}_2$ là véctơ vận tốc của vật (1) và (2) trước va chạm , $\vec{v}_1', \vec{v}_2'$ là véctơ vận tốc sau va chạm.

Theo định luật bảo toàn động lượng ta có:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

Chọn chiều dương là chiều chuyển động của vật 1

Chiếu lên chiều chuyển động của vật (1) ta được:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$

$$m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2) \qquad (1)$$

Trong đó: $v_1 > 0$, còn v_1', v_2, v_2' nhận giá trị đại số.

Theo định luật bảo toàn cơ năng (động năng) ta có:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_1^2 = \frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2$$

$$m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2(v_2'^2 - v_2^2)$$

$$m_1(v_1 - v_1')(v_1 + v_1') = m_2(v_2' - v_2)(v_2' + v_2) \qquad (2)$$

Lấy (2) chia (1) theo vế ta được:

$$(v_1 + v_1') = (v_2' + v_2) \qquad (3)$$

Nhân hai vế (3) với m_2 ta được:

$$m_2 v_1 + m_2 v_1' = m_2 v_2' + m_2 v_2 \qquad (4)$$

Lấy (4) trừ (1) theo vế ta được:

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2) v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2} \qquad (1\text{-}101)$$

Nhân hai vế (3) với m_1 ta được:

$$m_1 v_1 + m_1 v_1' = m_1 v_2' + m_1 v_2 \qquad (5)$$

Lấy (5) cộng (1) theo vế ta được :

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1) v_2 + 2 m_1 v_1}{m_1 + m_2} \qquad (1\text{-}102)$$

Trường hợp $m_1 = m_2$: suy ra $v_1' = v_2$ và $v_2' = v_1$ hai vật trao đổi vận tốc.

Trường hợp $m_2 >> m_1$ và $v_2 = 0$: suy ra $v_1' = - v_1$ và $v_2' \approx 0$.

III.6.2.Va chạm mềm

Trong va chạm mềm giữa hai vật, hệ chỉ tuân theo định luật bảo toàn động lượng, cơ năng của hệ giảm, vì thế năng bằng không , nên động năng của hệ giảm. Sau va chạm hai vật dính vào nhau chuyển động cùng véctơ vận tốc $\vec{v}$.

Theo định luật bảo toàn động lượng ta có:

$$m_1 \vec{v_1} + m_2 \vec{v_2} = (m_1 + m_2) \vec{v}$$

Chọn chiều dương là chiều chuyển động của vật 1

Chiếu lên chiều chuyển động của vật (1) ta được:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v$$

$$v = \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2} \qquad (1\text{-}103)$$

Trong đó: $v_1 > 0$, còn v và v_2 nhận giá trị đại số.

Ta có độ giảm động năng của hệ sau va chạm:

$$-\Delta E_đ = ½ m_1 v_1^2 + ½ m_2 v_2^2 - ½ (m_1 + m_2) v^2$$

$$-\Delta E_đ = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)^2 \qquad (1\text{-}104)$$

Độ giảm động năng của hệ có giá trị bằng công làm biến dạng hệ hay độ tăng nội năng của hệ.

IV. Cơ học chất lưu

IV.1. Các khái niệm cơ bản

IV.1.1. Chất lưu

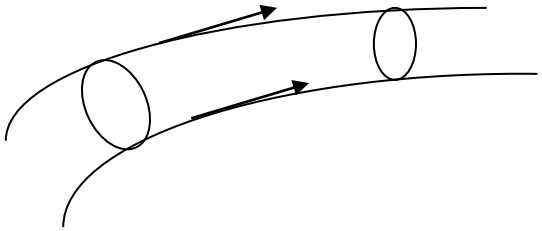
Sự chảy của chất lỏng hay chất khí được gọi là chất lưu. Chất lưu mà trong đó không có lực nội ma sát và không chịu nén được gọi là chất lưu lý tưởng. Chất lưu chảy trong các ống, rãnh ngắn và đủ rộng có thể xem gần đúng với chất lưu lý tưởng.

IV.1.2. Đường dòng và ống dòng

Khi chất lưu chuyển động thì mỗi hạt của chất lưu sẽ có một vận tốc. Nếu vận tốc của hạt chất lưu chỉ phụ thuộc vào vị trí của hạt trong không gian mà không phụ thuộc vào thời gian thì sự chảy của chất lưu được gọi là sự chảy dừng.

Đường cong vẽ trong không gian sao cho tại mỗi điểm trên đường cong tiếp tuyến của nó trùng với vec tơ vận tốc của hạt chất lưu tại điểm đó được gọi là đường dòng. Trong sự chảy dừng, đường dòng trùng với quỹ đạo của hạt chất lưu.

Mặt tạo bởi các đường dòng vẽ theo một chu tuyến nhỏ được gọi là ống dòng. Trong sự chảy dừng, các hạt chất lưu chỉ chảy trong một ống dòng xác định.



IV.2. Tĩnh học chất lưu

IV.2.1. Áp suất thủy tĩnh

Áp suất của chất lưu đang ở trạng thái tĩnh tại một nơi nào đó có độ lớn bằng lực nén tác dụng theo phương vuông góc lên một đơn vị diện tích của chất lưu tại nơi đó.

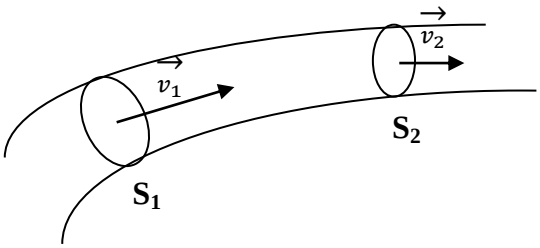
$$P = \frac{F}{\triangle S} \qquad (N/m^2 = Pa) \qquad (1\text{-}105)$$

Trong đó F là lực nén tác dụng theo phương vuông góc lên diện tích $\triangle$S.

IV.2.2. Nguyên lý Pascal

"Độ tăng áp suất lên một chất lỏng chứa trong bình kín được truyền nguyên vẹn đến mọi điểm cuat chất lòng và thành bình".

IV.2.3. Phương trình liên tục.



Gọi v_1 và v_2 là vận tốc của chất lưu tại S_1 và S_2. Vì sự chảy dừng nên khối lượng của chất lưu trong ống giới hạn bởi S_1 và S_2 là không đổi. Gọi m_1 và m_2 là khối lượng của chất lưu chảy qua S_1 và S_2 trong một giây. Ta có:

$m_1 = \rho_1.S_1.v_1$

$m_2 = \rho_2.S_2.v_2$

Với ρ_1. và ρ_1. là khối lượng riêng của chất lưu tại S_1 và S_2.

Do $m_1 = m_2$. Suy ra: $= \rho_1.S_1.v_1 = \rho_2.S_2.v_2$

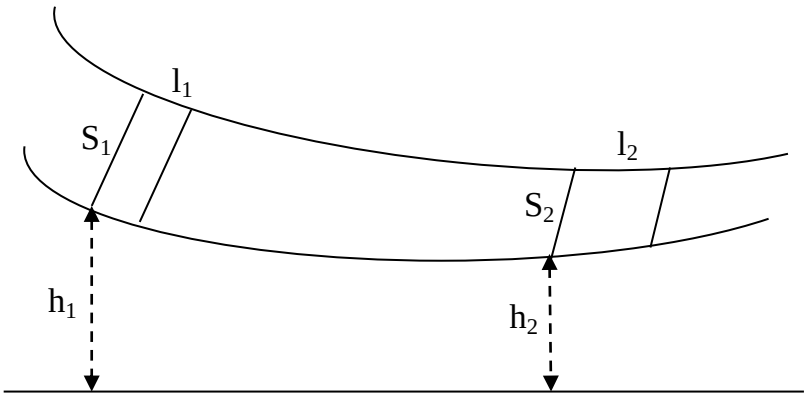
Hay: $\rho.S.v = const$

Nếu chất lưu không chịu nén thì ρ= const. Khi đó: **S.v = const** (1-106)

Phương trình (1-106) được gọi là Phương trình liên tục. Ta thấy tại nơi có tiết diện nhỏ thì vận tốc chất lưu lớn và ngược lại.

IV.3. Phương trình Bernoulli

Xét một ống dòng của chất lưu lý tưởng chảy dừng.



Gọi S_1 và S_2 là hai tiết diện bất kỳ của ống dòng. Ta khảo sát chuyển động của khối chất lưu giữa S_1 và S_2.

Khi S_1 dịch chuyển một đoạn l_1 thì S_2 dịch chuyển đoạn l_2. Vì là chảy dừng nên:

$\triangle V = s_1.l_1 = S_2.l_2$

Độ biến thiên năng lượng của khối chất lưu trong sự dịch chuyển này là:

$\triangle E = (\frac{1}{2}. \rho.v_2^2 + \rho. \triangle V.g.h_2) - (\frac{1}{2}. \rho.v_1^2 + \rho. \triangle V.g.h_1)$

Độ biến thiên năng lượng này bằng công của ngoại lực tác dụng lên khối chất lưu:

$\triangle E = \triangle A = p_1.s_1.l_1 - p_2.s_2.l_2 = p_1. \triangle V - p_2. \triangle V$

Với p_1, p_2 là áp suất chất lưu tại S_1 và S_2.

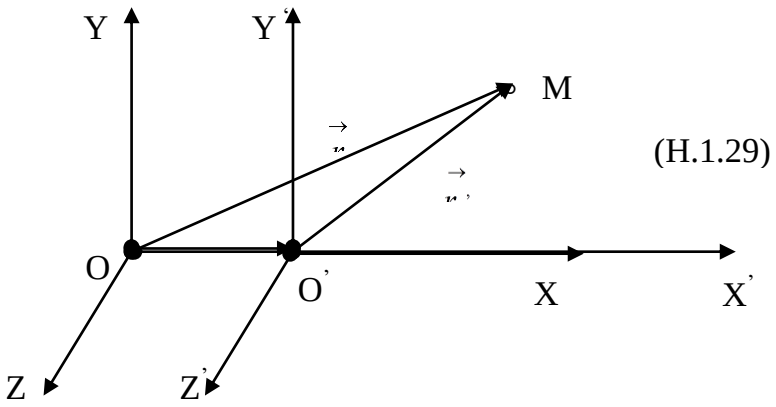
Suy ra: $\frac{1}{2}. \rho.v_2^2 + \rho.g.h_2 + p_2 = \frac{1}{2}. \rho.v_1^2 + \rho.g.h_1 + p_1$

Hay: $\mathbf{\frac{1}{2}. \rho.v^2 + \rho.g.h + p = const}$ (1-107)

Biểu thức (1-107) được gọi là phương trình Bernoulli.

V. Cơ học tương đối Einstein

V.1. Phép biến đổi Galilei



(H.1.29)

Phép biến đổi Galilei là phép biến đổi không gian và thời gian từ hệ qui chiếu quán tính O(x,y,z.t) sang hệ qui chiếu quán tính O'(x',y',z',t').

Hệ O' chuyển động thẳng đều đối với O với vận tốc $\vec{v}$.

Sao cho hai trục OX và OX' trượt lên nhau.

Hai trục OY và O'Y' song song

Hai trục OZ và O'Z' song song

Từ hình (H.6.1) ta có:

$$\vec{r} = \vec{OO'} + \vec{r'}$$

Hay: $$\vec{r} = \vec{v}t + \vec{r'} \qquad (1)$$

Theo cơ học Newton:

$$t = t' \qquad (2)$$

Các biểu thức (1) và (2) là phép biến đổi Galilei

Theo phép biến đổi Galilei khoảng không gian L và khoảng thời gian

$\Delta t = t_2 - t_1$ trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau là bằng nhau.

Chiếu (1) các trục toạ độ ta được:

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + vt' \\ y &= y' \\ z &= z' \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

$$t = t'$$

Hay:
$$\left.\begin{aligned} x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Nhận xét:

Đạo hàm theo thời gian biểu thức (1) ta sẽ dẫn ra công thức cộng véctơ vận tốc:

$$\vec{u} = \vec{v} + \vec{v'}$$

Trong đó:

- $\vec{u} = \frac{d\vec{r}}{dt}$: Véctơ vận tốc của chất điểm M đối với hệ qui chiếu quán tính O
- $\vec{v}$: Véctơ vận tốc của hệ qui chiếu quán tính O' đối với hệ qui chiếu quán tính O
- $\vec{v'} = \frac{d\vec{r'}}{dt}$: Véctơ vận tốc của chất điểm M đối với hệ qui chiếu quán tính O'
- Như vậy phép biến đổi Galilei bao hàm công thức cộng véctơ vận tốc

V.2. Nguyên lý tương đối Galilei

Phát biểu 1: Các định luật **cơ học** xảy ra giống nhau trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau.

Phát biểu 2: Các phương trình cơ học bất biến đối với phép biến đổi Galilei.

V.3. Thuyết tương đối hẹp của Einstein

V.3.1. Tiên đề 1: Nguyên lý tương đối Einstein:

Các định luật **vật lý** xảy ra giống nhau trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau. Suy ra các hệ qui chiếu quán tính tương đương nhau.

Phép biến đổi Galilei không phù hợp với tiên đề 1.

Phân tích:

1) Nguyên lí tương đối Einstein bao hàm cả nguyên lí tương đối Galilei
2) Phép biến đổi Galilei chỉ dùng đúng trong phạm vi cơ học và không dùng đúng trong toàn bộ vật lý.
3) Các hệ qui chiếu quán tính là tương đương nhau, vì các định luật vật lý xảy ra giống nhau.
4) Vậy cần phải xây dựng một phép biến đổi không gian và thời gian mới dùng đúng trong toàn bộ vật lý

V.3.2. Tiên đề 2

Vận tốc ánh sáng trong chân không có giá trị giống nhau ($c = 3.10^8 m/s$) trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau.

Phép biến đổi Galilei không phù hợp với tiên đề 2.

Phân tích:

1) Vận tốc ánh sáng trong chân không có giá trị giống nhau (c = 3.10^8m/s) trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau. Kết quả này là được đo bằng thực nghiệm.

2) Phép biến đổi Galilei hay phép cộng véctơ vận tốc: $\vec{u} = \vec{v} + \vec{v}'$ không giải thích được kết quả thực nghiệm này.

V.4. Phép biến đổi Lorentz

Phép biến đổi Lorentz được xây dựng sao cho nó bao hàm phép biến đổi Galilei và phù hợp với hai tiên đề của lý thuyết tương đối.

Ta có phép biến đổi Lorent giữa hai hệ qui chiếu quán tính O(x,y,z.t) và $O'(x',y',z',t')$

a/ $O'(x',y',z',t') \rightarrow O(x,y,z.t)$

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}108)$$

b/ $O(x,y,z.t) \rightarrow O'(x',y',z',t')$

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}109)$$

Khi v << c phép biến đổi Lorentz trở thành phép biến đổi Galilei.

Nếu v > c không gian và thời gian là đại lượng ảo. Như vậy theo lý thuyết tương đối vận tốc của một vật không thể lớn hơn vận tốc của ánh sáng trong chân không.

Phép biến đổi Lorentz phù hợp với hai tiên đề của Einstein.

V.5. Động học tương đối

V.5.1. Tổng hợp vận tốc

Ta có:

$$v_x = \frac{dx}{dt} \quad , \quad v_y = \frac{dy}{dt} \quad , \quad v_z = \frac{dz}{dt}$$

$$v_x^{'} = \frac{dx^{'}}{dt^{'}} \quad , \quad v_y^{'} = \frac{dy^{'}}{dt^{'}} \quad , \quad v_z^{'} = \frac{dz^{'}}{dt^{'}}$$

Từ phép biến đổi Lorentz (6-1) ta có:

$$dx = \frac{dx^{'} + vdt^{'}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad , \quad dt = \frac{dt^{'} + \frac{vdx^{'}}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$dy = dy^{'} \quad , \quad dz = dz^{'}$$

Suy ra: $v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{dx^{'} + vdt^{'}}{dt^{'} + \frac{vdx^{'}}{c^2}}$

Chia tử và mẫu cho $dt^{'}$ ta được: $v_x = \frac{v_x^{'} + v}{1 + \frac{v.v_x^{'}}{c^2}}$ (a)

Ta có: $v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{dy^{'}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{dt^{'} + \frac{vdx^{'}}{c^2}}$

Chia tử và mẫu cho $dt^{'}$: $v_y = \frac{v_y^{'}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v.v_x^{'}}{c^2}}$ (b)

Tương tự ta có: $v_z = \frac{v_z^{'}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v.v_x^{'}}{c^2}}$ (c)

Như vậy từ phép biến đổi Lorentz (1-108) ta dẫn ra được công thức cộng vận tốc theo lí thuyết tương đối như sau:

$$v_x = \frac{v_x^{'} + v}{1 + \frac{v.v_x^{'}}{c^2}} \qquad v_y = \frac{v_y^{'}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v.v_x^{'}}{c^2}} \qquad v_z = \frac{v_z^{'}\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v.v_x^{'}}{c^2}} \qquad (1\text{-}110)$$

Tương tự từ phép biến đổi Lorentz (6-2) ta suy ra:

$$v_x' = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} \qquad v_y' = \frac{v_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} \qquad v_z' = \frac{v_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} \qquad (1\text{-}111)$$

Chú ý:

Các biểu thức (1-110) được áp dụng cho trường hợp: cho v_x', v_y', v_z' tìm v_x, v_y, v_z. Còn ngược lại dùng các công thức (1-111)

Bài tập 1.21:

Trong hệ qui chiếu quán tính O ánh sáng truyền dọc theo trục OX có vận tốc $v_x = c = 3.10^8$ m/s. Hãy tính vận tốc v' của ánh sáng trong hệ qui chiếu quán tính O'. Hệ qui chiếu quán tính O' chuyển động đối với hệ O với vận tốc v

Phương pháp giải

Ta có $v_x = c$, $v_y = 0$ và $v_z = 0$

Theo $v_y' = \frac{v_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}}$ $v_z' = \frac{v_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}}$ ta suy ra: $v_y' = 0, v_z' = 0$

Theo $v_x' = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} = \frac{c - v}{1 - \frac{v.c}{c^2}} = \frac{c - v}{1 - \frac{v}{c}} = \frac{c - v}{c - v}c = c$

Vậy vận tốc ánh sáng trong hệ O'

$$v' = \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2 + v_z'^2} = \sqrt{c^2 + 0 + 0} = c$$

$$v' = c = 3.10^8\ m/s$$

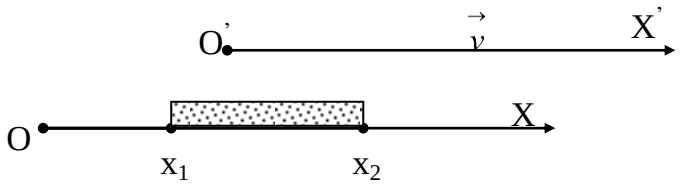
Như vậy vận tốc ánh sánh trên các hệ quán tính khác nhau là giống nhau.

Phép biến đổi Lorentz là phù hợp với tiên đề 2 của lí thuyết tương đối

Bài tập 1.22:

Trong hệ qui chiếu quán tính O ánh sáng truyền dọc theo trục OY có vận tốc $v_y = c = 3.10^8$ m/s. Hãy tính vận tốc v' của ánh sáng trong hệ qui chiếu quán tính O'. Hệ qui chiếu quán tính O' chuyển động đối với hệ O với vận tốc v.

V.5.2. Tính tương đối của khoảng không gian



Ta có hai hệ qui chiếu quán tính OX và O'X'.

Hệ O'X' chuyển động trượt lên OX với vận tốc v.

Một thanh có chiều dài ℓ đặt đứng yên dọc theo trục OX :

$$\ell = x_2 - x_1$$

Để xác định chiều dài của thanh trong hệ O'X' mà nó chuyển động: $\ell' = x_2' - x_1'$.

Quan sát viên trong hệ O'X' phải xác định vị trí đầu và cuối của thanh tại cùng một thời điểm t'.

Từ phép biến đổi Lorentz (1-108) ta có:

$$x_1 = \frac{x_1' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{(a)}$$

$$x_2 = \frac{x_2' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{(b)}$$

Từ (a) và (b) ta suy ra:

$$x_2 - x_1 = \frac{x_2' - x_1'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Hay: $$\ell' = \ell\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad \text{(1-112)}$$

Vì: $$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < 1$$

Nên : $\ell' < \ell$

Chiều dài của thanh đo được ℓ' trong hê qui chiếu mà nó chuyển động ngắn hơn chiều dài của thanh đo được ℓ trong hệ qui chiếu mà nó đứng yên.

Sự co ngắn chỉ xảy ra theo phương chuyển động. Còn phương vuông góc với phương chuyển độngbình thường(không co).

Ghi nhớ:

a/ Để dẫn ra biểu thức (1-112) quan sát viên trong hệ O' phải xác định điểm đầu và điểm cuối của thanh tại cùng một thời điểm: $t_1' = t_2' = t'$

b/Chiều dài của thanh được đo trong trường hợp: người đo và thanh đứng yên đối với nhau, được gọi là chiều dài riêng và kí hiệu là ℓ_o.

Chiều dài của thanh được đo trong trường hợp: người đo và thanh chuyển động đối với nhau được gọi là chiều dài động và kí hiệu là ℓ.

Theo lí thuyết tương đối ta có quan hệ giữa chiều dài riêng ℓ_o và chiều dài động ℓ :

$$\ell = \ell_o \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Chiều dài riêng dài hơn chiều dài động: $\ell_o > \ell$

Chú ý:

- Nếu: v = 0,6 c thì $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,8$
- Nếu: v = 0,8 c thì $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,6$

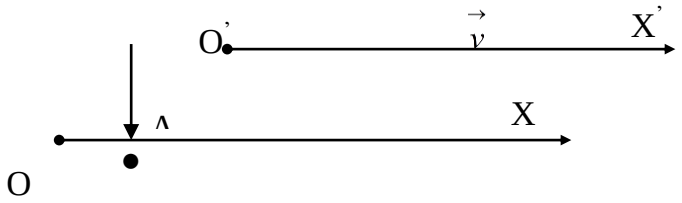
Bài tập 1.23: Hệ qui chiếu quán tính OX đứng yên. Hệ qui chiếu quán tính O'X' song song với OX và chuyển động đối với OX với vận tốc v = 0,8c. Một thanh đặt dọc theo trục OX. Đối với người đứng trong hệ OX thanh có chiều dài ℓ = 1m. Đối với người đứng trong hệ O'X' thanh có chiềudài ℓ' bằng bao nhiêu?

Đáp số: ℓ' = 0,6 m

Bài tập 1.24: Hệ qui chiếu quán tính OX đứng yên. Hệ qui chiếu quán tính O'X' song song với OX và chuyển động đối với OX với vận tốc v = 0,6c. Một thanh đặt hợp với trục OX một góc $\alpha = 45^o$. Đối với người đứng trong hệ OX thanh có chiều dài ℓ = 1m. Đối với người đứng trong hệ O'X' thanh có chiều dài ℓ' bằng bao nhiêu?

Đáp số: ℓ' = 0,9 m

V.5.3. Tính tương đối của khoảng thời gian



Giả sử ở điểm A toạ độ x_A trong hệ OX mà A đứng yên có xảy ra một biến cố kéo dài trong khoảng thời gian : $\Delta t = t_2 - t_1$

Hãy xác định khoảng thời gian xảy ra biến cố đó $\Delta t' = t_2' - t_1'$ trong hệ O'X' chuyển động đối với A.

Từ phép biến đổi Lorentz (1-109) ta có:

$$t_1' = \frac{t_1 - \frac{v}{c^2} x_A}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{(a)}$$

$$t_2' = \frac{t_2 - \frac{v}{c^2}x_A}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{(b)}$$

Từ (a) và (b) ta suy ra:

$$\left(t_2' - t_1'\right) = \frac{(t_2 - t_1)}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Hay: $$\Delta t = \Delta t' \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad \text{(1-113)}$$

Vì: $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < 1$ nên $\Delta t < \Delta t'$

Vậy khoảng thời gian xảy ra của một biến cố đối với hệ mà nó đứng yên Δt là nhỏ hơn khoảng thời gian $\Delta t'$ của biến cố đối với hệ mà nó chuyển động.

Ghi nhớ:

Khoảng thời gian của biến cố được đo trong trường hợp: người đo và biến cố đứng yên đối với nhau được gọi là khoảng thời gian riêng và kí hiệu là Δt_o.

Khoảng thời gian của biến cố được đo trong trường hợp: người đo và biến cố chuyển động đối với nhau, được gọi là khoảng thời tương đối và kí hiệu là Δt. Theo lí thuyết tương đối ta có quan hệ giữa khoảng thời gian riêng Δt_o và khoảng thời gian tương đối Δt:

$$\Delta t_o = \Delta t \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

Khoảng thời gian riêng ngắn hơn khoảng thời gian tương đối: $\Delta t_o < \Delta t$

Câu hỏi:

Trường hợp biến cố xảy ra tại vị trí x_A' trong hệ qui chiếu quán tính O'. Hãy dẫn ra biểu thức toán học thể hiện tính tương đối của khoảng thời gian theo lí thuyết tương đối.

<u>Bài tập 1.25</u>:

Hệ qui chiếu quán tính OX đứng yên. Hệ qui chiếu quán tính O'X' song song với OX và chuyển động đối với OX với vận tốc v = 0,8c. Một biến cố xảy ra tại A trên hệ O'X'. Đối với người đứng trong hệ OX biến cố xảy ra trong khoảng thời gian Δt = 10s. Đối với người đứng trong hệ O'X' biến cố xảy ra trong khoảng thời gian $\Delta t'$ bằng bao nhiêu?

Đáp số: $\Delta t'$ = 6 s

V.5.4.Tính tương đối của sự đồng thời

Giả sử trong hệ OX có hai biến cố A và B ở toạ độ x_A và x_B, xảy ra tại thời điểm t_A và t_B.

Theo phép biến đổi Lorentz (1-109) quan sát viên đứng trong hệ O'X' chuyển động đối với hai biến cố A và B với vận tốc v sẽ ghi nhận hai biến cố A và B xảy ra tại thời điểm :

$$t'_A = \frac{t_A - vx_A/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$t'_B = \frac{t_B - vx_B/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Suy ra : $t'_A - t'_B = \frac{(t_A - t_B) + (x_B - x_A)\,v/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ (1-114)

Theo (1-114) nếu biến cố A và B xảy ra tại hai điểm khác nhau : $x_A \neq x_B$. Quan sát viên đứng trên hệ OX thấy đồng thời: $t_A = t_B$ thì quan sát viên đứng trong hệ O'X' thấy không đồng thời : $t'_A \neq t'_B$.

CHƯƠNG 2: NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

I. Các khái niệm mở đầu

I.1 Chuyển động nhiệt

Chuyển động nhiệt là chuyển động hỗn loạn không ngừng của các phân tử hay nguyên tử.

Phân Tích:

Chuyển động nhiệt là chuyển động hỗn loạn không ngừng của các phân tử trong một tập hợp có số phân tử rất lớn.

Giả sử trong một thể tích V chỉ chứa có một phân tử khí thì đây không phải là đối tượng nghiên cứu chuyển động nhiệt của chủ đề này.

I.2. Nhiệt độ

Nhiệt độ T là đại lượng vật lí đo năng lượng chuyển động nhiệt trung bình của các phân tử hay nguyên tử. Theo lí thuyết động học phân tử khí thì nhiệt độ T của khí lí tưởng tỉ lệ với động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí: $T = \beta \overline{W_{\text{đ}}} = \beta \frac{1}{2} m \overline{v^2}$.

Đơn vị của thang nhiệt độ tuyệt đối T là K (nhiệt giai Kelvin), đơn vị của thang nhiệt độ bách phân t là ^{O}C (nhiệt giai Celsius). Ta có quan hệ giữa thang nhiệt độ tuyệt đối T và thang nhiệt độ bách phân t.

$$T = t + 273{,}15 \qquad (2\text{-}1)$$

Câu hỏi:

1) Nhiệt độ tuyệt đối T có thể bằng 0 và âm không? Giải thích
2) Nhiệt độ bách phân t có thể bằng 0 và âm không?
3) Nhiệt độ bách phân t có giá trị giới hạn nhỏ nhất bằng bao nhiêu?
4) Khi nhiệt độ của một khối khí tăng thì tốc độ của phân tử khí thế nào?

I.3. Áp suất

Áp suất p là đại lượng lực tác dụng vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$p = \frac{F_n}{S} \qquad (2\text{–}2)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị áp suất là N/m^2 (Pa).

Ta có quan hệ N/m^2 với những đơn vị áp suất khác ngoài hệ (SI) :

1 mmHg = 133,322 N/m^2 = 1 Tor (Torricelli)

1atm = 10,1325.10^4 N/m^2 = 760 mmHg .

1at = 9, 81.10^4 N/m^2 = 736 mmHg .

Áp suất động học của chất khí do các phân tử khí chuyển động va chạm vào thành bình gây ra.

Câu hỏi: Trong "giác hơi" người ta hơ nóng lọ thủy tinh, rồi úp lên lưng người, da lưng phồng lên trong lọ thủy tinh. Giải thích, tại sao vậy?

I.4. kmol

kmol là lượng chất chứa số phân tử hay nguyên tử bằng số Avogadro:

$$N_A = 6{,}02 .10^{26}$$

Ta có khối lượng của một kmol của một số chất :

H_2 : $\mu = 2$ kg

H_e : $\mu = 4$ kg

N_2 : $\mu = 28$ kg

O_2 : $\mu = 32$ kg

CO_2 : $\mu = 44$ kg

Câu hỏi:

1) Một phân tử khí N_2 có khối lượng bao nhiêu?
2) Số phân nước (H_2O) trong 1g nước ?

I.5. Khí lí tưởng

- Khí lí tưởng là chất khí mà khi nghiên cứu có thể bỏ qua sự tương tác giữa các phân tử, chúng chỉ tương tác với nhau khi va chạm .
- Sự va chạm giữa các phân tử và giữa phân tử với thành bình tuân theo những qui luật của va chạm đàn hồi.
- Khí lí tưởng là mô hình của một chất khí cụ thể ở điều kiện loãng – áp suất thấp.

II. Các định luật về chất khí

II.1. Định luật Boyle – Mariotte

Boyle (1627 – 1681) người Anh, Mariotte (1620 – 1684) người Pháp. Định luật Boyle – Mariotte do Boyle đưa ra năm 1662 và Mariotte đưa ra năm 1679.

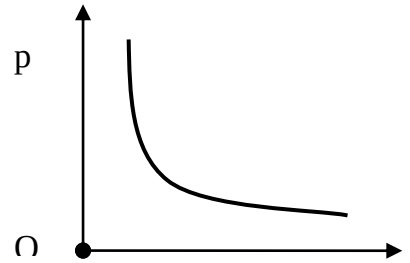
Quá trình đẳng nhiệt là quá trình nén hay dãn khối khí và giữ nhiệt độ không đổi (T = const).

Phát biểu:

Trong quá trình nén hay dãn đẳng nhiệt một khối khí lí tưởng có khối lượng không đổi, khối khí tuân theo định luật Boyle – Mariotte:

$$pV = \text{const} \qquad (2-3)$$

Biểu thức (2-3) là định luật Boyle – Mariotte.



Trên hệ trục OpV quá trình đẳng nhiệt biểu diễn bằng đường cong hyperbol, được gọi là đường đẳng nhiệt .

Nhận xét:

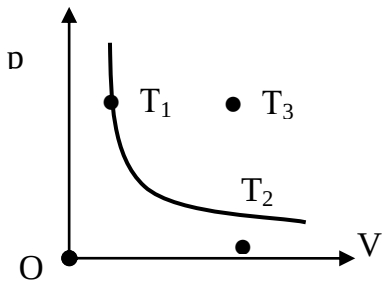
1) Trong quá trình đẳng nhiệt thể tích V và áp suất p của khối khí tỉ lệ nghịch.Trong quá trình nén đẳng nhiệt khí lí tưởng. Nếu thể tích V giảm đi 2 lần thì áp suất p tăng lên 2 lần.Trong quá trình dãn đẳng nhiệt khí lí tưởng. Nếu thể tích V tăng lên 2 lần thì áp suất p giảm xuống 2 lần.
2) Bất cứ chất khí nào chứa trong bình: H_2, N_2, O_2 ….mà tuân theo định luật Boyle – Mariotte (2-3) thì được gọi là khí lí tưởng. Như vậy khí lí tưởng là một trạng thái của chất khí, ở điều kiện loãng, áp suất thấp, các phân tử không tương tác nhau.
3) Các chất khí ở điều kiện: các phân tử ở gần nhau, tương tác với nhau, áp suất cao, không tuân theo định luật Boyle-Mariotte (2-3) được gọi là khí thực. Như vậy khí lí tưởng hay khí thực là hai trạng thái của chất khí có thực cụ thể: H_2, N_2, O_2 …

Phân tích:

Theo thuyết động học phân tử khí nhiệt độ T của khối khí càng lớn thì tốc độ của phân tử khí càng lớn. Tốc độ phân tử khí càng lớn khi va chạm với thành bình sẽ tác dụng lên thành bình một lực càng lớn.

Trong quá trình đẳng nhiệt nhiệt độ T không đổi, dẫn đến tốc độ trung bình các phân tử khí không đổi, dẫn đến lực phân tử khí tác dụng lên thành bình khi va chạm không đổi.

Khi nén đẳng nhiệt, ví dụ thể tích V của khối khí giảm đi 2 lần thì mật độ phân tử khí: $n_0 = n/V$ tăng lên 2 lần, dẫn đến lực của các phân tử khí tác dụng lên một đơn vị diện tích thành bình tăng lên 2 lần, dẫn đến áp suất p tăng lên 2 lần.



Câu hỏi:

1/ So sánh nhiệt độ T_1 và T_2

2/ So sánh nhiệt độ T_1 và T_3

II.2. Định luật Gay - Lussac

Gay Lussac (1778 – 1850) người Pháp

Định luật Gay Lussac do Gay Lussac đưa ra năm 1802.

Quá trình đẳng áp là quá trình hơ nóng hay làm lạnh khối khí và giữ áp suất không đổi (p = const).

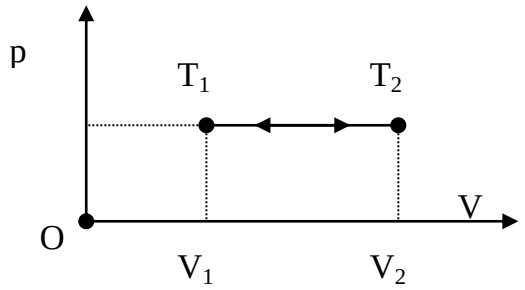
Phát biểu:

Trong quá trình hơ nóng hay làm lạnh đẳng áp một khối khí lí tưởng có khối lượng không đổi. Khối khí tuân theo định luật Gay Lussac:

$$\frac{V}{T} = const \qquad (2– 4)$$

Biểu thức (2-4) là định luật Gay Lussac.

Trên hệ trục OpV quá trình đẳng áp biểu diễn bằng đoạn thẳng song song với trục OV, được gọi là đường đẳng áp.



Nhận xét:

1) Trên hình vẽ nhiệt độ T_1 nhỏ hơn nhiệt độ T_2
2) Trong quá trình đẳng áp thể tích V của khối khí tỉ lệ thuận với nhiệt độ T
3) Khối khí tuân theo định lật Gay Lusacc là khí lí tưởng

Câu hỏi:

Hãy dùng lí thuyết động học phân tử khí, giải thích tại sao trong quá trình đẳng áp khi nhiệt độ T khối khí tăng lên 2 lần mà áp suất p khối khí lại không đổi.

II.3. Định luật Charles

Quá trình đẳng tích là quá trình hơ nóng hay làm lạnh khối khí và giữ thể tích không đổi (V = const).

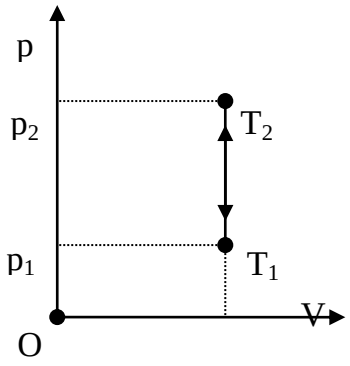
Phát biểu:

Trong quá trình hơ nóng hay làm lạnh đẳng tích một khối khí lí tưởng có khối lượng không đổi. Khối khí tuân theo định luật Charles:

$$\frac{p}{T} = const \qquad (2 – 5)$$

Biểu thức (2-5) là định luật Charles**.**

Trên hệ trục OpV quá trình đẳng tích được biểu diễn bằng đoạn thẳng song song với trục Op, được gọi là đường đẳng tích.



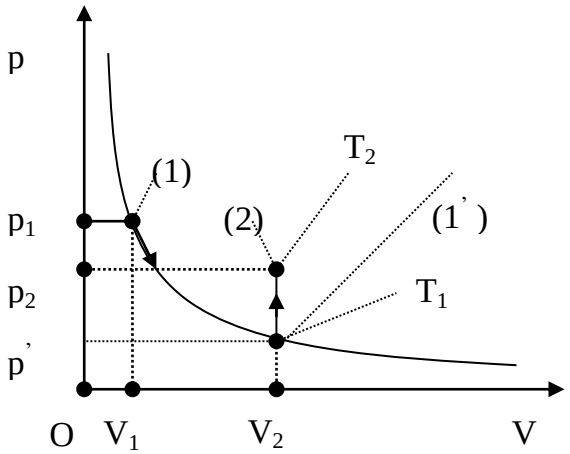
Nhận xét:

1) Trên hình vẽ nhiệt độ T_1 nhỏ hơn nhiệt độ T_2
2) Trong quá trình đẳng tích áp suất p của khối khí tỉ lệ thuận với nhiệt độ T
3) Khối khí tuân theo định lật Charles là khí lí tưởng

Câu hỏi:

Hãy dùng lí thuyết động học phân tử khí, giải thích tại sao trong quá trình đẳng tích khi nhiệt độ T khối khí tăng lên 2 lần thì áp suất p của khối khí cũng tăng lên 2 lần.

II.4. Phương trình trạng thái khí lí tưởng



Cho dãn khối khí lí tưởng từ trạng thái (1) đến trạng thái (1') theo quá trình đẳng nhiệt ở nhiệt độ T_1. Từ định luật Boyle - Mariotte, ta có:

$$p_1V_1 = p'V_2 \qquad (1)$$

Hơ nóng khối khí từ trạng thái (1') nhiệt độ T_1 đến trạng thái (2) nhiệt độ T_2 theo quá trình đẳng tích.

Từ định luật Charles, ta có:

$$\frac{p'}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \qquad (2)$$

Thế (2) vào (1) ta suy ra: $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$

Vậy: $$\frac{pV}{T} = R = const$$

Trong đó R là hằng số khí lí tưởng được xác định bằng thực nghiệm .

Từ thực nghiệm, Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI), đối với một kmol khí lí tưởng, ta xác định được.

$$R = 8{,}31.10^3 \text{ J/kmol.K}$$

Suy ra: $$pV = RT \qquad (2-6)$$

Biểu thức (2-6) là phương trình trạng thái **đối với một kmol khí lí tưởng**.

Dễ dàng suy ra phương trình trạng thái khí lí tưởng đối với một khối khí có khối lượng m bất kì.

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \qquad (2-7)$$

Trong đó μ là khối lượng của 1 kmol khí

Đặt: $R = k N_a$ (2– 8)

Suy ra: $k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31.10^3}{6,02.10^{26}} = 1,38.10^{-23}\ J/K$

$k = 1,38.10^{-23}$ J/K: là hằng số Boltzmann.

Biểu thức (2-7) được viết lại:

$$pV = n k T \qquad (2-9)$$

Với n là số phân tử khí có trong bình.

Nhận xét:

Mọi chất khí khác nhau: H_2, N_2, O_2 …, nếu có cùng thể tích V, áp suất p, và nhiệt độ T thì theo (2-9) sẽ có cùng số phân tử khí n.

Chú ý:

1) Trong biểu thức (2-7)
   - Đơn vị áp xuất p: N/m^2. Sinh viên hay sai: lấy đơn vị at
   - Đơn vị thể tích V: m^3. Sinh viên hay sai: lấy đơn vị lít
   - Đơn vị khối lượng m: kg. Sinh viên hay sai: lấy đơn gam (g)
   - Đơn vị nhiệt độ T: K. Sinh viên hay sai: lấy đơn vị ^0C
2) Trong biểu thức (2-9) sinh viên hay sai: gọi n là số mol.

Câu hỏi:

Hãy trình bày cách dẫn từ biểu thức (2-7) ra biểu thức (2-9).

<u>Bài tập 2.1</u>:

Có hai bình A và B được nối với nhau bằng một ống nhỏ có khóa và chứa cùng loại khí lí tưởng. Bình A có thể tích V_1, áp suất $p_1 = 5.10^5\ N/m^2$ và nhiệt độ $T_1 = 300K$. Bình B có thể tích $V_2 = 4V_1$, áp suất $p_2 = 10^5\ N/m^2$ và nhiệt độ $T_2 = 400K$.

Mở khóa, khi cân bằng được thiết lập, chúng có cùng áp suất, nhưng nhiệt độ mỗi bình vẫn giữ nguyên giá trị ban đầu. Áp suất p của hệ bằng bao nhiêu?

Đáp số: $p = 2.10^5\ N/m^2$

Hướng dẫn: Áp dụng phương trình trạng thái khí lí tưởng và nhớ rằng khối lượng của hệ trước và sau mở khóa bằng nhau.

III. Nội năng khí lí tưởng

III.1. Nội năng khí lí tưởng

Nội năng khí lí tưởng bằng tổng năng lượng chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử khí.

III.2. Số bậc tự do của phân tử

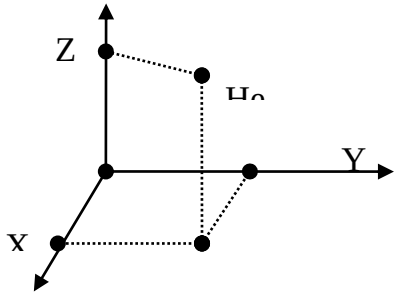
III.2.1. Định nghĩa

Số bậc tự do i của phân tử là số toạ độ cần thiết để xác định vị trí của phân tử trong không gian .

III.2.2. Phân tử một ngyên tử: He

Đối với phân tử một nguyên tử được biểu diễn bằng một chất điểm chỉ có chuyển động tịnh tiến. Để xác định vị trí trong không gian cần 3 toạ độ : x, y, z

Vậy phân tử một nguyên tử có số bậc tự do: $i = i_{tt} = 3$

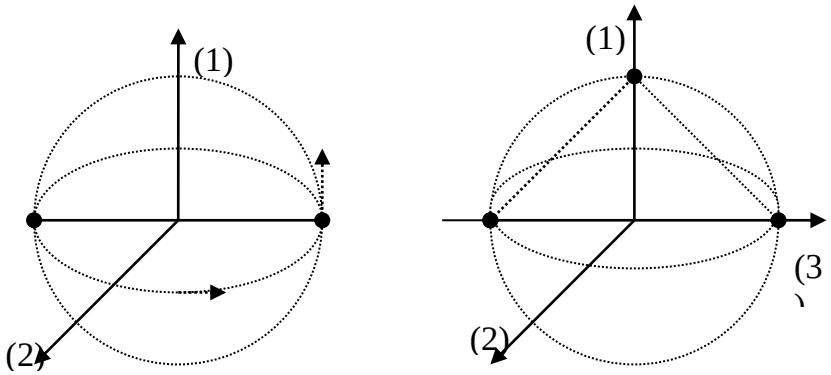


III.2.3. Phân tử hai nguyên tử: H_2, N_2, O_2...

Phân tử hai nguyên tử được biểu diễn bằng hệ hai chất điểm. Phân tử vừa có chuyển động tịnh tiến trong không gian, vừa có chuyển động quay . Để xác định chuyển động tịnh tiến trong không gian cần 3 toạ độ (x, y , z). Để xác định chuyển động quay quanh các trục (1) và (2) cần 2 toạ độ góc (α , φ).

Vậy phân tử hai nguyên tử có số bậc tự do: i = 5.

Trong đó: Chuyển động tịnh tiến $i_{tt} = 3$ và chuyển động quay $i_q = 2$



III.2.4. Phân tử có ba nguyên tử hay nhiều hơn: CO_2 …

Phân tử có ba nguyên tử hay nhiều hơn được biểu diễn bằng hệ ba chất điểm. Có số bậc tự do i = 6 . Trong đó có ba bậc tự do (x, y , z) xác định vị trí cho chuyển động tịnh tiến trong không gian . Ba bậc tự do (α, φ, θ) xác định chuyển động quay quanh các trục (1) , (2) và (3).

Trong đó: Chuyển động tịnh tiến $i_{tt} = 3$ và chuyển động quay $i_q = 3$

III.3. Định luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do

III.3.1 Phát biểu:

Năng lượng chuyển động nhiệt trung bình của phân tử khí lí tưởng được phân bố đều cho các bậc tự do. Mỗi bậc tự do có năng lượng tương ứng bằng $\frac{1}{2}$ *kT.*

Ta có năng lượng chuyển động nhiệt trung bình của các phân tử:

$$\overline{W_i} = \frac{i}{2}kT \qquad (2–10)$$

Trong đó: $k = 1{,}38.10^{-23}$ J/K là hằng số Boltzmann.

Nhận xét:

Năng lượng chuyển động nhiệt trung bình của phân tử khí không phụ thuộc vào khối lượng của phân tử khí.

III.3. 2.Biểu thức nội năng khí lí tưởng

Từ (2-10) ta suy ra nội năng của một kmol khí lí tưởng:

$$U = N_A\overline{W_i} = N_A\frac{i}{2}kT = \frac{i}{2}RT$$

Hay: $$U = \frac{i}{2}RT \qquad (2\text{-}11)$$

Dễ dàng suy ra nội năng đối với một khối khí bất kì có khối lượng m:

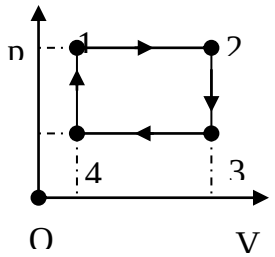
$$U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RT \qquad (2–12)$$

Đơn vị của nội năng là Joule (J)

Nội năng khí lí tưởng còn gọi là nhiệt năng.

<u>Bài tập 2.2</u>:

Một khối khí lí tưởng biến đổi theo chu trình 12341 như hình vẽ.



1→2 :Quá trình đẳng áp

2→3 :Quá trình đẳng tích

3→4 :Quá trình đẳng áp

1) Hãy vẽ lại chu trình 12341 trong mặt phẳng pT
2) Hãy vẽ lại chu trình 12341 trong mặt phẳng VT

3) Hãy vẽ lại chu trình 12341 trong mặt phẳng UV

4) Hãy vẽ lại chu trình 12341 trong mặt phẳng Up

IV. Các quá trình nhiệt cơ bản

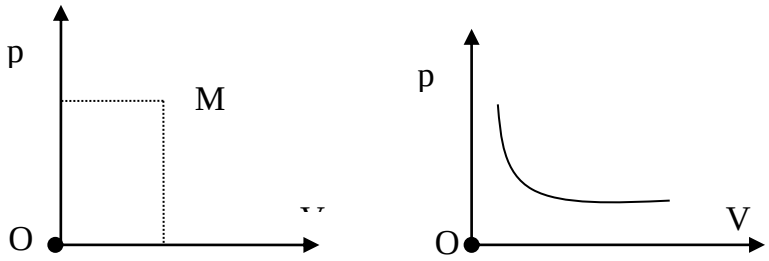
IV.1. Hệ nhiệt động

Hệ nhiệt động là một tập hợp chất được giới hạn trong một khoảng không gian nhất định. Ví dụ: một khối khí lí tưởng chứa trong một bình có thể tích V.

IV.2. Trạng thái cân bằng

Đối với hệ là khối khí lí tưởng thì trạng thái cân bằng là trạng thái có thể tích (V), áp suất (p) hay nhiệt độ (T) không đổi theo thời gian.

Trên đồ thị OpV trạng thái cân bằng được biểu diễn bằng một điểm.



IV.3. Quá trình cân bằng

Quá trình cân bằng là một chuỗi liên tiếp những trạng thái cân bằng.

Trên đồ thị OpV được biểu diễn bằng một đường cong. Quá trình cân bằng là một quá trình lí tưởng.

Trong thực tế các quá trình nén, dãn, hơ nóng, làm lạnh rất chậm được xem là quá trình gần đúng với quá tình cân bằng .

IV.4. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

Quá trình thuận nghịch là quá trình hệ đi từ trạng thái (1) đến trạng thái (2), và khi đi ngược lại từ (2) đến (1) hệ đi qua tất cả các trạng thái trung gian của quá trình (1→ 2).

Quá trình thuận nghịch tất yếu phải là quá trình cân bằng.

Quá trình không thuận nghịch là quá trình mà khi hệ đi ngược lại hệ không đi qua đầy đủ các trạng thái trung gian của quá trình thuận. *Các quá trình thực xảy ra trong tự nhiên đều là quá trình không thuận nghịch.*

V. Công và nhiệt

V.1. Năng lượng của hệ

Nếu hệ là khối khí lí tưởng thì năng lượng của hệ là nội năng U. Nội năng U là một hàm trạng thái, ở mỗi trạng thái chỉ có một giá trị nội năng. Khi trạng thái thay đổi thì nội năng thay đổi . Khi hệ thực hiện theo **một chu trình** thì độ biến thiên nội năng bằng không: $\Delta U = 0$.

Hay: $$\int_{(c)} dU = 0 \qquad (2-13)$$

Biểu thức (2–13) diễn tả **U là hàm trạng thái** và vi phân dU là vi phân toàn phần .

Phân tích:

Theo toán học nếu một hàm Z có vi phân dZ thỏa mãn: $\int_{(c)} dZ = 0$ thì dZ là vi phân toàn phần

Theo nhiệt động học nếu một hàm Z có vi phân dZ thỏa mãn: $\int_{(c)} dZ = 0$ thì hàm Z là hàm trạng thái.

V.2. Công và nhiệt

V.2.1. Công vi phân

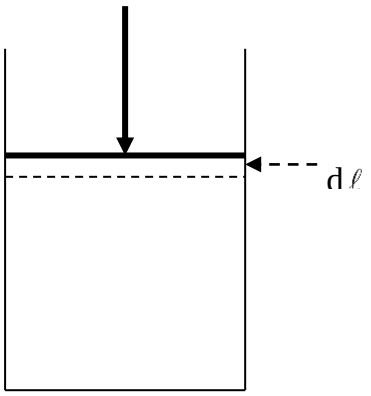
Công A là phương thức mà hệ trao đổi năng lượng với bên ngoài thông qua sự nén hay dãn piston.

Công A là đại lượng đo độ biến thiên của nội năng của hệ. Đơn vị của công là (J)

Người ta qui ước:

Công A mà khối khí nhận vào là công dương: A > 0

Công mà khối khí sinh ra A' là công âm: A' < 0



Ta có công vi phân δA mà khối khí nhận vào khi nén pittông (piston) đi một đoạn $d\ell$.

$$\delta A = F\, d\ell$$

Vì quá trình cân bằng, nên:

$$F = p\, S$$

Với S là diện tích piston và p là áp suất chất khí:

Vậy: $\delta A = pS\, d\ell = p\, dV$

Với: $dV = S\, d\ell$ là thể tích vi phân .

Vì thể tích V là đại lượng biến thiên nên độ biến thiên của thể tích V: $dV = V_2 - V_1$

Vì: $\delta A > 0$ và $dV < 0$: Quá trình nén $V_2 < V_1$

Vậy: $\delta A = - pdV$ (2 – 14)

Chú ý: Không được viết ký hiệu công vi phân bằng dA mà phải viết ký hiệu công vi phân bằng δA. Vì công A là hàm quá trình không phải hàm trạng thái, công vi phân δA không phải là vi phân toàn phần. Có nghĩa:

$$\int_{(c)} \delta A \neq 0$$

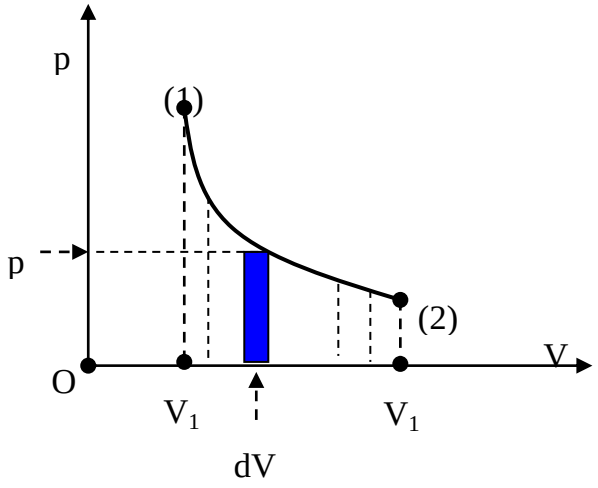
V.2.2 Công trong quá trình cân bằng

Nếu piston dịch chuyển một doạn dài từ (1) đến (2) thì công trong quá tring cân bằng (1→ 2) được tính theo:

$$A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV \qquad (2-15)$$

V.2.3. Chứng minh công trong quá trình (1-2) có gía trị bằng diện tích dưới đường cong quá trình (1-2)

Dễ dàng chứng minh được công trong quá trình cân bằng (1→ 2) có giá trị bằng diện tích dưới đường cong quá trình (1→ 2).



Ta chia phần diện tích dưới đường cong quá trình (1→2) thành những Ô nhỏ.

Ta có diện tích một Ô nhỏ: dS = p dV.

Suy ra diện tích dưới đường cong quá trình (1→ 2).

$$S = \int_{V_1}^{V_2} pdV \qquad (a)$$

So sánh (a) với (2-15) ta có: $S = |A_{12}|$

Do đó công A' sinh ra trong quá trình (1→ 2) bằng và trái dấu với công A nhận vào cũng trong quá trình (2→ 1).

$$A = -A' \qquad (2-16)$$

V.2.4.Chứng minh công là hàm quá trình

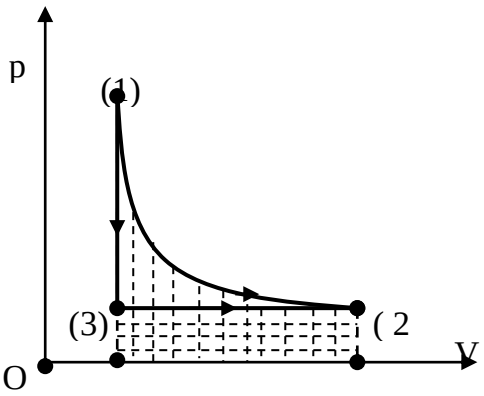
Dễ dàng chứng minh được **công là hàm quá trình**

Ta có hai trạng thái (1) và (2).

Nếu hệ đi từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) theo quá trình đẳng nhiệt thì giá trị công A_{12} được diễn tả bằng diện tích phần gạch thẳng đứng.

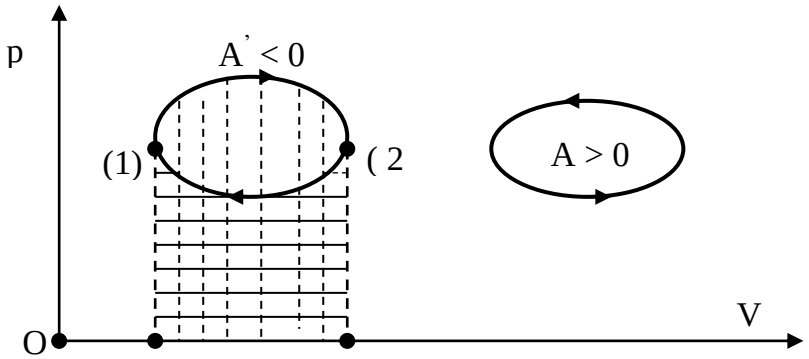
Nếu hệ đi từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) theo quá trình đẳng tích (1-3) và quá trình đẳng áp (3-2) thì công A_{132} được diễn tả bằng diện tích phần gạch ngang.

Như vậy đi từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) theo quá trình khác nhau có giá trị công khác nhau. Vậy công là hàm quá trình.



V.2.5. Công theo chu trình

Chu trình là một quá trình khép kín.



Giá trị của công khi hệ đi từ trạng thái (1) đến trạng thái (2): $|A_{12}|$ = diện tích phần gạch thẳng đứng và hệ sinh công, công âm : $A_{12} < 0$

Giá trị của công khi hệ đi từ trạng thái (2) đến trạng thái (1): $|A_{21}|$ = diện tích phần gạch ngang và hệ nhận công, công dương; $A_{21} > 0$

Công theo chu trình $A_{121} = A_{12} + A_{21}$ và giá trị của công theo chu trình:

$$|A_{121}| = |A_{12}| - |A_{21}| = \text{diện tích giới hạn bởi chu trình.}$$

Nếu chu trình theo chiều kim đồng hồ, hệ sinh công, công âm: $A' < 0$

Nếu chu trình ngược chiều kim đồng hồ, hệ nhận công, công dương: $A > 0$

V.3. Nhiệt lượng

Nhiệt lượng Q là một phương thức mà hệ trao đổi năng lương với bên ngoài thông qua sự chuyển động hỗn loạn của phân tử. Bằng cách đun nóng hay làm lạnh hệ.

Nhiệt lượng Q được gọi tắt là nhiệt.

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) đơn vị của nhiệt Q là (J).

Ngoài hệ SI, người ta còn dùng đơn vị calo (cal): 1 cal = 4,186 J

Nhiệt Q là đại lượng đo độ biến thiên nội năng U của hệ.

Người ta qui ước nhiệt mà hệ nhận vào là $Q > 0$ và nhiệt mà hệ toả ra là $Q' < 0$.

Nhiệt cung cấp cho 1kg chất tăng lên 1K được gọi là nhiệt dung riêng c:

$$c = \frac{\delta Q}{mdT} \qquad (2–17)$$

Hay: $$Q = c\, m\, dT \qquad (2– 18)$$

Nhiệt lượng cung cấp cho 1kmol chất tăng lên 1K được gọi là nhiệt dung phân tử.

$$C = \mu c \qquad (2 - 19)$$

Trong đó μ khối lượng của 1kmol chất .

Vậy: $$\delta Q = C\frac{m}{\mu}dT \qquad (2 – 20)$$

VI. Nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học

VI.1. Phát biểu

Trong một quá trình biến đổi độ biến thiên nội năng ΔU của hệ bằng tổng của công A và nhiệt Q mà hệ nhận vào trong quá trình đó.

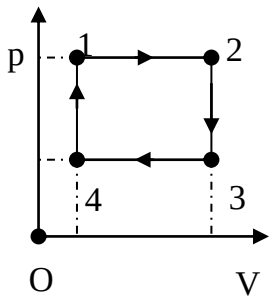
$$\Delta U = A + Q \qquad (2 – 21)$$

Trong quá trình vi phân:

$$dU = \delta A + \delta Q \qquad (2 – 22)$$

Bản chất vật lí của nguyên lí thứ nhất nhiệt động học là định luật bảo toàn năng lượng giữa cơ năng và nhiệt năng.

<u>Bài tập 2.3</u>: Một hệ nhiệt động là một khối khí lí tưởng thực hiện theo một chu trính (12341) như hình vẽ



Quá trình đẳng áp 1→2 có áp suất $p_2 = 4.10^3$ N/m^2

Quá trình đẳng tích 2→3 có thể tích $V_2 = 6$ lít

Quá trình đẳng áp 3→4 có áp suất $p_1 = 2.10^3$ N/m^2

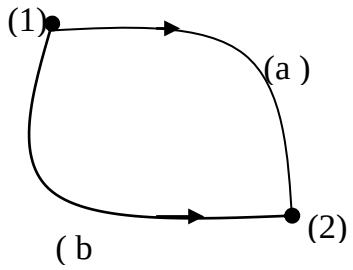
Quá trình đẳng tích 4→1 có thể tích $V_1 = 3$ lít

Đáp số: Q = 6 J

Hướng dẫn: Công của chu trình bằng tổng công của các quá trình và áp dụng nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học.

VI.2 . Hệ quả

VI.2.1. Nhiệt là hàm quá trình



Ta xét hai trạng thái (1) và (2).

Áp dụng nguyên lí thứ nhất cho quá trình (1a 2):

$\Delta U = U_2 - U_1 = A_a + Q_a$

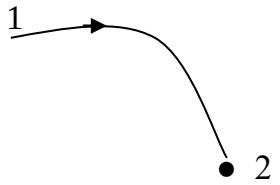
Áp dụng nguyên lí thứ nhất cho quá trình (1 b 2):

$\Delta U = U_2 - U_1 = A_b + Q_b$

Suy ra: $\Delta U = U_2 - U_1 = A_a + Q_a = A_b + Q_b$

Vì $A_a \neq A_b$ (do công là hàm quá trình), nên $Q_a \neq Q_b$. Vậy nhiệt Q cũng là hàm quá trình.

VI.2.2. Nhiệt theo quá trình



Áp dụng nguyên lí thứ nhất cho quá trình (1 → 2):

$\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = A_{12} + Q_{12}$

Áp dụng nguyên lí thứ nhất cho quá trình (2→1):

$\Delta U_{21} = U_1 - U_2 = A_{21} + Q_{21}$

Suy ra: $\Delta U_{21} = -\Delta U_{12} = A_{21} + Q_{21} = -A_{12} - Q_{12}$

Ta suy ra:

a) $A_{21} = -A_{12}$

- Nếu $A_{12} > 0$ hệ nhận công thì $A_{21} < 0$ hệ sinh công và ngược lại
- Công trên cùng một quá trình (1 → 2) và (2→1) có cùng độ lớn và trái đấu

b) $Q_{21} = -Q_{12}$

- Nếu $Q_{12} > 0$ hệ nhận nhiệt thì $Q_{21} < 0$ hệ tỏa nhiệt và ngược lại
- Nhiệt trên cùng một quá trình (1 → 2) và (2→1) có cùng độ lớn và trái đấu

VI.2.3. Nếu hệ thực hiện theo một chu trình

Hệ thực hiện theo chu trình: $\Delta U = 0$

Vậy theo nguyên lí thứ nhất ta có:

$$A + Q = \Delta U = 0$$

Ta suy ra: $A = -Q$ hay $Q = -A$ (2-23a)

Công nhận vào bằng nhiệt tỏa ra hay nhiệt nhận vào bằng công sinh ra.

VI.2.4. Nếu hệ thực hiện theo quá trình đẳng nhiệt

Trong quá trình đẳng nhiệt: $\Delta T = 0$

Vậy: $\Delta U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\Delta T = 0$

Theo nguyên lí thứ nhất ta có:

$$A + Q = \Delta U = 0$$

Ta suy ra: A = - Q hay Q = - A (2-23b)

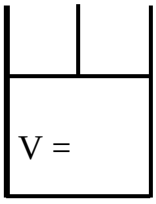
Công nhận vào bằng nhiệt tỏa ra hay nhiệt nhận vào bằng công sinh ra.

VI.3. Ứng dụng nguyên lí thứ nhất

Trong phần này chúng ta ứng dụng nguyên lí thứ nhất để xác định công và nhiệt trong các quá trình cân bằng.

VI.3.1. Quá trình đẳng tích

1/ Quá trình đẳng tích



Quá trình đẳng tích là quá trình hơ nóng hay làm lạnh một khối khí trong một bình có thể tích không đổi

2/ Công trong quá trình đẳng tích

Trong quá trình đẳng tích dV = 0

Suy ra: $\delta A = - pdV = 0$

Vậy trong quá trình đẳng tích công bằng không.

3/ Nhiệt trong quá trình đẳng tích

Theo nguyên lí thứ nhất (2-21) ta có nhiệt Q trong quá trình đẳng tích .

$$\Delta U = A + Q$$

Vì trong quá trình đẳng tích công A = 0

$$\text{Nên: } Q = \Delta U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\Delta T \qquad (2\text{-}24)$$

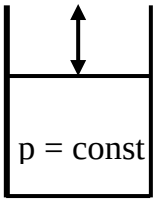
Suy ra nhiệt dung đẳng tích:

$$C_V = \frac{i}{2}R \qquad (2\text{-}25)$$

Nhiệt dung đẳng tích là nhiệt lượng cung cấp cho 1kmol khí lí tưởng để tăng lên 1K trong quá trình đẳng tích.

VI.3.2. Quá trình đẳng áp

1/ Quá trình đẳng áp



Quá trình đẳng áp là quá trình hơ nóng hay làm lạnh một khối khí trong một bình có piston lên xuống tự do để áp xuất không đổi.

2/ Công trong quá trình đẳng áp

Ta có công trong quá trình đẳng áp.

$$A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV = -p\int_{(V_1)}^{(V_2)} dV = p(V_1 - V_2)$$

$$A_{12} = p(V_1 - V_2) \quad (2\text{-}26)$$

$$A_{12} = -p\Delta V \quad (2\text{–}27)$$

3/ Nhiệt trong quá trình đẳng áp

Từ nguyên lí thứ nhất ta có nhiệt Q trong quá trình đẳng áp:

$$Q = \Delta U - A = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RdT + p\Delta V \quad (1)$$

Từ phương trình trạng thái khí lí tưởng: $pV = \frac{m}{\mu}RT$.

Đối với quá trình đẳng áp ta có: $pdV = \frac{m}{\mu}RdT$ (2)

Thế (2) vào (1), ta được:

$$Q = \frac{m}{\mu}(\frac{i}{2}+1)R\Delta T \quad (2\text{-}28)$$

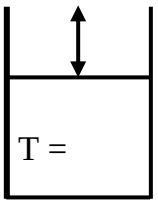
Suy ra nhiệt dung đẳng áp:

$$C_p = (\frac{i}{2}+1)R \quad (2\text{-}29)$$

Nhiệt dung đẳng áp là nhiệt lượng cung cấp cho 1kmol khí lí tưởng để tăng lên 1K trong quá trình đẳng áp.

VI.3.3 Quá trình đẳng nhiệt

1/ Quá trình đẳng nhiệt



Quá trình đẳng nhiệt là quá trình nén hay dãn một khối khí trong một bình có piston và giữ nhiệt độ T không đổi.

2/ Công trong quá trình đẳng nhiệt

Ta có công trong quá trìng đẳng nhiệt:

$$A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV \quad (1)$$

Từ phương trình trạng thái khí lí tưởng: $pV = \frac{m}{\mu}RT$

Ta suy ra: $p = \frac{m}{\mu}\frac{RT}{V}$ (2)

Thế (2) vào (1) ta được:

$$A_{12} = -\frac{m}{\mu} RT \int_{(V_1)}^{(V_2)} \frac{dV}{V}$$

Lấy tích phân ta được:

$$A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{V_1}{V_2} \qquad (2-30)$$

Theo định luật Boyle – Mariotte: $V_1 p_1 = V_2 p_2$

Vậy: $$A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{p_2}{p_1} \qquad (2-31)$$

3/ Nhiệt trong quá trình đẳng nhiệt

Trong quá trình đẳng nhiệt ta có: $\Delta T = 0$

Vậy: $\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = 0$

Theo nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học:

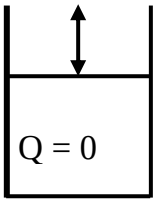
$$\Delta U = A + Q = 0$$

Suy ra nhiệt trong quá trình đẳng nhiệt.

$$Q = -A = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{p_1}{p_2} \qquad (2-32)$$

VI.3.4. Quá trình đoạn nhiệt

1/ Quá trình đoạn nhiệt:



Quá trình đoạn nhiệt là quá trình nén hay dãn một khối khí trong một bình hoàn toàn cách nhiệt.

Như vậy trong quá trình đoạn nhiệt hệ không trao đổi năng lượng với bên ngoài dưới dạng nhiệt:

$$Q = 0$$

2/ Công trong quá trình đoạn nhiệt

Theo nguyên lí thứ nhất: $\Delta U = A + Q$

Trong quá trình đoạn nhiệt $Q = 0$

Suy ra công trong quá trình đoạn nhiệt :

$$A = \Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T \qquad (2-33)$$

Nhận xét:

1) Quá trình nén đoạn nhiệt $A > 0$ suy ra $\Delta T > 0$: Nhiệt độ hệ T tăng
2) Quá trình dãn doạn nhiệt $A < 0$ suy ra $\Delta T < 0$: Nhiệt độ hệ T giảm

3/ Phương trình đoạn nhiệt

Theo (2 –14) và (2 – 33) đối với quá trình vi phân, ta có:

$$\frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\,dT = -\,pdV \qquad (1)$$

Từ phương trình trạng thái khí lí tưởng suy ra:

$$p = \frac{m}{\mu}\frac{RT}{V} \qquad (2)$$

Thế (1) vào (2) ta được:

$$\frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\,dT = -\frac{m}{\mu}\frac{RTdV}{V}$$

$$\frac{i}{2}R\,dT = -\frac{RTdV}{V}$$

$$\frac{i}{2}R\,dT + \frac{RTdV}{V} = 0$$

Chia hai vế chi nhiệt độ T

$$\frac{i}{2}R\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V} = 0$$

Với: $C_V = \frac{i}{2}R$ và $R = C_p - C_V$

Suy ra: $C_V \frac{dT}{T} + (C_p - C_V)\frac{dV}{V} = 0$

Chia hai vế cho C_V

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1)\frac{dV}{V} = 0 \qquad (3)$$

Trong đó: $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$

Lấy tích phân (3) ta được:

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

Hay: $TV^{(\gamma-1)} = const$ (2 – 34)

Biểu thức (2-34) là phương trình đoạn nhiệt.

<u>Bài tập 2.4</u> : Một bình cách nhiệt được chia ra làm hai phần bằng một vách ngăn. Phần 1 có thể tích V_1 chứa khí lí tưởng, ở nhiệt độ T_1. Phần 2 có thể tích V_2 ở trạng thái chân không. Tạo một lỗ nhỏ trên vách ngăn, khí lí tưởng sẽ dãn nở từ phần 1 sang phần 2. Xác định nhiệt độ T của khối khí khi cân bằng.

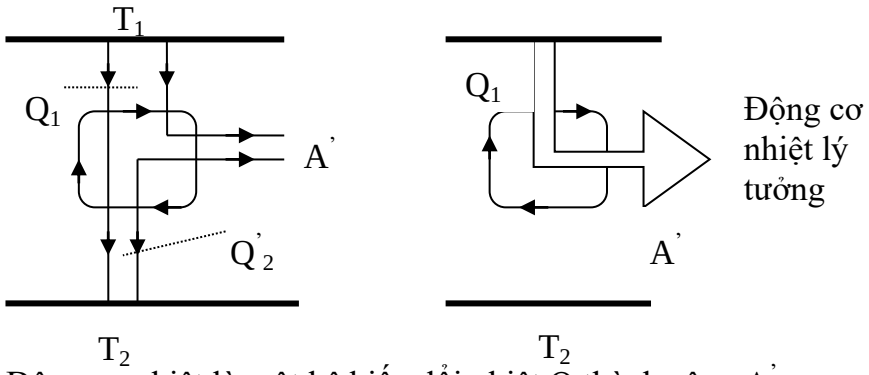
Đáp số: $T = T_1$

VII. Động cơ nhiệt và máy lạnh

VII.1 Động cơ nhiệt

Ta có sơ đồ động cơ nhiệt.

T_1



Động cơ nhiệt là một hệ biến đổi nhiệt Q thành công A'.

Trong động cơ nhiệt gồm có:

- Nguồn nóng T_1 cung cấp nhiệt Q_1
- Nguồn lạnh T_2 nhận nhiệt Q'_2
- Tác nhân hoạt động theo chu trình cùng chiều kim đồng hồ nhận nhiệt Q_1 từ nguồn nóng T_1 sinh công A' và toả nhiệt Q'_2 cho nguồn lạnh T_2.

Ta có hiệu suất của động cơ nhiệt.

$$\eta = \frac{|A'|}{|Q_1|} \qquad (2-35)$$

Theo nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học : $|A'| = |Q_1| - |Q'_2|$. Suy ra:

$$\eta = 1 - \frac{|Q'_2|}{|Q_1|} \qquad (2-36)$$

Một động cơ nhiệt nhận từ nguồn nóng T_1 một nhiệt lượng $|Q_1|$ và biến hoàn toàn thành công $|A'| = |Q_1|$, thì được gọi là động cơ lí tưởng.

Động cơ lí tưởng có hiệu suất $\eta = 1$.

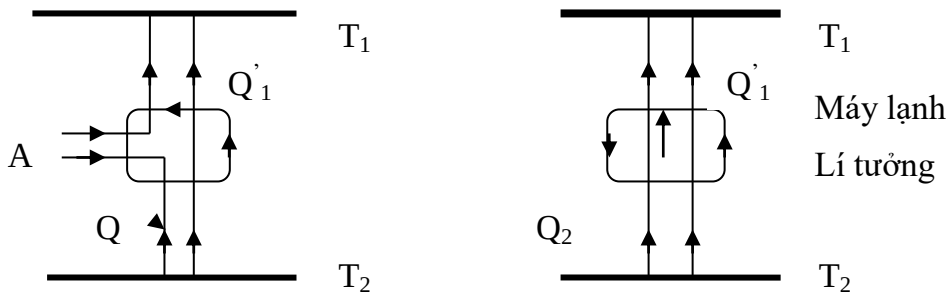
Động cơ nhiệt lí tưởng không vi phạm nguyên lí thứ nhất nhiệt động học.

Nhưng nguyên lí thứ hai của nhiệt động học sẽ khẳng định không thể chế tạo được động cơ nhiệt lí tưởng.

Nhận xét:

Hiệu xuất động cơ nhiệt nhỏ hơn 1: $\eta < 1$

VII.2. Máy lạnh



Trong máy lạnh tác nhân hoạt động theo chu trình ngược chiều kim đồng hồ. Tác nhân nhận công A để nhận nhiệt Q_2 từ nguồn lạnh T_2 và toả nhiệt Q'_1 cho nguồn nóng T_1.

Hiệu suất máy lạnh được định nghĩa:

$$e = \frac{|Q_2|}{|A|} \qquad (2–37)$$

Với: $|A| = |Q'_1| - |Q_2|$

Vậy: $$e = \frac{|Q_2|}{|Q'_1| - |Q_2|} \qquad (2–38)$$

Nếu máy lạnh không nhận công (A = 0) mà nhận một nhiệt lượng $|Q_2|$ từ nguồn lạnh T_2 và toả cho nguồn nóng T_1 một nhiệt lượng $|Q'_1| = |Q_2|$ được gọi là máy lạnh lí tưởng. Máy lạnh lí tưởng có hiệu suất e bằng vô cùng.

Máy lạnh lí tưởng không vi phạm nguyên lí thứ nhất nhiệt động học.

Nhưng nguyên lí thứ hai của nhiệt động học sẽ khẳng định không thể chế tạo được động máy lạnh lí tưởng.

VIII. Chu trình Carnot

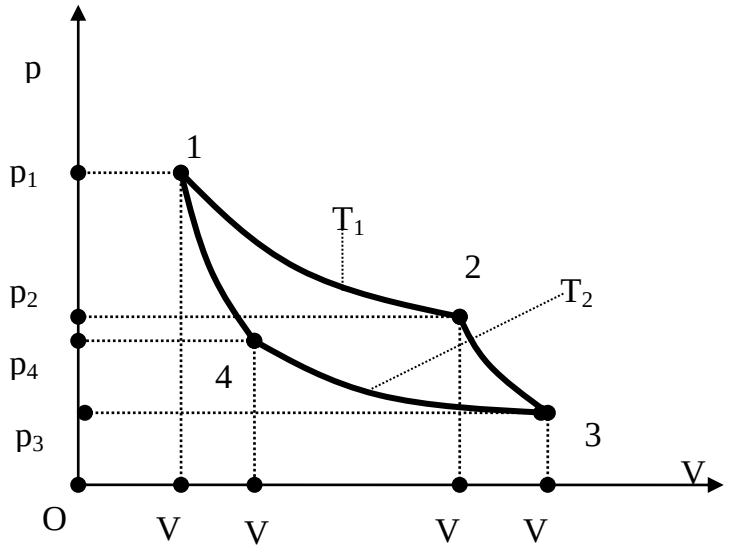
VIII.1. Chu trình Carnot

Chu trình Carnot thuận nghịch gồm 4 quá trình thuận nghịch:

- (1 ↔ 2): quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch ở nhiệt độ T_1.
- (2 ↔ 3): quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch.
- (3 ↔ 4): quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch ở nhiệt độ T_2 .
- (4 ↔ 1): quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch.

Chu trình Carnot thuận nghịch chạy theo chiều kim đồng hồ được gọi chu trình Carnot thuận.

Chu trình Carnot thuận nghịch chạy ngược chiều kim đồng hồ được gọi chu trình Carnot nghịch.



VIII.2. Hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot với tác nhân khí lí tưởng

Đối với động cơ nhiệt tác nhân hoạt động theo chu trình Carnot thuận cùng chiều kim đồng hồ. Theo (2-36) ta có hiệu suất động cơ nhiệt:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2'|}{|Q_1|} \qquad (1)$$

Trong quá trình đẳnh nhiệt (1→ 2) theo (2-32) khí lí tưởng nhận vào một nhiệt lượng Q_1 từ nguồn nóng T_1.

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ell n \frac{V_2}{V_1} \qquad (2)$$

Trong quá trình đẳng nhiệt (3→ 4) khí lí tưởng toả ra cho nguồn lạnh T_2 một nhiệt lượng Q_2' :

$$Q_2' = -Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ell n \frac{V_3}{V_4} \qquad (3)$$

Thế (2) và (3) vào (1) ta được:

$$\eta = 1 - \frac{T_2 \ell n \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ell n \frac{V_2}{V_1}} \qquad (4)$$

Trong quá trình đoạn nhiệt (2→ 3) theo (2-34) ta có:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1} \qquad (5)$$

Trong quá trình đoạn nhiệt (4→ 1) ta có:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1} \qquad (6)$$

Lập tỉ số (5) và (6) ta suy ra:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \qquad (7)$$

Thế (7) vào (4) ta được:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (2-39)$$

Nhận xét:

Hiệu xuất của động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot với tác nhân là khí lí tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nhiệt độ nguồn lạnh T_2

3. Hiệu suất máy lạnh chay theo chu trình Carnot với tác nhân khí lí tưởng

Đối với máy lạnh tác nhân hoạt động theo chu trình Carnot nghịch, ngược chiều kim đồng hồ. Theo (2-38):

$$e = \frac{|Q_2|}{|Q_1'| - |Q_2|} \qquad (1)$$

Trong quá trình đẳnh nhiệt (4→ 3) khí lí tưởng nhận vào một nhiệt lượng Q_2 từ nguồn lạnh T_2.

$$Q_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ell n \frac{V_3}{V_4} \qquad (2)$$

Trong quá trình đẳng nhiệt (2→1) khí lí tưởng toả ra cho nguồn nóng T_1 một nhiệt lượng Q'_1:

$$Q'_1 = -Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ell n \frac{V_2}{V_1} \qquad (3)$$

Trong quá trình đoạn nhiệt (3→ 2) theo (8-34) ta có:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1} \qquad (4)$$

Trong quá trình đoạn nhiệt (1→ 4) ta có:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1} \qquad (5)$$

Lập tỉ số (4) và (5) ta suy ra:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} \qquad (6)$$

Thế (2), (3) và (6) vào (1) ta dẫn ra được:

$$e = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1} \qquad (2\text{-}40)$$

Câu hỏi :

Có thể làm nhiệt độ căn phòng hạ xuống bằng cách mở cửa một tủ lạnh đặt ở trong căn phòng không? Giải thích.

IX. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động lực học

IX.1. Phát biểu nguyên lí thứ hai của nhiệt động học

IX.1.1. Phát biểu của Clausius:

Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn mà chung quanh không có sự thay đổi đồng thời nào.

Hay nói cách khác: ***Không có máy lạnh lí tưởng .***

Như vậy chiều truyền nhiệt trong tự nhiên là chiều từ nơi có nhiệt độ cao tới nơi có nhiệt độ thấp.

IX.1.2. Phát biểu của Thomson:

Không thể tạo một hệ hoạt động tuần hoàn liên tục biến nhiệt thành công mà chung quanh không có sự thay đổi đồng thời nào.

Hay nói cách khác**: *Không có động cơ nhiệt lí tưởng.***

Như vậy trong tự nhiên chỉ có quá trình **công** hoàn toàn biến thành **nhiệt**, mà không có quá trình ngược lại **nhiệt** hoàn toàn biến thành **công**.

IX.2. Định lí Carnot

IX.2.1. Phát biểu:

1/ Hiệu suất những động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot có cùng nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nguồn lạnh T_2 chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nhiệt độ nguồn lạnh T_2 , mà không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy.

Hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (2\text{-}41)$$

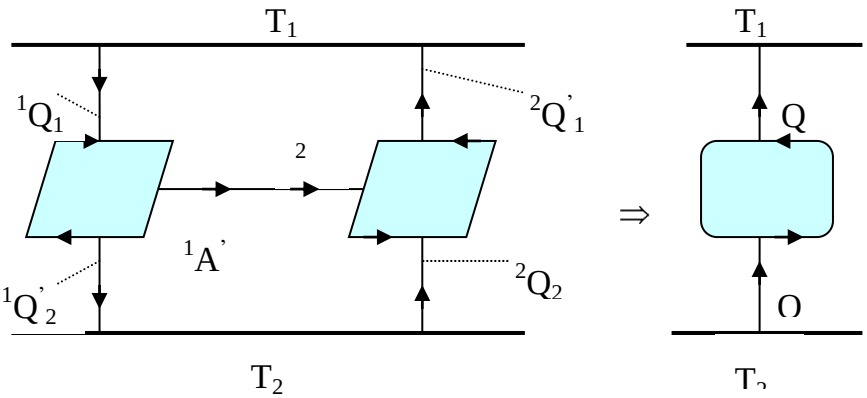
2/ Hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot thuận nghịch là giới hạn lí thuyết lớn nhất của mọi động cơ nhiệt.

$$\eta \le \eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (2\text{-}42)$$

Trong đó (=) ứng với quá trình thuận nghịch và (<) ứng với quá trình không thuận nghịch.

Có thể chứng minh định lí Carnot bằng nguyên lí thứ hai của nhiệt động học

IX.2.2. Chứng minh định lí Carnot



Giả sử hai động cơ nhiệt 1 và 2 chạy theo chu trình Carnot có tác nhân và cách chế tạo khác nhau, với cùng nhiệt độ nguồn nóng T_1 và nguồn lạnh T_2.

Hiệu suất của động cơ 1:

$$\eta_1 = \frac{\left|{}^1A'\right|}{\left|{}^1Q_1\right|}$$

Hiệu suất của động cơ 2:

$$\eta_2 = \frac{\left|{}^2A'\right|}{\left|{}^2Q_1\right|}$$

*** Nếu: $\eta_1 > \eta_2$**

$$\frac{|{}^1A'|}{|{}^1Q_1|} > \frac{|{}^2A'|}{|{}^2Q_1|} \qquad (1)$$

Ta cho động cơ 2 chạy theo chiều ngược (ngược chiều kim đồng hồ) tạo thành máy lạnh . Liên kết động cơ 1 và máy lạnh 2 tạo thành một hệ.

Sao cho: $|{}^1A'| = |{}^2A| = |{}^2A'|$ (2)

Từ (1) và (2) suy ra:

$$|{}^1Q_1| < |{}^2Q_1| = |{}^2Q_1'| \qquad (3)$$

Từ (2) và (3) suy ra:

$$|{}^1Q_1| - |{}^1Q_2'| = |{}^2Q_1'| - |{}^2Q_2|$$

Hay: $|{}^2Q_2| - |{}^1Q_2'| = |{}^2Q_1'| - |{}^1Q_1| = Q > 0$

Như vậy một hệ liên kết động cơ nhiệt và máy lạnh chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng T_1 và nguồn lạnh T_2 tương đương với một máy lạnh lí tưởng , truyền một nhiệt lượng Q từ nguồn lạnh T_2 đến nguồn nóng T_1 mà không cần công A.

Điều này vi phạm nguyên lí thứ hai nhiệt động học.

Vậy: $\eta_1 > \eta_2$ không thể tồn tại.

*** Nếu: $\eta_2 > \eta_1$**

Ta cho động cơ nhiệt 1 chạy ngược làm máy lạnh và liên kết với động cơ nhiệt 2 . Tương tự như trên cũng chứng minh được hệ tạo thành một máy lạnh lí tưởng . Vi phạm nguyên lí thứ hai của nhiệt động học. Nên: $\eta_1 > \eta_2$ không thể tồn tại.

Như vậy từ nguyên lí thứ hai nhiệt động học ta đã chứng minh được: $\eta_1 = \eta_2$

Vậy mọi động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot có hiệu suất bằng hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot với tác nhân khí lí tưởng.

Tóm lại mọi động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot đều có hiệu suất:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Đối với những động cơ nhiệt chạy theo chu trình không thuận nghịch do ma sát hay diễn biến nhanh nên bị thiệt về công. Do đó có hiệu suất nhỏ hơn động cơ nhiệt chạy theo chu trình thuận nghịch.

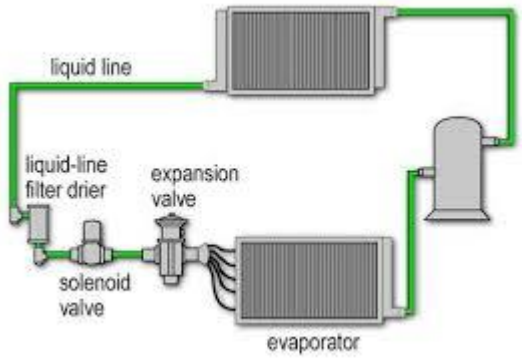
$$\eta \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Trong đó (=) ứng với quá trình thuận nghịch và (<) ứng với quá trình không thuận nghịch.

Tóm lại theo nguyên lí thứ hai nhiệt động học hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot thuận nghịch là giới hạn lí thuyết lớn nhất của mọi động cơ nhiệt.

Bài đọc thêm: *Cấu tạo và nguyên lý làm việc của điều hòa*

Được đặt bên trong phòng, là dàn trao đổi nhiệt kiểu ống đồng cánh nhôm. Dàn lạnh có trang bị quạt kiểu ly tâm (lồng sóc). Dàn lạnh có nhiều dạng khác nhau cho phép người sử dụng có thể lựa chọn kiểu phù hợp với kết cấu tòa nhà và không gian lắp đặt, cụ thể như sau:



– Loại đặt sàn (Floor Standing): cửa thổi gió đặt phía trên, cửa hút đặt bên hông, phía trước. Loại này thích hợp cho không gian hẹp, nhưng trần cao.

– Loại treo tường (Wall mounted): đây là dạng phổ biến nhất, các dàn lạnh lắp đặt trên tường, có cấu tạo rất đẹp. Máy điều hoà dạng treo tường thích hợp cho phòng cân đối, không khí được thổi ra ở cửa nhỏ phía dưới và hút về ở phía cửa hút nằm ở phía trên.

– Loại áp trần (Ceiling suspended): Loại áp trần được áp sát laphông. Dàn lạnh áp trần thích hợp cho các công trình có trần thấp và rộng. Gió được thổi ra đi sát trần, gió hồi về phía dưới dàn lạnh.

– Loại cassette: Khi lắp đặt loại máy cassette người ta khoét trần và lắp đặt áp lên bề mặt trần. Toàn bộ dàn lạnh nằm sâu trong trần, chỉ có mặt trước của dàn lạnh là nổi trên bề mặt trần. Loại cassette rất thích hợp cho khu vực có trần cao, không gian rộng như các phòng họp, đại sảnh, hội trường.

– Loại dấu trần (concealed type): Dàn lạnh kiểu dấu trần được lắp đặt hoàn toàn bên trong la phông. Để dẫn gió xuống phòng và hồi gió trở lại bắt buộc phải có ống cấp, hồi gió và các miệng thổi, miệng hút. Kiểu dấu trần thích hợp cho các văn phòng, công sở, các khu vực có trần giả.

– Loại vệ tinh (Ceiling mounted built-in): Dàn lạnh kiểu vệ tinh gồm một dàn chính có bố trí miệng hút, dàn chính được nối với các vệ tinh, đó là các hộp có các cửa thổi gió. Các vệ tinh được nối với dàn chính qua ống nối mềm. Mỗi dàn có từ 2 đến 4 vệ tinh đặt ở các vị trí tuỳ ý.

Dàn lạnh có đường thoát nước ngưng, các ống thoát nước ngưng nối vào dàn lạnh phải có độ dốc nhất định để nước ngưng chảy kiệt và không đọng lại trên đường ống gây đọng sương.

Dàn nóng

Cũng là dàn trao đổi nhiệt kiểu ống đồng cánh nhôm, có quạt kiểu hướng trục. Dàn nóng có cấu tạo cho phép lắp đặt ngoài trời mà không cần che chắn mưa. Tuy nhiên cần tránh nơi có nắng gắt và bức xạ trực tiếp mặt trời, vì như vậy sẽ làm giảm hiệu quả làm việc của máy.

Ống dẫn ga: Liên kết dàn nóng và lạnh là một cặp ống dịch lỏng và gas. Kích cỡ ống dẫn được ghi rõ trong các tài liệu kỹ thuật của máy hoặc có thể căn cứ vào các đầu nối của máy. Ống dịch nhỏ hơn ống gas. Các ống dẫn khi lắp đặt nên kẹp vào nhau để tăng hiệu quả làm việc của máy. Ngoài cùng bọc ống mút cách nhiệt.

Dàn nóng gồm máy nén và quạt, là bộ phận tiêu tốn điện nhiều nhất của máy ĐHKK, chiếm khoảng 95% toàn bộ lượng điện tiêu thụ của máy. Dàn lạnh chỉ có quạt và board điều khiển nên tiêu thụ điện không đáng kể, khoảng 5%.

Dây điện điều khiển: Ngoài 2 ống dẫn gas, giữa dàn nóng và dàn lạnh còn có các dây điện điều khiển.

Dây điện động lực: Dây điện động lực (dây điện nguồn) thường được nối với dàn nóng. Tuỳ theo công suất máy mà điện nguồn là 1 pha hay 3 pha. Thường công suất từ 36.000 Btu/h trở lên sử dụng điện 3 pha. Số dây điện động lực tuỳ thuộc vào máy 1 pha, 3 pha và hãng máy.

Nguyên lý hoạt động

Trong quá trình máy hoạt động dàn lạnh chạy suốt không nghỉ, dàn nóng lúc chạy lúc nghỉ phụ thuộc vào nhiệt độ trong phòng đã đạt chưa.

Quạt dàn lạnh hút và thổi liên tục tạo ra sự luân chuyển và phân tán không khí lạnh đều trong phòng. Trong dàn lạnh có một cảm biến nhiệt độ của không khí nối với board xử lý tín hiệu (gọi tắt là board). Cảm biến này có nhiệm vụ cảm nhận nhiệt độ không khí hồi về dàn lạnh (đây là nhiệt độ trung bình của không khí trong phòng).Khi nhiệt độ trong phòng cao hơn nhiệt độ cài đặt (là nhiệt độ cài đặt trên remote) khoảng 1-2°C thì board sẽ điều khiển dàn nóng chạy. Khi dàn nóng chạy sẽ cung cấp gas lỏng tới dàn lạnh, gas lỏng bốc hơi trong dàn lạnh và thu nhiệt không khí đi qua dàn lạnh, không khí mất nhiệt nên nhiệt độ giảm xuống. Khi nhiệt độ không khí trong phòng giảm xuống bằng nhiệt độ cài đặt thì board sẽ điều khiển ngưng dàn nóng. Quá trình làm lạnh tạm ngưng.

Do có nhiệt độ trong phòng thấp hơn bên ngoài, nên có sự truyền nhiệt từ ngoài vào trong cùng với các vật tỏa nhiệt bên trong làm nhiệt độ không khí trong phòng từ từ tăng lên cho đến khi cao hơn nhiệt độ cài đặt khoảng 1-2°C (khoảng chênh lệch nhiệt độ này tùy thuộc vào thiết kế của mỗi nhà sản xuất) thì board sẽ điều khiển dàn nóng chạy lại. Quá trình làm lạnh tiếp tục.

Khi dàn nóng chạy, dàn lạnh mới có chức năng làm lạnh và tiêu tốn điện nhiều nhất. Khi dàn nóng ngưng, dàn lạnh chỉ là cái quạt luân chuyển không khí trong phòng.

Mỗi máy ĐHKK lắp vào một phòng nào đó, khi hoạt động sẽ đạt được nhiệt độ thấp nhất nào đó. Đây là nhiệt độ cuối cùng mà máy có thể đạt được, không thể thấp hơn được. Nếu cài nhiệt độ trên remote thấp hơn nhiệt độ này thì dàn nóng sẽ chạy suốt và tiêu hao điện tối đa.

Làm sao để biết được nhiệt độ thấp nhất, cách đơn giản nhất là chúng ta cho máy chạy với nhiệt thấp nhất trên remote, khoảng 20-30 phút sau chúng ta bấm remote nâng nhiệt độ lên đến khi nào nghe tiếng “tách” trên dàn lạnh thì có thể xem đó là nhiệt độ thấp nhất mà máy có thể đạt được. Tiếng “tách” vừa nghe là âm thanh của rơ-le trên board ngắt nguồn điều khiển dàn nóng. Để sử dụng máy hiệu quả về điện chúng ta phải vận hành máy từ nhiệt độ đó trở lên.

Một phòng điều hòa không khí theo tiêu chuẩn thiết kế dùng cho sinh hoạt phải đạt nhiệt độ 24°C. Nhiệt độ môi trường mà cơ thể con người thích nghi nhất trong khoảng 25-27°C.

(https://suadieuhoa.edu.vn/cau-tao-va-nguyen-ly-lam-viec-cua-dieu-hoa/)

CHƯƠNG 3: ĐIỆN TRƯỜNG

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:

$$Q = n e_o \qquad (3\text{-}1)$$

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…

Bài đọc thêm: ***Máy in Laser và máy photocopy***

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 sưởi 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 sưởi 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

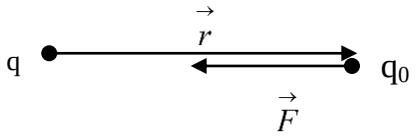
II.1. Định luật Coulomb trong chân không

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:

$$F = F' = k\frac{|q|.|q_o|}{r^2} \qquad (3\text{-}2)$$

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

$$k = 9.10^9\ Nm^2/C^2 \qquad (3\text{-}2a)$$



H.3.1

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

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:

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

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: ε = 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

Bài tập 3.1: 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

Gọi $\vec{F}$ là lực tác dụng lên điện tích q_o được đặt trong một điện trường.

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

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o} \qquad (3\text{-}5)$$

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 $\vec{F}$:

$$\vec{F} = q\vec{E} \qquad (3\text{-}6)$$

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

Theo (3-4) và (3-6) 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:

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

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:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o\, r^2} \qquad (3\text{-}8)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (SI) 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:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n}\vec{E}_i \qquad (3\text{-}9)$$

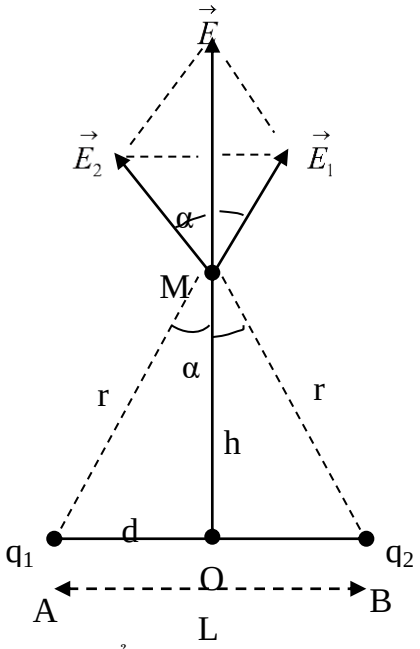
Trong đó $\vec{E}_i$ là véctơ cường độ điện trường gây ra bởi điện tích điểm thứ i (q_i)

<u>Bài tập 3.2</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 (3-8) 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 $h \to \infty$ thì $E \to 0$. 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: $h_m = \frac{d}{\sqrt{2}} = \frac{L}{2\sqrt{2}}$

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

Bài tập 3.3:

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 (3-7) véctơ cường độ điện trường $\vec{dE}$ do dq gây ra tại điểm M.

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

Theo (3-9) véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ do điện tích bất kì Q gây ra tại điểm M được xác định bởi:

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

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 (3-7)

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 (3-10)

III.2.5. Véctơ cảm ứng điện

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

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_o \vec{E} \qquad (3\text{-}11)$$

Từ (3-7) và (3-11) ta suy ra véctơ cảm ứng điện $\vec{D}$ của một điện tích điểm q:

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

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:

$$D = \frac{|q|}{4\pi r^2} \qquad (3\text{-}13)$$

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

Từ (3-9) và (3-11) ta suy ra véctơ cảm ứng điện của hệ điện tích điểm:

$$\vec{D} = \sum_i^n \vec{D}_i \qquad (3\text{-}14)$$

Nhận xét:

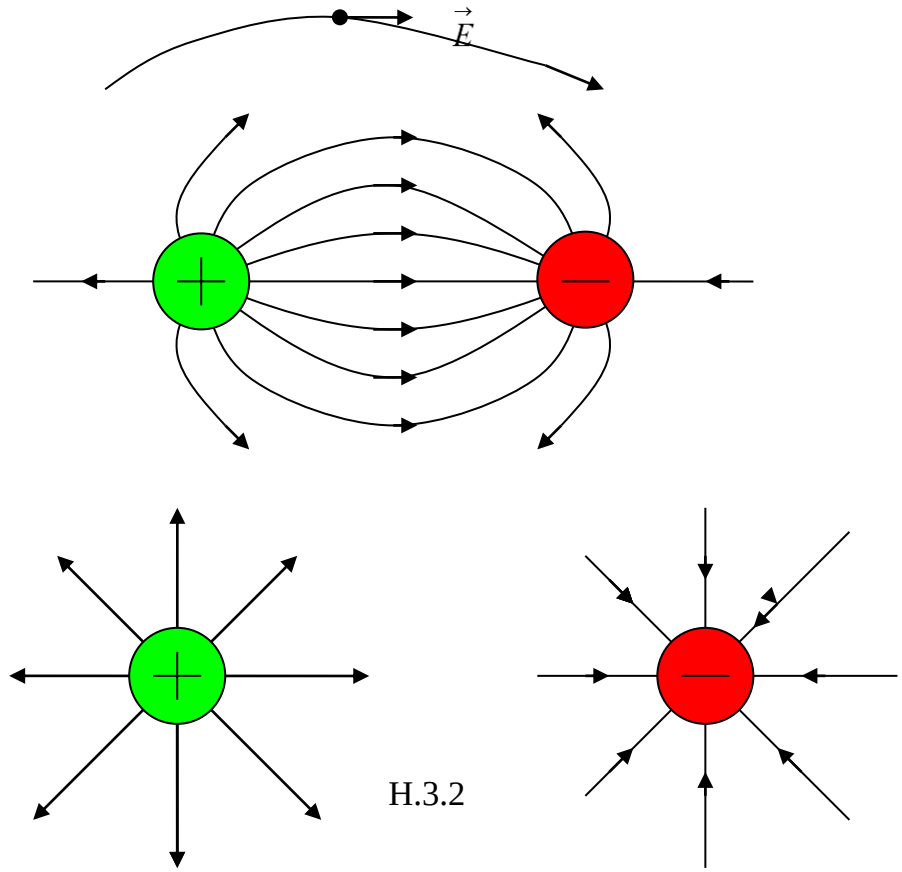
Khác với cường độ điện trường E, cảm ứng điện D không phụ thuộc vào môi trường.

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.3.2

Đường sức điện trường có các tính chất sau:

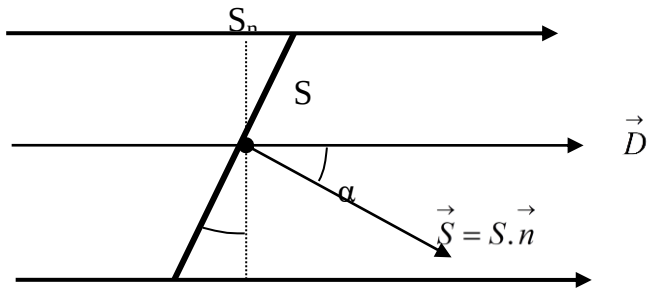
- Đường sức điện trường tĩnh là đường cong hở.
- Phát xuất từ điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm hay vô cùng.
- Các đường sức điện trường không cắt nhau.
- Người ta qui ước vẽ số đường sức điện trường qua một đơn vị diện tích vuông góc với đường sức, bằng cường độ điện trường tại đó. Có nghĩa 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.

IV.2. Điện thông

IV.2.1. Định nghĩa



H.3.3

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

$$\Phi_e = \vec{D}.\vec{S} \qquad (3\text{-}15)$$

$$\Phi_e = D.S.\cos\alpha \qquad (3\text{-}16)$$

Hay: $\Phi_e = D.S_n$ (3-17)

Với:

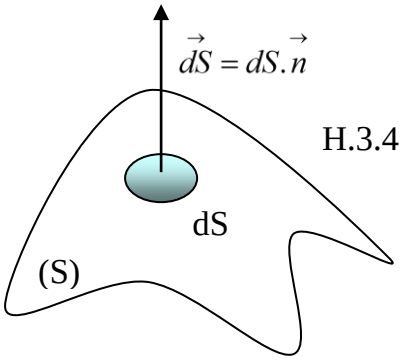
- $S_n = S\cos\alpha$
- $\alpha = (\vec{D}, \vec{S})$
- $\vec{S} = S\vec{n}$ là véctơ vuông góc với mặt S và có độ lớn bằng giá trị của mặt S
- $\vec{n}$ là véctơ pháp tuyến đơn vị của mặt phẳng S.

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.3.4

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:

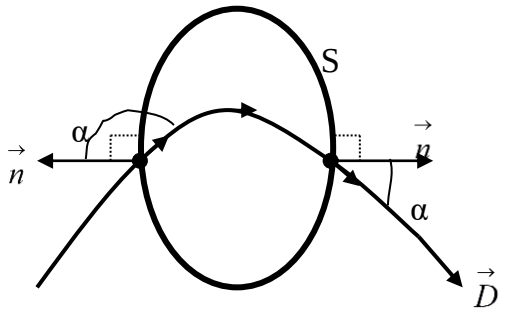
$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.\vec{dS} \qquad (3\text{-}18)$$

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.3.5

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.

$$\Phi_e = \int_{(S)} \vec{D}.d\vec{S} = \sum_i^n q_i \qquad (3\text{-}19)$$

IV.3.2. Dạng vi phân

Theo toán giải tích véctơ, ta có:

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

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 (3-19), ta suy ra:

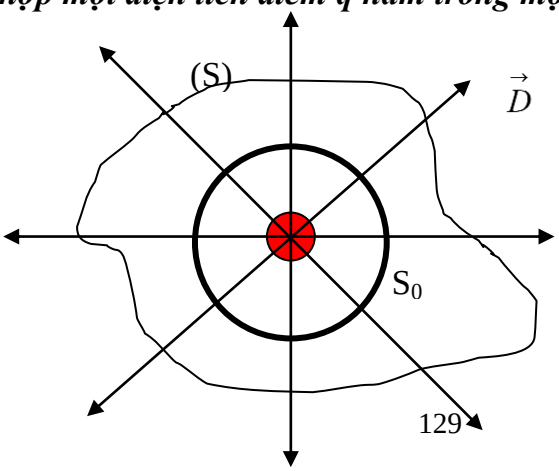
$$div\,\vec{D} = \rho \qquad (3\text{-}20)$$

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

$$div\,\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z} \qquad (3\text{-}21)$$

Bài 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 (3-13), 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:

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

Đối với điện tích q < 0 cũng tương tự

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

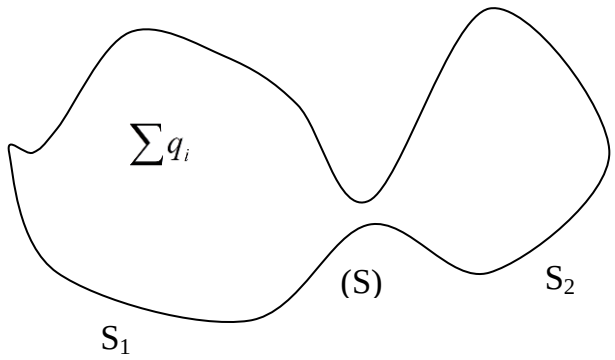
Ta tính điện thông qua mặt (S):

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

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

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

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):

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

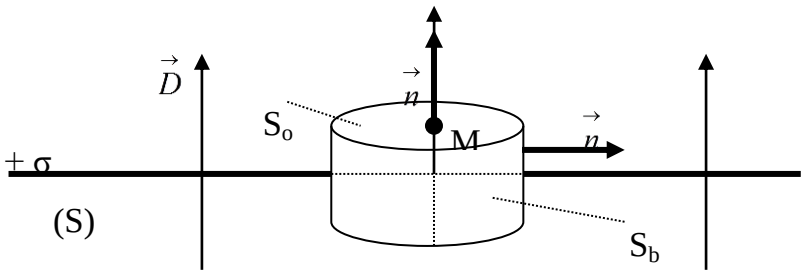
Với : $\Phi_S = \Phi_{S1} = \sum q_i$

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

IV.3.3. Ứng dụng định lí O-G

IV.3.3.1. Điện trường gây ra bởi mặt phẳng mang điện đều rộng vô hạn

H.3.6



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:

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

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

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

Vậy: $D = \frac{\sigma}{2}$

Suy ra: $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_o}$ (3-22)

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 (3-8) ta tính được cường độ điện E trường tại M:

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

b/ Nếu h << R thì đĩa tròn là mặt phẳng rộng vô hạn. Áp dụng công thức (3-22) ta tính được cường độ điện trường tại M:

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

c/ Trường hợp h bất kì, áp dụng công thức (3-10) ta tính được cường độ điện trường E tại M:

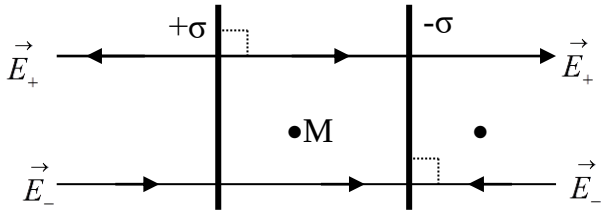
$$E = \frac{Q}{2\pi R^2\varepsilon\varepsilon_o}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+\frac{R^2}{h^2}}}\right) \qquad \text{(c)}$$

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)

IV.3.3.2. Điện trường gây ra bởi hai mặt phẳng song song rộng vô hạn mang điện đều trái dấu

H.3.7



Cường độ điện trường tại điểm M giữa hai bản :

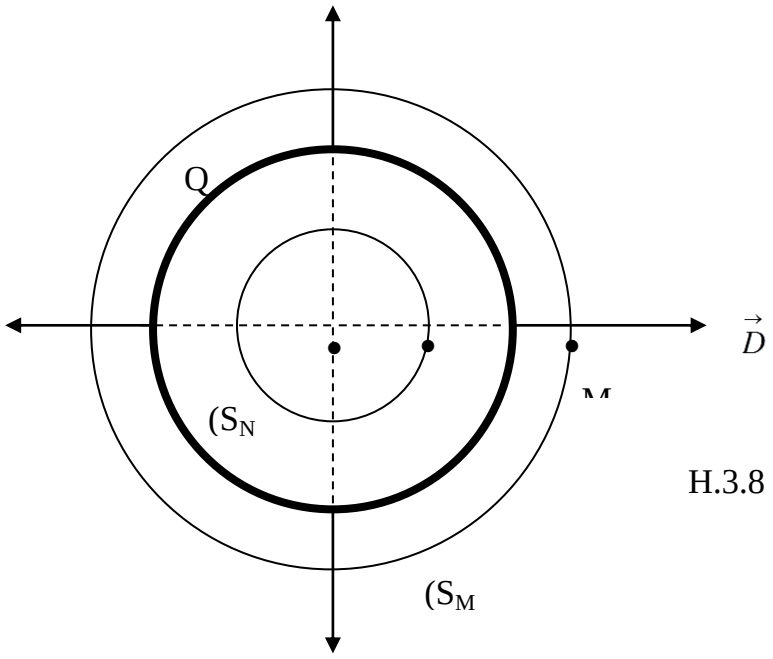
$$\vec{E}_M = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = 2\vec{E}_+ = 2\vec{E}_+$$

$$\text{E}_\text{M} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_o} \qquad \text{(3-23)}$$

Cường độ điện trường tại điểm N ngoài hai bản:

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

IV.3.3.3. Điện trường gây ra bởi một mặt cầu mang điện phân bố đều



H.3.8

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):

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

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:

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2} \qquad (3\text{-}24)$$

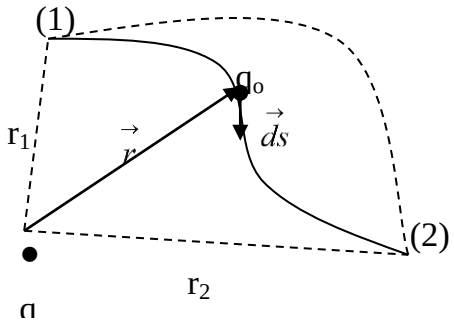
Nhận xét:

Công thức tính cường độ điện trường E tại điểm M nằm ngoài mặt cầu mang điện tích Q (3-24) có dạng toán học giống công thức (3-8) 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.3.9

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 .

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:

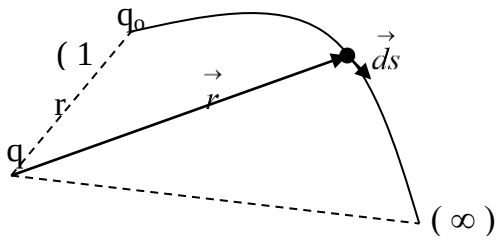
$$W_{t1} = A_{1\infty} = \int_{(1)}^{\infty} \vec{F}\,\vec{ds}$$

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:

$$W_{t1} = q_o \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (3\text{-}25)$$

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



H.3.10

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:

$$W_t = \frac{qq_o}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r} \qquad (3\text{-}26)$$

Nếu hai điện tích cùng dấu thế năng dương.

Nếu hai điện tích trái dấu thế năng âm.

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

$$W_{t1} = \sum_i^n \frac{q_o q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_i} \qquad (3\text{-}27)$$

Biểu thức (3-27) là công thức thế năng của một điện tích điểm q_o trong điện trường của một hệ điện tích điểm.

Bài tập 3.4:

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:

$$V = \frac{W_t}{q_o} \qquad (3\text{-}28)$$

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.

$$W_t = qV \qquad (3\text{-}29)$$

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

Từ (3-25) và (3-28) ta suy ra điện thế tại vị trí (1) trong điện trường:

$$V_1 = \int_{(1)}^{\infty} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (3\text{-}30)$$

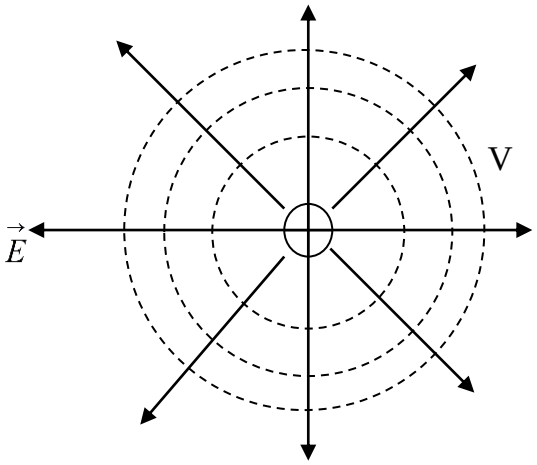
V.3.3. Điện thế tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q

Từ (3-26) và (3-28) ta suy ra điện thế V tại một điểm trong điện trường của một điện tích điểm q:

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r} \qquad (3\text{-}31)$$

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 (3-27) và (3-28) ta suy ra điện thế V tại một điểm trong điện trường của một hệ điện tích điểm:

$$V = \sum_{i}^{n} \frac{q_i}{4\pi\varepsilon\varepsilon_o r_i} \qquad (3\text{-}32)$$

<u>Bài tập 3.5</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 (3-30) 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: $$U = V_1 - V_2 = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}\,\vec{ds} \qquad (3\text{-}33)$$

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.

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

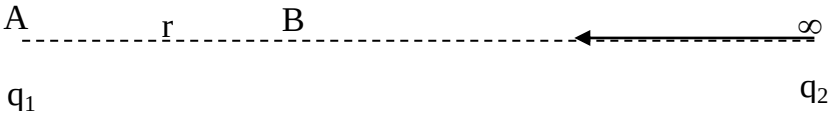
$$A_{12} = q\,(V_1 - V_2) \qquad (3\text{-}34)$$

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

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2} \qquad (3\text{-}35)$$

Biểu thức (3-35) 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:

- $V_1 = \dfrac{q_2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}$ 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.

$$W_e = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} q_i V_i \qquad (3\text{-}36)$$

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 (3-32).

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):

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

- (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).

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

(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

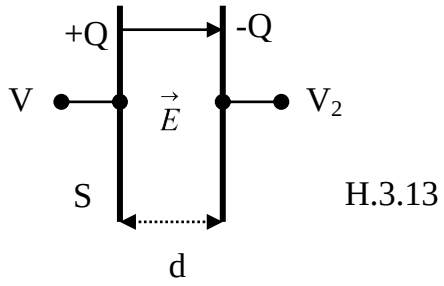
Để tính năng lượng điện của một vật dẫn mang một điện tích Q, ta chia vật dẫn thành những điện tích điểm q_i ($Q = \sum_i q_i$), mọi điện tích điểm q_i có điện thế giống nhau ($V_i = V$)

Theo (3-36) ta có năng lượng điện của vật dẫn mang điện tích Q và có điện thế V:

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

$$W_e = \frac{1}{2} QV \qquad (3\text{-}37)$$

VII.4. Tụ điện phẳng



H.3.13

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 đặc 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 (3-33) ta có hiệu điện thế giữa hai bản:

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

$$U = E\,d \qquad (3\text{-}39)$$

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

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

Thế (2) và (3-39) vào (3-38), ta được:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_o S}{d} \qquad (3\text{-}40)$$

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

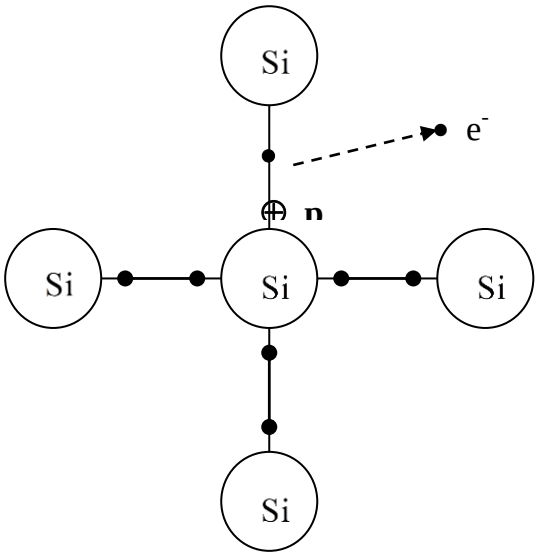
VIII. Chất bán dẫn

VIII.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

VIII.2. Chất bán dẫn tinh khiết



H.3.12

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: $n_e = n_p$

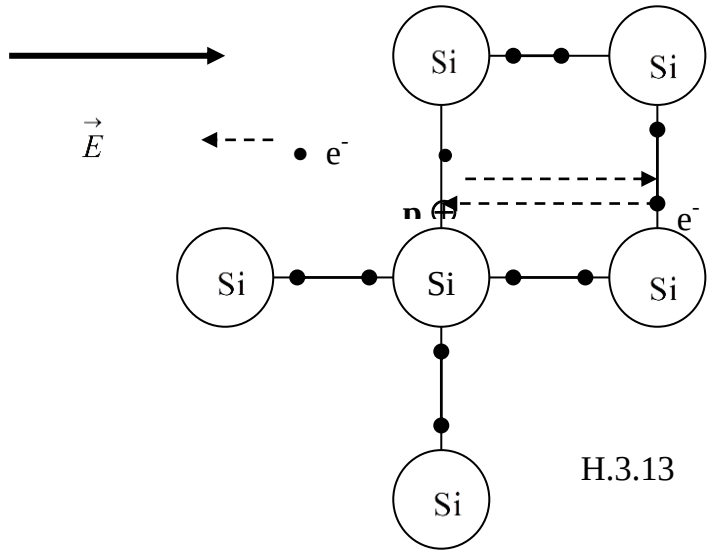
Khi đặt chất bán dẫn trong điện trường $\vec{E}$. Điện trường $\vec{E}$ tác dụng lên hạt e^- tự do làm chúng chuyển động có hướng (ngược chiều $\vec{E}$) tạo nên dòng điện I_e.

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.3.13

VIII.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.

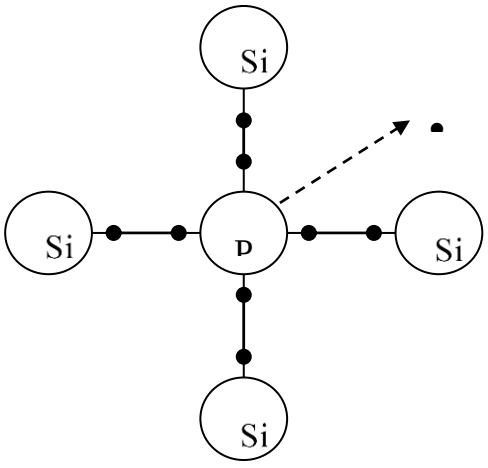
Như vậy cứ pha vào chất bán dẫn Silic một nguyên tử tạp chất P, sẽ tạo ra một hạt e^- tự do dẫn điện.

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*.

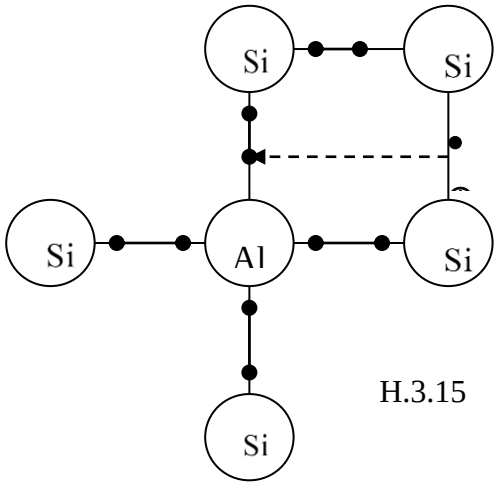
Các lỗ trống p được gọi là các *hạt tải điện thiểu số*.

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



H.3.14

VIII.4. Chất bán dẫn loại p



H.3.15

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

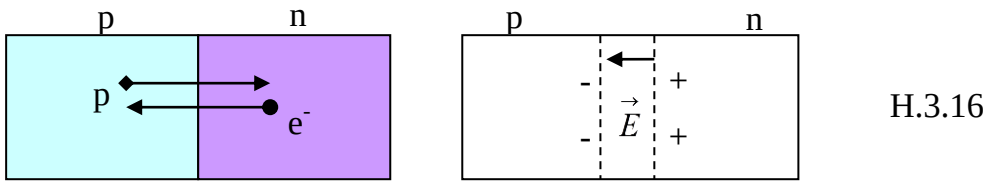
Trong chất bán dẫn Silic pha Al số hạt e^- tự do (n_e) nhỏ hơn lỗ trống p (n_p): $n_p > n_e$.

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*.

VIII.5. Lớp chuyển tiếp p-n



H.3.16

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.

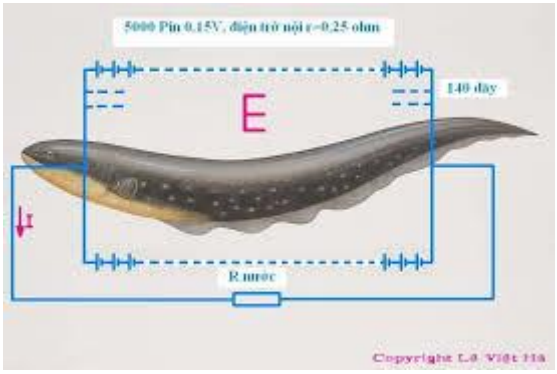
Dẫn đến kết quả tại vùng tiếp giáp p-n: bên n mang điện tích dương (+) và bên p mang điện tích âm (-).

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…

Bài đọc thêm: *Cá chình điện*



Cá chình điện Nam Mỹ (Electrophorus electricus) hay còn gọi là Lươn điện (The Electric Eel) sống ở phía Bắc Nam Mỹ chủ yếu ở lưu vực sông Amazon và sông Orinoco Peru, con trưởng thành có thể dài 2,5m nặng 20 kg. Sống ở vùng sông Amazon (Nam Mỹ), tại những nơi có ít khí ôxy. Ở hai bên sống lưng của cá chình điện, có 2 "nhà máy điện", mỗi "nhà máy" gồm 70 "cột điện" đấu song song, mỗi "cột" là một chồng gồm 6.000 tế bào phát điện đấu nối tiếp. Lúc gặp mồi hoặc kẻ thù, cá chình điện có thể phóng một loạt từ 10 đến 30 "cú điện" với điện thế lên tới 900 vôn, mạnh có thể 1000 vôn, để quật ngã và làm tê liệt đối thủ.

Ngoài ra, cá chình điện còn có thể phát liên tục những xung động điện với điện thế thấp để định hướng và thăm dò môi trường trong những vùng nước đục hoặc tối tăm. Thực ra cơ quan phát điện chính của cá nằm ở phần thân, điện ở đuôi tạo ra yếu hơn và giữ vai trò định vị, định hướng bơi của cá. Ngoài ra 550 V là điện áp phát ra từ một con cá chình Nam Mỹ trung bình, với con trưởng thành điện áp lên tới 750V.

Cơ quan phát điện

Chúng có một vũ khí săn mồi đáng sợ, đó là cơ quan phát điện của cá (EOD electric organ discharges) được tổng hợp từ 3 phần: phần chính tích điện (Main Organ), phần săn mồi phát động điện (Hunter's Organ) và phần đuôi định vị (Sach's Organ).

Phân tích sâu cơ quan phát điện của cá sẽ thấy chúng là các lớp mỏng cơ bao quanh bởi một dịch trong và sệt, các lớp cơ tạo điện đồng bộ và dòng điện tổng phóng ra được điều khiển bởi não cá. Tất cả chỉ diễn ra trong 3 mi li giây (3/1000 giây) nhưng cá chình điện có thể phóng liên tục 150 lần trong một giờ mà không …mệt mỏi! Do đó ít con mồi nào thoát khỏi miệng nó. (Đã có trường hợp một con hoẵng ngã lăn kềnh ra khi ghé miệng uống nước gần chỗ cá chình điện). Người khi bị cá chình phóng điện có thể không chết và gượng dậy thoát được, nhưng nếu chậm chân không ra khỏi vùng nguy hiểm và lãnh sự phóng điện lặp lại liên tục từ cá, chúng ta có thể bị tử vong.

Ba phần cơ quan phát điện của cá sẽ tạo dòng điện sinh học, dòng điện này hình thành từ các pin sinh học gọi là bản điện (electroplaques) có suất điện động e = 0,15V và điện trở nội r = 0,25ohm. Các bản điện sắp xếp 140 dãy, mỗi dãy có 5000 bản điện trải dài theo thân cá. Chúng ta có thể lập mô hình tính toán như sau: Suất điện động E của bộ pin gồm 5000 bản điện/dãy và 140 dãy song song chính là suất điện động của mỗi dãy:

- E = 5000.0,15V = 750V
- Điện trở của một dãy: Rd = 5000.0,25ohm = 1250(ohm)
- Điện trở nội của bộ pin E:
- 1/Rn = 140(1/Rd) vậy Rn = Rd/140 = 1250/140 = 8,92(ohm)

(http://vi.wikipedia.org/)

CHƯƠNG 4: 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

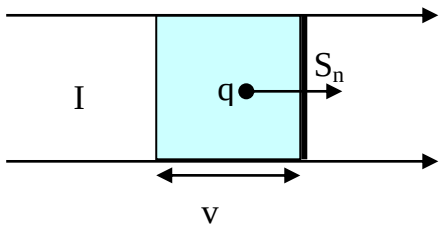
Cường độ dòng điện I có giá trị bằng điện lượng dịch chuyển qua tiết diện dây dẫn trong một giây .

$$I = \frac{dq}{dt} \qquad (4\text{-}1)$$

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

Đối với dòng điện không đổi:

$$q = I\,t \qquad (4\text{-}2)$$



H.4.1

Theo (4-1) 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.

$$I = n_o \,|q|\, v \,.\, S_n \qquad (4\text{-}3)$$

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 :

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

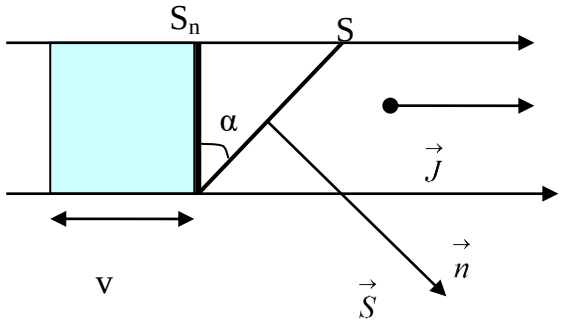
Với :

- 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 $\vec{J}$:

$$J = n_o \,|q|\, v \qquad (4\text{-}5)$$

H.4.2 I



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 (4-5) với S_n. Ta được:

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

Theo (4-3) ta có:

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

Vậy: $I = J.\, S_n \qquad (4\text{-}6)$

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 (4-6) ta có:

$$I = J . S_n = J. S. \cos\alpha = \vec{J}.\vec{S} \qquad (4\text{-}7)$$

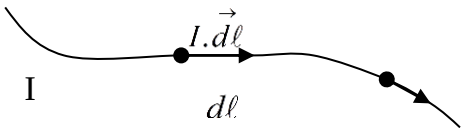
Với:

- 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:

$$I = \int_{(S)} \vec{J}.d\vec{S} \qquad (4\text{-}8)$$

I.4. Phần tử dòng điện:



H.4.3

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

Theo (4-6) ta có:

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

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

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

Thế (4-4) vào (2) ta được:

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

Hay: $I\,d\vec{\ell} = n\,q\,\vec{v}$ (4-9)

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

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 (SI) 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**.**

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

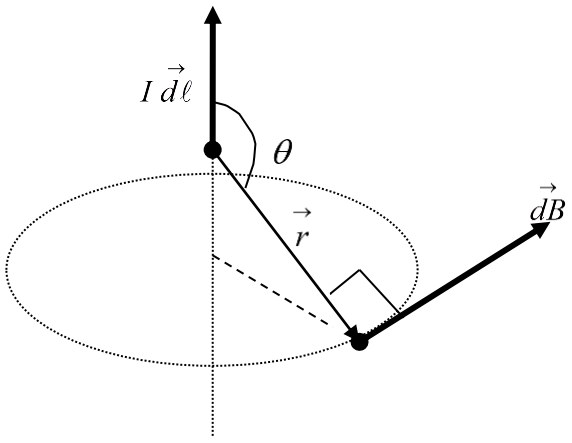
- $d\vec{B}$ có độ lớn: $dB = \frac{\mu\mu_o}{4\pi}\frac{Id\ell.\sin\theta}{r^2}$ (4-11)

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

- $d\vec{B}$ 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 $\mu = 1$



H.4.4

II.3. Véctơ cường độ từ trường

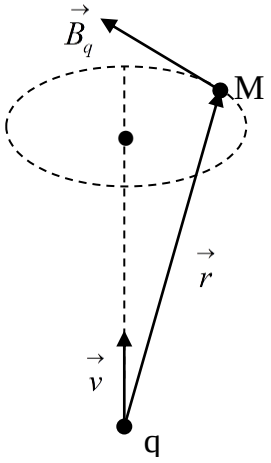
Trong môi trường đồng chất và đẳng hướng véctơ cường độ từ trường $\vec{H}$ được định nghĩa:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_o} \qquad (4\text{-}12)$$

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

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

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



H.4.5

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

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

Thế (4-10) vào (1) ta được:

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

Thế (4-9) vào (2) ta được:

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

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:

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

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

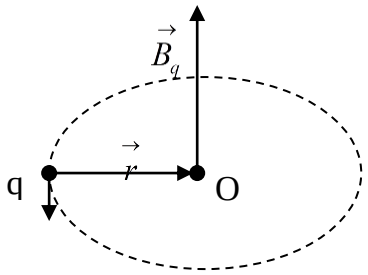
  Với $\theta = (\vec{v}, \vec{r})$

- $\vec{B}_q$ 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 $\theta = (\vec{v}, \vec{r}) = \frac{\pi}{2}$ nên $\sin\theta = 1$

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

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:

$$\vec{B} = \int_{(I)} d\vec{B} \qquad (4\text{-}15)$$

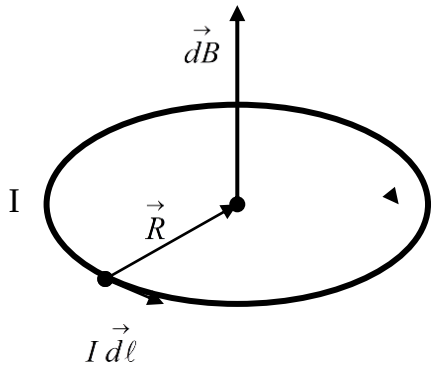
Trong đó $d\vec{B}$ là véctơ cảm ứng từ gây ra bởi phần tử dòng điện $I\,d\vec{\ell}$.

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

$$\vec{B} = \sum_{i}^{n} \vec{B}_i \qquad (4\text{-}16)$$

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.4.6

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 (4-11) 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:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2R} \qquad (4\text{-}17)$$

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:

$$\vec{p}_m = I\vec{S} \qquad (4\text{-}18)$$

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 (4-17) được viết lại như sau:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0\mu\,\vec{p}_m}{2\pi R^3} \qquad (4\text{-}19)$$

Từ (4-12) và (4-17) ta suy ra cường độ từ trường H của dòng điện tròn tại tâm O:

$$H = \frac{I}{2R} \qquad (4\text{-}20)$$

Phân tích:

Một hạt điện q chuyển động với vận tốc v trên quỹ đạo tròn bán kính R. Hãy áp dụng công thức (4-17) 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:

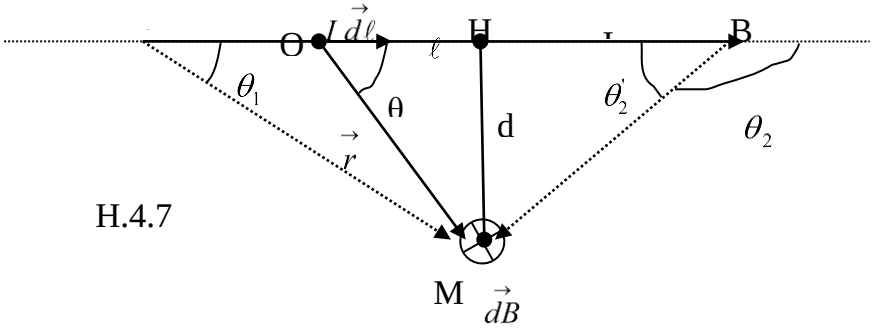
- n là số lần hạt điện q đi qua tại một điểm trên quỹ đạo trong một giây.
- $n = \frac{v}{2\pi R}$, với v là tốc độ của hạt điện q (đoạn đường hạt điện q đi được trong một giây) và 2π R là chu vi quỹ đạo tròn tròn.
- Vậy $I = \frac{qv}{2\pi R}$ (1)

Thế (1) vào (4-17) ta được:

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

Nhận xét: Ta thấy (4-17a) giống (4-14a)

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



H.4.7

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 (4-11) 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 :

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

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

Suy ra cường độ từ trường:

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

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 (4-22) ta suy ra:

$$B = \frac{\mu\mu_o I}{2\pi d} \qquad (4\text{-}24)$$

Hay : $$H = \frac{I}{2\pi d} \qquad (4\text{-}25)$$

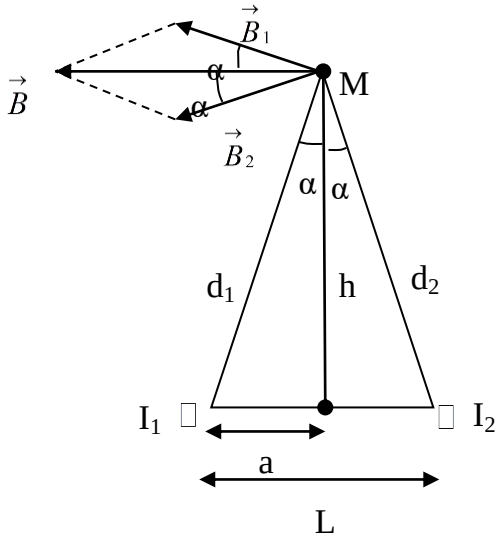
<u>Bài tập 4.1</u>: Hai dòng điện thẳng $I_1 = I_2 = I = 2$ A song song **cùng chiều** dài vô hạn, cách nhau một đoạn L = 4 m trong chân không. Hãy tính cảm ứng từ B tại điểm M trong mặt phẳng vuông góc với hai dòng điện và nằm trên đường trung trực của L, cách trung điểm O của L một đoạn h = 1 m

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: $B_1 = B_2 = \dfrac{\mu_o I}{2\pi d}$ (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:

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

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.

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

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

Thế (6) vào (5) ta được:

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

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 tập 4.2</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 tập 4.3</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:

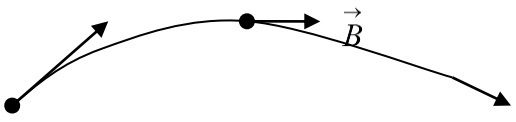
B = $\frac{\mu_o I\, a}{\pi(a^2+h^2)} = 3,2.10^{-7}$ T - với a = L/2

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.4.8

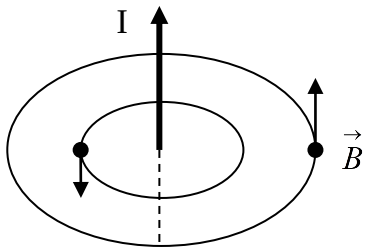
Đường sức từ trường có các tính chất sau :

- 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.

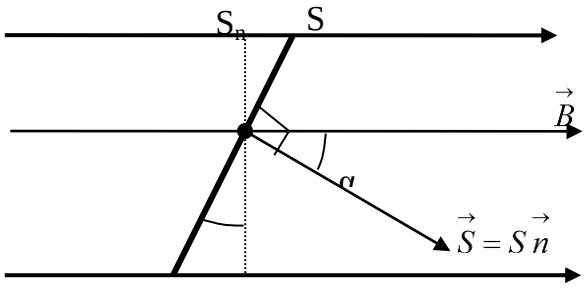
H.4.9



III. 2. Từ thông

III.2.1. Định nghĩa

H.4.10



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

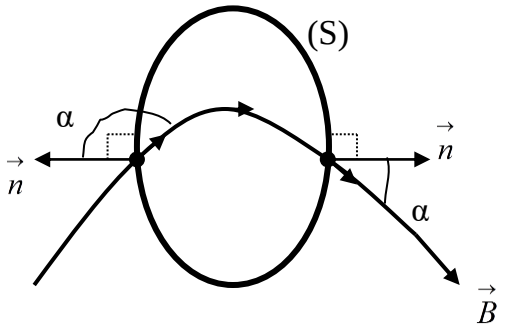
$$\Phi_m = \vec{B}.\vec{S} \qquad (4\text{-}26)$$

Hay: $\Phi_m = B.S.\cos\alpha$ (4-27)

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.4.11

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:

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} \qquad (4\text{-}28)$$

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.

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B}.\vec{dS} = 0 \qquad (4\text{-}29)$$

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 : $\text{div}\,\vec{B} = 0$ (4-30)

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).

$$\int_{(c)} \vec{H}.\vec{d\ell} = \sum_i^n I_i \qquad (4\text{-}31)$$

- 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 vécto: $\int_{(c)} \vec{H}.\vec{d\ell} = \int_{(S)} rot\,\vec{H}.\vec{dS}$ (2)

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

Thế (1) và (2) vào (4-31). Ta được:

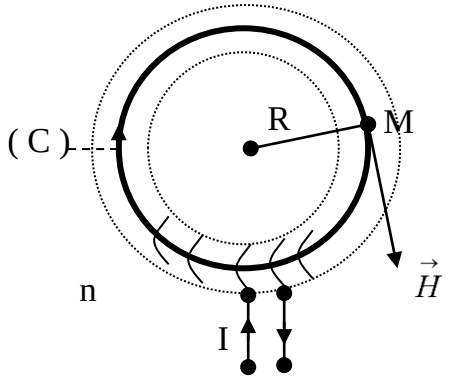
$$\int_{(S)} rot\,\vec{H}.\vec{dS} = \int_{(S)} \vec{J}.\vec{dS}$$

Suy ra: rot $\vec{H}$ = $\vec{J}$ (4-32)

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

IV.2 Ứng dụng của định lí Ampere

IV.2.1. Từ trường trong ống dây tròn



H.4.12

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

$$H = n_o I \quad (4\text{-}33)$$

Suy ra: $$B = \mu \mu_o n_o I \quad (4\text{-}34)$$

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.

$$H = n_o I \quad (4\text{-}35)$$

$$B = \mu \mu_o n_o I \quad (4\text{-}36)$$

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

V. Định luật Ampere về tương tác từ

V.1. Định luật Ampere

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:

$$\vec{dF} = I\vec{d\ell} \times \vec{dB} \quad (4\text{-}37)$$

- $\vec{dF}$ có độ lớn: $dF = Id\ell . dB. \sin\theta$ (4-38)

  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 (4-10) 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 $I\vec{d\ell}$:

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

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 (4-37) 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):

$$\vec{F_L} = q\vec{v} \times \vec{B} \qquad (4\text{-}40)$$

- $\vec{F_L}$ có giá trị: $F_L = q\ v\ B \sin\theta$ (4-41)

  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…

<u>Bài tập 4.4</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.

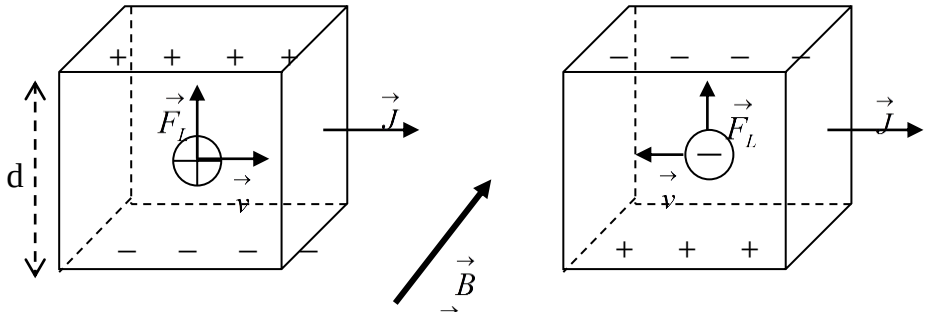
Đáp số:

E = 1,5 V/m và U = 3 V

Bài đọc thêm: *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 (4-5) 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 từ trường ngoài, làm chất nghịch từ bị từ hóa.

H.4.13

$\vec{B}_0 = 0$ $\vec{B}_0 \neq 0$

VI.2.Chất thuận từ

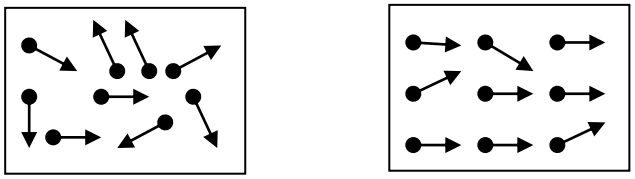
Chất thuận từ là những chất, khi đặt trong từ trường ngoài có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$, chúng tạo ra một từ trường có véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_t$ cùng chiều với véctơ cảm ứng từ $\vec{B}_0$ của từ trường ngoài ($B_t << B_0$): Al, Na….

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.



H.4.14

$\vec{B}_0 = 0$ $\vec{B}_0 \neq 0$

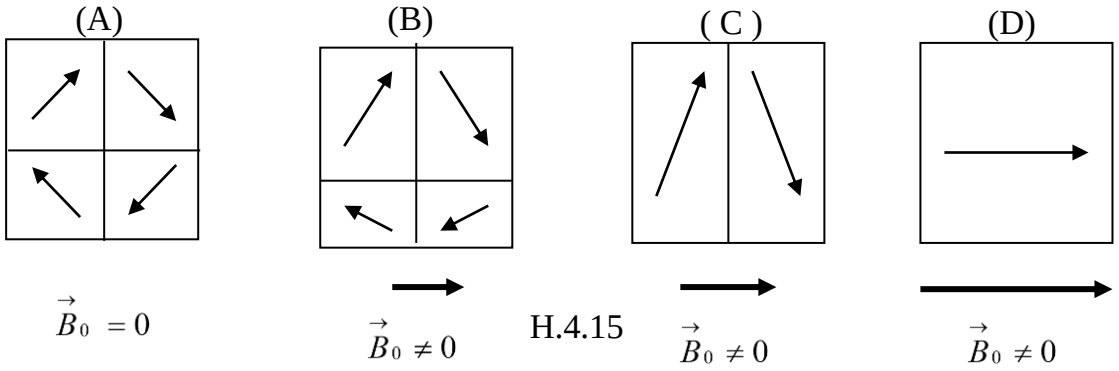
VI.3 Chất sắt từ

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 $\vec{B}_S$, làm chất sắt từ bị từ hóa.



H.4.15

- 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:

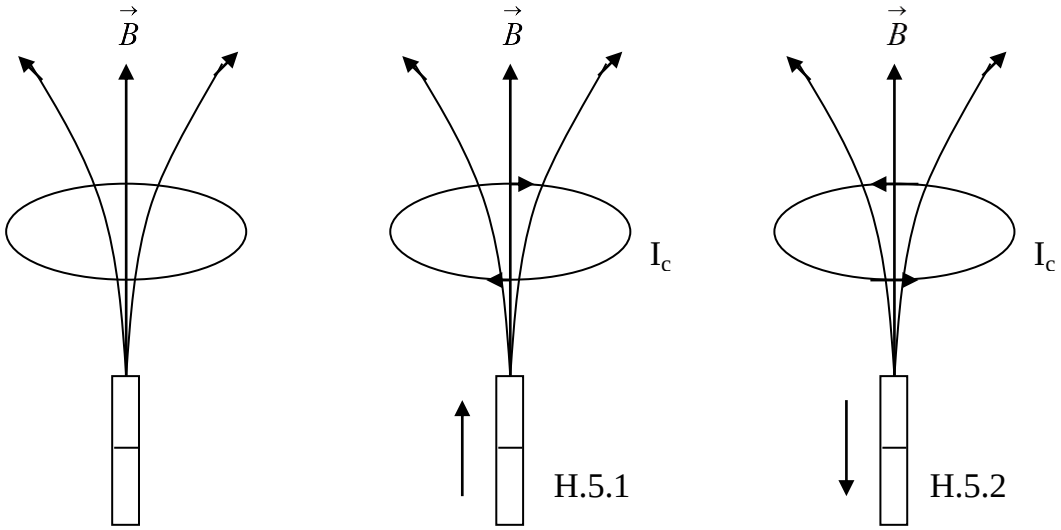
Fe ($T_c = 770\ ^0C$), Ni ($T_C = 360\ ^0C$), Co ($T_C = 1150\ ^0C$).

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.

CHƯƠNG 5: TRƯỜNG ĐIỆN TỪ - SÓNG ĐIỆN TỪ

I. Hiện tượng cảm ứng điện từ

I.1. Hiện tượng cảm ứng điện từ



H.5.1 H.5.2

Từ thông không đổi Từ thông tăng Từ thông giảm

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

I.2. Định luật Lenx

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.

Bài 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.

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:

$$Є = \frac{A}{q_o} \qquad (5 - 1)$$

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 (5-1), ta được suất điện động của nguồn điện:

$$Є = \int_{(c)} \vec{E}_l . \vec{ds} \qquad (5\text{- }2)$$

Nếu lực lạ chỉ tồn tại trên đoạn (1) → (2) ta có:

$$Є = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}_l . \vec{ds} \qquad (5\text{ -}3\text{ })$$

Đơn vị của suất điện động là Volt (V).

Đối với dòng điện không đổi I ta có:

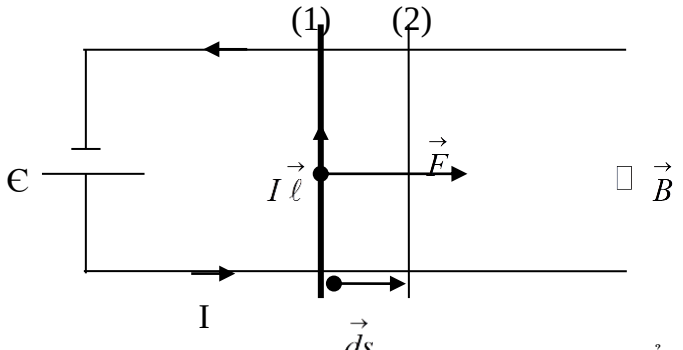
$$q = I\,t \qquad (1)$$

Từ (1) và (5-1) ta suy ra công của nguồn điện:

$$A = Є.I.t \qquad (5\text{-}4)$$

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.5.3

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: $F = I \cdot \ell \cdot B$

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:

$$dA = \vec{F} \cdot \vec{ds} = F \cdot ds$$
$$= I.\ell.ds.B = I \cdot dS \cdot B$$
$$= I\, d\Phi_m$$
$$dA = I\, d\Phi_m \qquad (5 - 5)$$

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 5.1</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 :

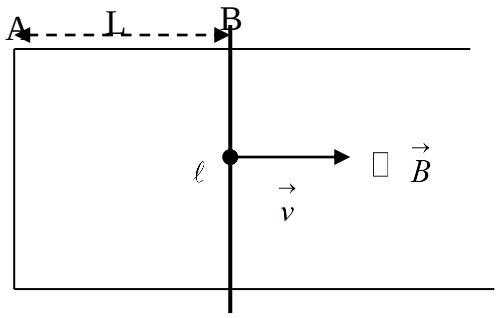
$$\mathcal{E}_c = -\frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (5\text{-}6)$$

Vậy suất điện động cảm ứng bằng trừ (-) đạo hàm từ thông theo thời gian.

Biểu thức (5-6) 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 5.2:



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 .

$$\Phi_m = L I \qquad (5–7)$$

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 (5-6) và (5-7) suy ra suất điện động tự cảm:

$$\mathcal{E}_{tc} = - L \frac{dI}{dt} \qquad (5-8)$$

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 (5-7) và (1) ta suy ra hệ số tự cảm của ống dây thẳng.

$$L = \mu\mu_o n_o^2 \ell S \qquad (5-9)$$

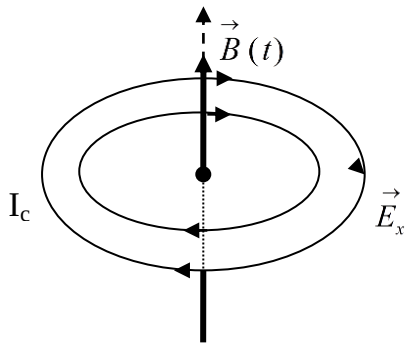
Bản chất vật lý của hiện tượng tự cảm không phải do lực Lorentz. Luận điểm thứ nhất của Maxwell sẽ làm sáng tỏ điều này.

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.5.4

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 (5-3) ta có:

$$\mathcal{E}_c = \int_{(c)} \vec{E}_x . \vec{ds} \qquad (1)$$

Theo (5-6) 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:

$$\int_{(c)} \vec{E}_x . \vec{ds} = \int_{(S)} (-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}).\vec{dS} \qquad (5-10)$$

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 (5-10) 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:

$$rot\, \vec{E}_x = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (5-11)$$

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 $\vec{H}$.

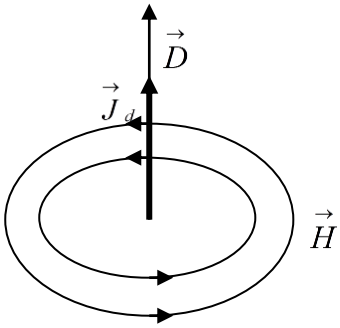
III.2. Dòng điện dịch

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:

$$\vec{J}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (5-12)$$

- 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.5.5

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 $\vec{J}_d$:

$$\vec{J}_{tp} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (5-13)$$

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 :

$$\int_{(c)} \vec{H}.\vec{ds} = \int_{(S)} \vec{J}_{tp}.\vec{dS} \qquad (5-14)$$

III.4.2. Dạng vi phân

Từ dạng vi phân của định lí Ampere ta suy ra :

$$rot\,\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (5-15)$$

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. Các phương trình Maxwell

Trường điện từ được diễn tả bằng bốn phương trình cơ bản sau :

- Phương trình Maxwell một:

$$rot\,\vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (5\text{-}16)$$

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:

$$rot\,\vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (5\text{-}17)$$

Phương trình này là phương trình Maxwell – Ampere diễn tả điện trường biến thiên theo thời gian sinh từ trường .

- Phương trình Maxwell ba:

$$div\,\vec{D} = \rho \qquad (5\text{-}18)$$

Phương trình này là định lí O- G của điện trường diễn tả tính chất thế của điện trường tĩnh .

- Phương trình Maxwell bốn:

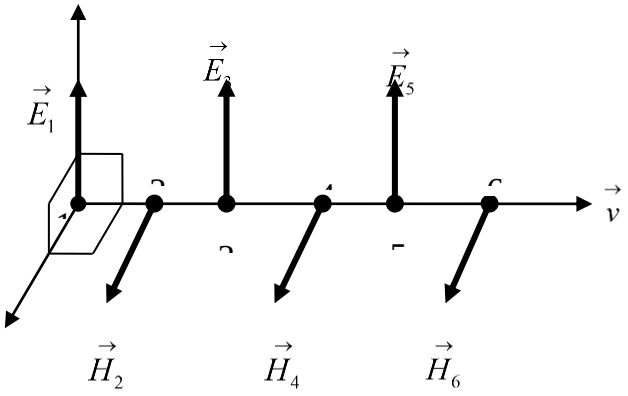
$$div\,\vec{B} = 0 \qquad (5\text{-}19)$$

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.5.6



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 $\vec{H}_6$ …

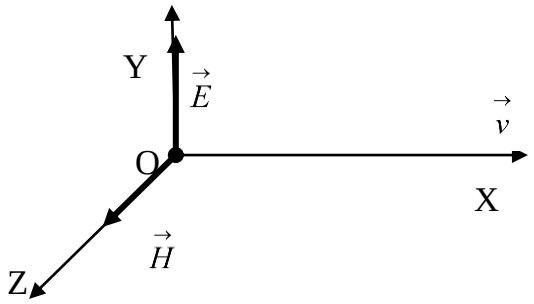
Khi $\vec{E}_3$ sinh làm triệt tiêu $\vec{E}_1$ và $\vec{E}_5$ sinh ra làm triệt tiêu $\vec{E}_3$. Tương tự $\vec{H}_4$ sinh ra làm triệt tiêu $\vec{H}_2$ và $\vec{H}_6$ sinh ra làm triệt tiêu $\vec{H}_4$ ..

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.5.7

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:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} - \varepsilon\varepsilon_o \mu\mu_o \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0 \qquad (5-20)$$

Làm tương tự đối với cường độ từ trường H, ta được:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \varepsilon\varepsilon_o \mu\mu_o \frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = 0 \qquad (5-21)$$

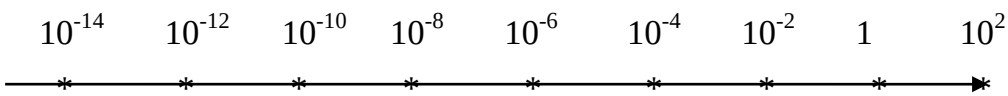
Các biểu thức (5-27) và (5-28) là phương trình vi phân sóng điện-từ, suy ra vận tốc sóng điện từ:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\mu_o \varepsilon\varepsilon_o}} = \frac{c}{n} \qquad (5-22)$$

- $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \varepsilon_o}} = 3.10^8$ 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.

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 .

VI. Các hiện tượng sóng của ánh sáng

VI.1. 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.

VI.2. Sự giao thoa của hai nguồn kết hợp

VI.2.1. 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:

$$E = E_o \cos(\omega t + \alpha) \qquad (5\text{-}23)$$

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.

VI.2.2. Cách tạo ra 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. 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.

VI.2.3. 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:

$$E_M = E_0 \cos\left(\omega\, t - \frac{2\pi\, L}{\lambda}\right) \qquad (5\text{-}24)$$

Biểu thức (5-24) được gọi là hàm sóng ánh sáng.

Với: $L = n \,.\, d$ (5-25)

- 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.

VI.2.4. 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.

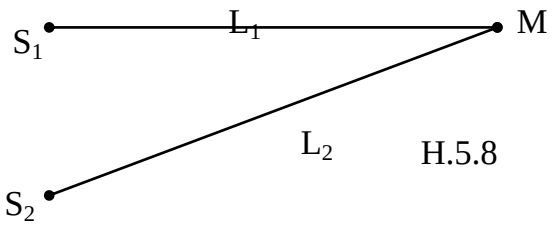
Hiện tượng giao thao ánh sáng chứng tỏ ánh sáng có bản chất sóng.

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.5.8

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.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L \qquad (5\text{-}26)$$

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:

$$I = 2I_o (1 + \cos \Delta\varphi) \qquad (5\text{-}27)$$

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: $\Delta L = K\lambda$

Với: $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \ldots$ gọi là bậc giao thoa.

Suy ra: $\Delta\varphi = 2k\pi$ (cùng pha)

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: $\Delta L = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$

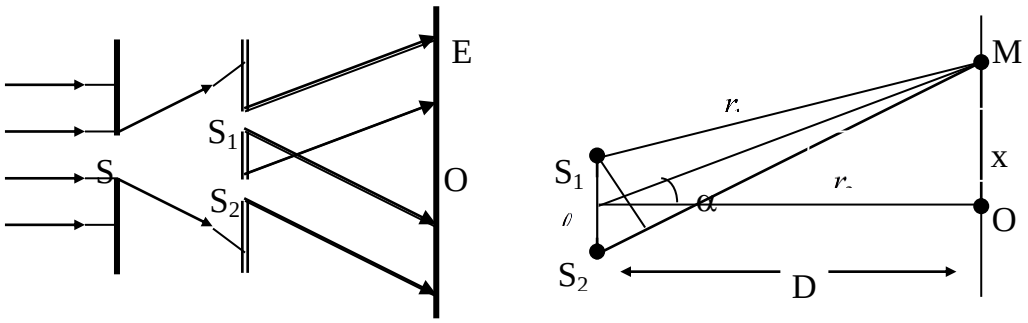
Suy ra: $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$ (ngược pha)

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…

VI.2.5. Giao thoa gây bởi hai khe Young



H.5.9

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:

$$\Delta L = \ell \sin\alpha = \ell tg\alpha = \ell \frac{x}{D}$$

$$\Delta L = \frac{\ell . x}{D} \qquad (5\text{-}28)$$

Nếu tại M là vân sáng, ta có: $\Delta L = \frac{\ell . x}{D} = k\lambda$

Suy ra: $$x = \frac{k\lambda D}{\ell} \qquad (5\text{-}29)$$

Nếu tại M là vân tối ta có: $\Delta L = \frac{\ell x}{D} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

Suy ra: $$x = (2k+1)\frac{\lambda . D}{2\ell} \qquad (5\text{-}30)$$

Gọi i là khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp hay hai vân tối liên tiếp, ta có:

$$i = x_{k+1} - x_k = (k+1)\frac{\lambda . D}{\ell} - \frac{k\lambda . D}{\ell} = \frac{\lambda . D}{\ell}$$

$$i = \frac{\lambda . D}{\ell} \qquad (5\text{-}31)$$

Từ biểu thức (5-28) ta suy ra:

$$\frac{\Delta . L}{\lambda} = \frac{\ell}{\lambda . D} . x = \frac{x}{i}$$

Hay: $$m = \frac{x}{i} = \frac{\Delta . L}{\lambda} \qquad (5\text{-}32)$$

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: $\lambda = 0{,}5\ \mu m$

Hiện tượng giao thoa ánh sáng có thể được nhìn thấy qua các hiện tượng sau: váng dầu trên mặt nước, bề mặt bong bóng xà phòng dưới ánh sáng mặt trời có nhiều màu sắc như màu cầu vồng (hiện tượng giao thoa với các bản mỏng dưới ánh sáng trắng).

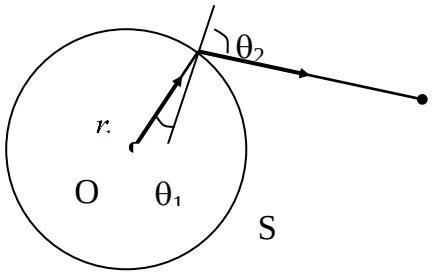
VI.3. Sự nhiễu xạ của ánh sáng

VI.3.1. 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.

VI.3.2. Sự truyền sáng theo nguyên lý Huyghen – Fresnel



H.5.10

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:

$$E = E_o \cos \omega t \qquad (5\text{-}33)$$

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.

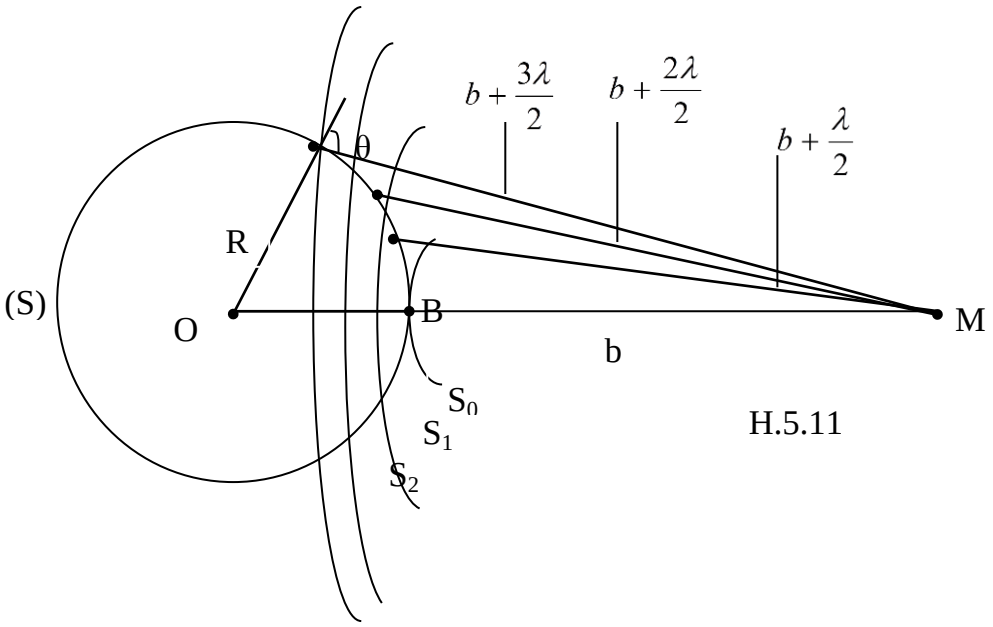
Dao động sáng tổng hợp tại M sẽ là:

$$E_M = \int_{(S)} \frac{k.E_o}{r_1 r_2} \cos\left(\omega t - \frac{\omega(r_1 + r_2)}{\vartheta}\right).dS \qquad (5\text{-}34)$$

Tính tích phân trong biểu thức (5.34) là khá phức tạp. Để đơn giản hơn Fresnel đã xây dựng phương pháp đới cầu Fresnel.

VI.3.3. Phương pháp đới cầu Fresnel

VI.3.3.1. Đới cầu Fresnel



H.5.11

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 …

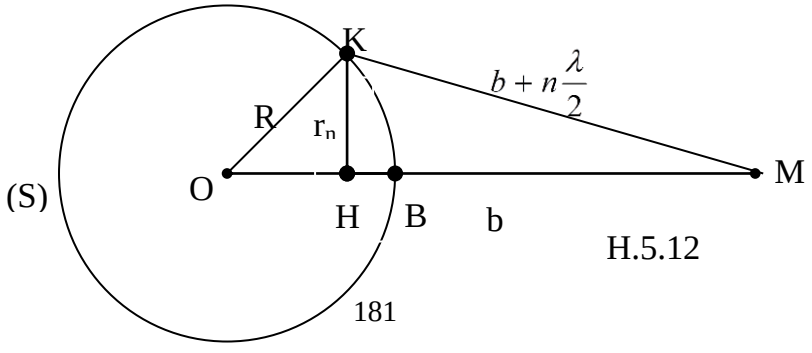
Trong đó λ là bước sóng của ánh sáng.

Các mặt cầu S_o, S_1, S_2, S_3, … chia mặt cầu S thành các đới gọi là đới cầu Fresnel.

VI.3.3.2. 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.5.12

$$r_n^2 = R^2 - (R - h_n)^2$$

$$r_n^2 = 2Rh_n - h_n^2$$

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 :

$$r_n^2 = nb\lambda - 2bh_n \quad \text{(b)}$$

So sánh (a) và (b). Ta được:

$$h_n = \frac{n\lambda\, b}{2(R+b)} \quad \text{(c)}$$

Với n = 1, 2, 3, …

Từ (a) và (c) ta suy ra: $r_n = \sqrt{\frac{Rb\lambda}{(R+b)}} \,.\, \sqrt{n}$ (5-35)

VI.3.3.3. 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 :

$$\Delta S_o = \frac{\pi\, Rb\lambda}{(R+b)} \quad \text{(5-36)}$$

VI.3.3.4. 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:

$$E = E_1 - E_2 + E_3 - E_4 + E_5 - \dots$$

$$E = \frac{E_1}{2} + \left(\frac{E_1}{2} - E_2 + \frac{E_3}{2}\right) + \left(\frac{E_3}{2} - E_4 + \frac{E_5}{2}\right) + \dots$$

$$\begin{cases} +\dfrac{E_n}{2} & : \text{nếu n lẻ} \\ \dfrac{E_{n-1}}{2} - E_n = -\dfrac{E_n}{2} & : \text{nếu n chẵn} \end{cases}$$

Vì phần trong ngoặc bằng không nên:

$$E = \frac{E_1}{2} \pm \frac{E_n}{2} \qquad \begin{cases} + : \text{nếu n lẻ} \\ - : \text{nếu n chẵn} \end{cases} \qquad (5\text{-}37)$$

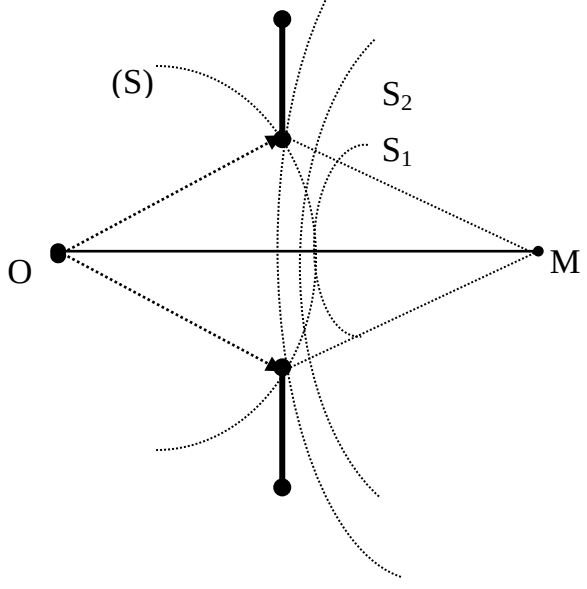
Ta có cường độ sáng tại M:

$$I = \left(\frac{E_1}{2} \pm \frac{E_n}{2}\right)^2 \qquad (5\text{-}38)$$

Nếu giữa O và M không có vật cản thì n lớn. Nên $E_n \sim O$. Khi đó:

$$I = \frac{E_1^2}{4} = I_o \qquad (5\text{-}39)$$

VI.3.3.5. Nhiễu xạ qua một lỗ tròn gây bởi nguồn điểm ở gần



H.5.13

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 5.3:

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.

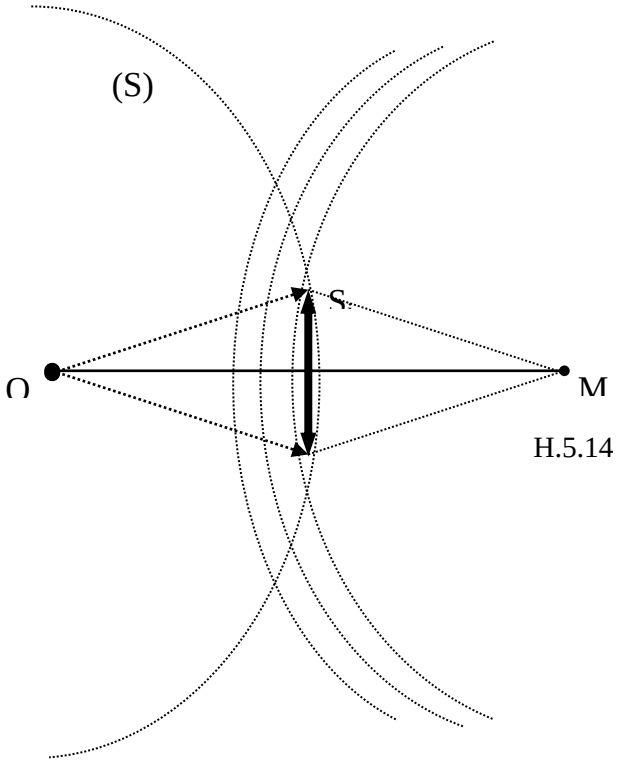
Đáp số: r = 0,7 mm

Bài tập 5.4:

Một nguồn sáng điểm O và điểm được chiếu sáng M (với ánh sáng có bước 0,5μm) 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

VI.3.3.6. Nhiễu xạ qua một đĩa tròn



H.5.14

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.

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng có thể được nhìn thấy qua các hiện tượng sau: bề mặt đĩa CD, bề mặt cánh bướm hoặc lông con công dưới ánh sáng mặt trời có nhiều

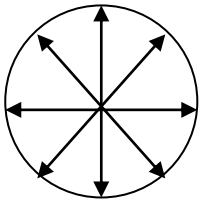
màu sắc như màu cầu vồng (hiện tượng nhiễu xạ với các khe hẹp dưới ánh sáng trắng).

VI.4. Sự phân cực của ánh sáng

VI.4.1. 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.

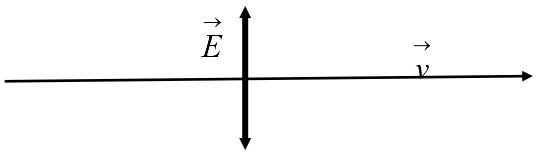


H.5.15

Nguồn phát ra ánh sáng tự nhiên là mặt trời, đèn …

VI.4.2. Ánh sáng phân cực toàn phần

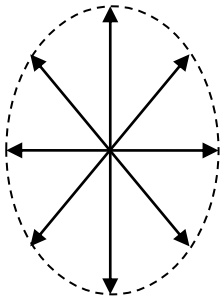
Ánh sáng phân cực toàn phần là ánh sáng mà véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của nó chỉ dao động theo một phương.



H.5.16

Ánh sáng phân cực toàn phần

VI.4.3. Ánh sáng phân cực một phần



H.5.17

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.

VI.4.4. 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.

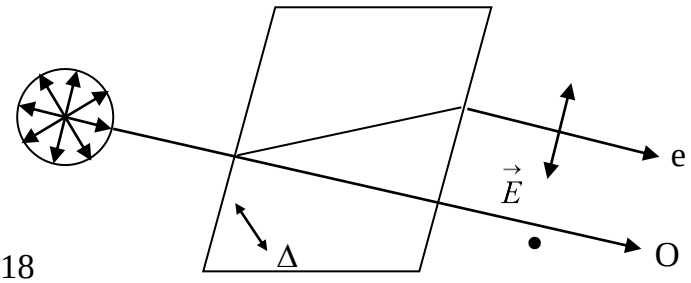
Trong tinh thể có một phương mà ánh sáng truyền theo phương đó không xảy ra hiện tượng lưỡng chiết được gọi là quang trục Δ của tinh thể. Tinh thể này được gọi là tinh thể đơn trục.

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.

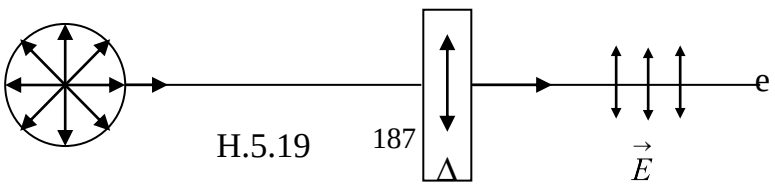
Thực nghiệm cho thất véctơ cường độ điện trường $\vec{E}$ của tia thường 0 chỉ dao động theo phương vuông góc với mặt phẳng chứa tia thường và quang trục Δ. Còn tia bất thường e thì véctơ điện trường $\vec{E}$ của nó chỉ dao động theo phương nằm ngang trong mặt phẳng chứa tia bất thường e và quang trục Δ.

Vậy ánh sáng của tia thường 0 và tia bất thường e là ánh sáng phân cực toàn phần.



H.5.18

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.



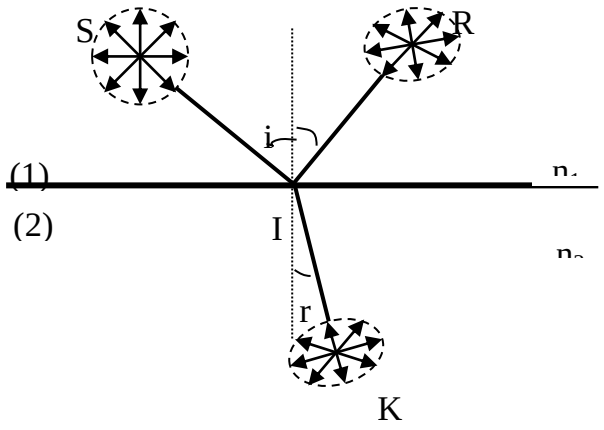
H.5.19

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

VI.4.5. 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.5.20

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:

$$\text{tg } i_B = n_{21} = n_2/n_1 \qquad (11\text{-}25)$$

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 5.5:

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

CHƯƠNG 6: LÝ 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 tạo ra bởi chuyển động nhiệt của các hạt điện tích trong vật chất. Tất cả các vật chất với nhiệt độ lớn hơn độ không tuyệt đối đều phát ra bức xạ nhiệt.

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.

$$r(\lambda,T)=\frac{dR}{d\lambda} \qquad (6-1)$$

Suy ra:

$$R=\int_0^{\infty} r(\lambda,T)d\lambda \qquad (6-2)$$

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 :

$$a(\lambda,T)=\frac{dE'}{dE} \qquad (6-3)$$

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.

I.6. Các định luật của vật đen tuyệt đối

I.6.1.Định luật Stefan-Boltzmann

Ta có năng suất phát xạ toàn phần của vật đen tuyệt đối:

$$R=\int_0^{\infty} r(\gamma,T)d\gamma=\frac{2\pi h}{c^2}\int_0^{\infty}\frac{\gamma^3}{e^{\frac{h\gamma}{kT}}-1}\,d\gamma$$

$$R=\sigma T^4 \qquad (6\text{-}4)$$

Với σ = 5,67.10^{-8} W/m^{2}K^4 được gọi là hằng số Stefan-Boltzmann.

Biểu thức (6-4) là định luật Stefan-Boltzmann.

Nhận xét:

Ta thấy năng lượng bức xạ nhiệt R tăng rất mạnh theo nhiệt độ T.

I.6.2.Định luật dịch chuyển Wien

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.

$$\frac{r_1(\lambda,T)}{a_1(\lambda,T)} = \frac{r_2(\lambda,T)}{a_2(\lambda,T)} = \ ... \ = f(\lambda,T)$$

Hay : $$\frac{r\ (\lambda,T)}{a\ (\lambda,T)} = f(\lambda,T)$$

Hàm $f(\lambda,T)$ được gọi là hàm phổ biến.

Trên cơ sở của giả thuyết lượng tử năng lượng Planck đã tìm ra được dạng của hàm f(λ,T):

$$f(\lambda,T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \ \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\,T\lambda}} - 1}$$

Hay :

$$f(\gamma,T) = \frac{2\pi h\gamma^3}{c^2} \ \frac{1}{e^{\frac{h\gamma}{kT}} - 1}$$

Trong đó: T là nhiệt độ tuyệt đối, k = 1,38.10^{-23}J là hằng số Boltzmann.

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 (6-5)

Với: b = 2,898.10^{-3} m.K được gọi là hằng số Wien.

Biểu thức (6 -5) là định luật dịch chuyển Wien.

Wien (Nhà vật lý người Đức) nhận giải Nobel vật lý năm 1911.

Phân tích:

Biểu thức (6-5) 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 …

Bài tập 6.1:

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.

$$E = h\gamma = \frac{hc}{\lambda} \qquad (6\text{-}6)$$

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 (6-6) ta suy ra khối lượng của hạt photon:

$$m = \frac{h}{\lambda c} \qquad (6\text{-}7)$$

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 (6-7) vào (2) ta được :

$$p = \frac{h}{\lambda} \qquad (6\text{ -}8)$$

Einstein (Nhà vật lý người Đức gốc Do Thái) nhận giải Nobel vật lý năm 1921

<u>Bài tập 6.2</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

Bài tập 6.3:

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

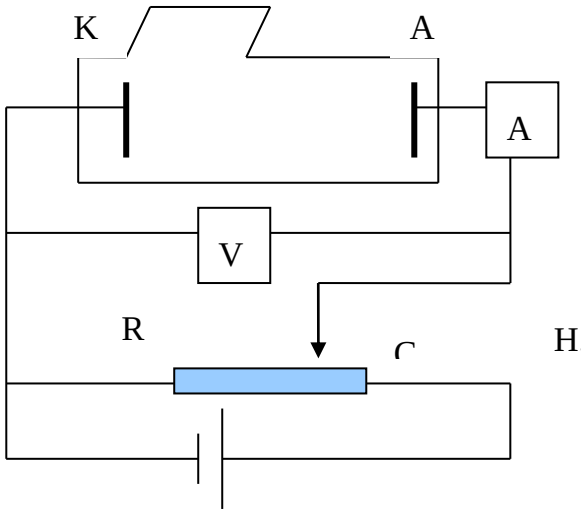
II.2.1. Hiện tượng

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:

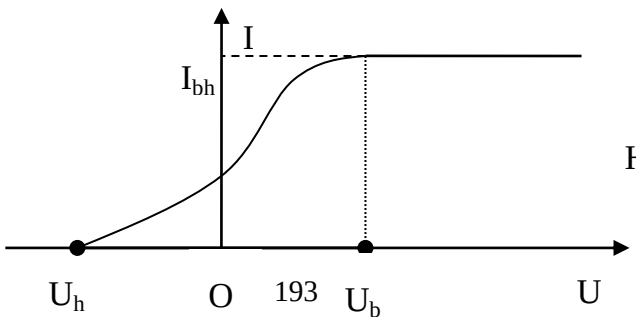


H.6.1

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.6.2

- Phần U > 0 ứng với tế bào quang điện phân cực thuận, cực A nối với cực (+) của nguồn điện. Hình H.6.2: 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 : $I_{bh} = n.e$ (6 -9)

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 :

$$|eU_h| = \frac{1}{2} m_e v_m^2 \quad (6\text{-}10)$$

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.

II.2.3. Các định luật quang điện

Từ thực nghiệm người ta thiết lập được ba định luật quang điện sau:

II.2.3.1. 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.

II.2.3.2. 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.

II.2.3.3. 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 :

II.2.4.1. Giải thích 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:

$$\lambda \leq \frac{hc}{A} = \lambda_o$$

II.2.4.2. Giải thích 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 : $I_{bh} \sim n \sim n_\phi \sim I$.

II.2.4.3. Giải thích 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 :

$$h\gamma = A + \frac{1}{2} m_e v_m^2 \qquad (6\text{-}11)$$

Biểu thức (6-11) là phương trình Einstein.

Câu hỏi:

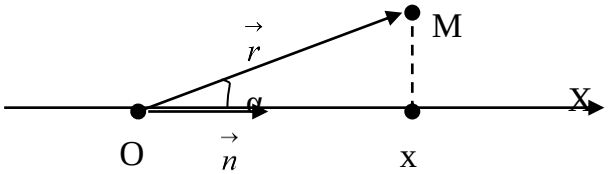
1) Hãy giải thích tại sao lí thuyết sóng ánh sáng không giải thích được định luật giới hạn quang điện và định luật động năng cực đại của các quang electron.
2) Trong hiện tượng quang điện các quang electron thoát ra có động năng cực đại là electron ở bề mặt kim loại hay ở sâu trong kim loại? Giải thích.

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.6.3

Đối với sóng phẳng, mặt sóng là mặt phẳng, mặt sóng vuông góc với trục OX. Từ hình vẽ H.6.4, 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:

$$\Psi = \Psi_o e^{-i(\omega t - \vec{k}.\vec{r})} \qquad (6\text{-}12)$$

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 (6 -12) ta được:

$$\Psi = \Psi_o^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}.\vec{r})} \quad (6\text{-}13)$$

Biểu thức (6 -13) 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 (Đơ Brơi)

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:

$$\gamma = \frac{E}{h} \quad (6\text{-}14)$$

Bước sóng λ của sóng của vi hạt được xác định theo động lượng p của vi hạt:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (6\text{-}15)$$

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:

$$\Psi = \Psi_o e^{-\frac{i}{\hbar}(Et - \vec{p}.\vec{r})} \quad (6\text{-}16)$$

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*.

$$\rho = \frac{dW}{dV} = |\Psi|^2 \qquad (6\text{-}17)$$

Với dW là xác suất tìm thấy hạt trong thể tích dV.

Vậy xác suất tìm thấy hạt trong thể tích dV là:

$$dW = \rho\, dV = |\Psi|^2 dV = \Psi.\Psi^* dV \qquad (6\text{-}18)$$

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.

Bài đọc thêm: ***Tiểu sử Louis de Broglie***

Louis de Broglie đã được sinh ra trong một gia đình quý tộc ở Dieppe, Seine-Maritime (Pháp), con trai út của Victor, duc de Broglie đời thứ 5. Ông trở thành duc de Broglie đời thứ 7 sau cái chết mà không có người thừa kế vào năm 1960 của anh trai mình, Maurice, duc de Broglie đời thứ 6, cũng là một nhà vật lý. Ông không kết hôn. Khi ông qua đời ở Louveciennes, ông đã được truy tặng danh hiệu công tước từ người họ hàng xa, Victor-François, duc de Broglie đời thứ 8.

De Broglie và các đồng nghiệp của ông có định hướng ban đầu làm việc trong lĩnh vực Nhân chủng học, và nhận được tấm bằng đầu tiên về Lịch Sử. Mặc dù vậy, ông chuyển sang lĩnh vực toán học và vật lý sau đó nhận được tấm bằng tiếp theo về Vật lý. Với sự bùng nổ của

Thế chiến thứ nhất vào năm 1914, ông được quân đội mời về nghiên cứu trong lĩnh vực vô tuyến truyền thanh.

Trong luận án tiến sĩ năm 1924 của mình, dựa trên thành tựu của Max Planck và Albert Einstein về ánh sáng, ông đưa ra lý thuyết sóng vô tuyến, bao gồm cả tính chất lưỡng tính sóng hạt của vật chất. Nhưng bởi ban giám khảo không chắc về những tài liệu của ông sử dụng nên đã gửi luận án này cho Einstein để đánh giá thêm, sau đó De Broglie đã được trao bằng tiến sĩ. Nghiên cứu này lên đến đỉnh điểm trong giả thuyết De Broglie nói rằng bất kỳ hạt hoặc đối tượng chuyển động đều có một bước sóng liên quan. De Broglie đã tạo ra một lĩnh vực mới trong vật lý về sự tương quan sóng hạt. Nhờ điều này, ông đã đoạt giải Nobel Vật lý năm 1929.

Trong sự nghiệp sau này của ông, de Broglie làm việc để có một sự lý giải sâu xa hơn trong cơ học sóng, nó đã được tiếp tục phát triển bởi David Bohm trong những năm 1950. Kể từ khi đó, nó được biết đến là lý thuyết De Broglie-Bohm.

Ngoài công việc nghiên cứu khoa học, de Broglie còn nghiên cứu và có nhiều bài viết về triết học, bao gồm cả giá trị của khám phá trong khoa học hiện đại. De Broglie đã trở thành một thành viên của Académie des sciences vào năm 1933, và là thư ký của học viện từ 1942. Ông được yêu cầu tham gia Le Conseil de l'Union des Catholique Scientifiques Francais. Tuy nhiên, ông từ chối, do ông không theo tôn giáo.

Ngày 12 tháng Mười, 1944, ông được bầu vào Académie française, thay thế nhà toán học Émile Picard. Vì có quá nhiều sự hi sinh của các thành viên của Viện hàn lâm trong quá trình nghề nghiệp và chiến tranh, Académie đã không thể đáp ứng được đủ số lượng đại biểu quy định (hai mươi thành viên) cho cuộc bầu cử của ông; tuy nhiên do hoàn cảnh đặc biệt, ông được chấp thuận với số phiếu của 17 đại biểu. UNESCO trao tặng ông giải thưởng Kalinga đầu tiên vào năm 1952 cho việc phổ biến kiến thức khoa học, và ông đã được bầu làm thành viên nước ngoài của Hội Hoàng gia vào ngày 23 tháng tư 1953.

Năm 1961 ông nhận danh hiệu Hiệp sĩ do Hội Chữ thập Grand ban tặng. De Broglie đã được công nhận là cố vấn cho Hội đồng cấp cao của Pháp về Năng lượng Nguyên tử vào năm 1945 vì những nỗ lực của mình để mang ngành công nghiệp và khoa học này lại gần nhau hơn. Ông thành lập một trung tâm cơ khí áp dụng tại Viện Henri Poincaré, nơi nghiên cứu quang học, điều khiển học, và năng lượng nguyên tử. Ông là một trong những thành viên đầu tiên góp phần cho sự hình thành của học viện International Academy of Quantum Molecular Science.

(http://vi.wikipedia.org/wiki/Louis_de_Broglie)

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.

$$\Delta x.\Delta p_x \sim h \qquad (6\text{-}19)$$

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:

$$\Delta E.\Delta t \sim h \qquad (6\text{-}20)$$

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.

VI. Phương trình Schrodinger

VI.1. Phương trình Schrodinger

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:

$$\Delta\Psi\left(\vec{r}\right)+\frac{2m}{\hbar^2}\left[E-U\left(\vec{r}\right)\right]\Psi\left(\vec{r}\right)=0 \qquad (6\text{-}21)$$

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 (6-21) 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) :

$$W=\int_{(V)}\left|\Psi\right|^2 dV=1 \qquad (6\text{-}22)$$

Biểu thức (6-22) 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

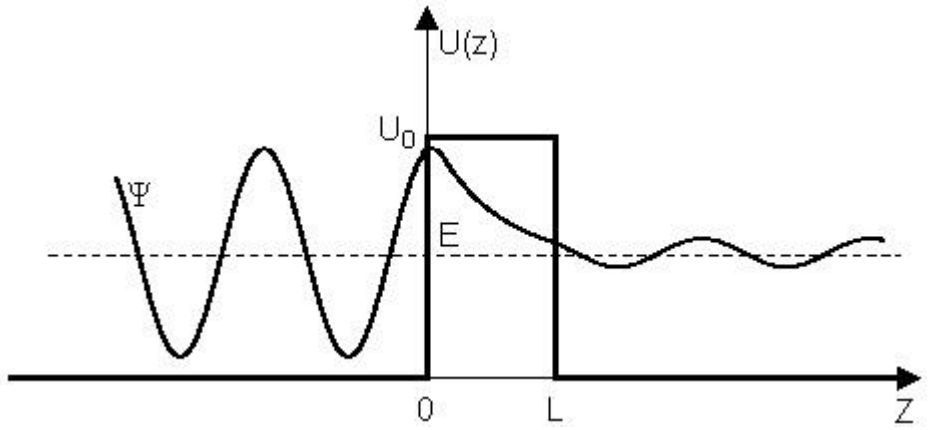
c) Hàm sóng phải liên tục, vì xác suất liên tục

d) Đạo hàm bậc nhất của hàm sóng phải liên tục, vì hàm sóng là nghiệm của phương trình vi phân bậc hai.

VII. Hiệu ứng đường hầm

Hiệu ứng đường hầm, hay chui hầm lượng tử (quantum tunneling) là một hiệu ứng lượng tử mô tả sự chuyển dịch của hệ vật chất từ trạng thái này sang trạng thái khác mà thông thường bị ngăn cấm bởi các quy luật vật lý cổ điển.

Trường hợp kinh điển là việc hệ vật chất đi xuyên qua "hàng rào năng lượng", giống như hệ này đã đào "đường hầm" xuyên rào. Trong cơ học cổ điển, nếu có hai thung lũng và một ngọn đồi ngăn cách, một hòn bi nằm trong thung lũng thứ nhất sẽ không thể vượt qua ngọn đồi để sang thung lũng kia nếu nó không được cung cấp năng lượng lớn hơn thế năng trên đỉnh đồi. Trong cơ học lượng tử, vật chất không được miêu tả như các hòn bi, mà giống các sóng hơn, trong đó hàm sóng miêu tả "hòn bi" lan tỏa sang cả bên thung lũng kia, ngay cả khi vị trí trung bình của nó ở bên thung lũng này. Vì hàm sóng cho biết xác suất tìm thấy "hòn bi", có một xác suất nhất định trong việc tìm thấy "hòn bi" ở bên thung lũng kia.



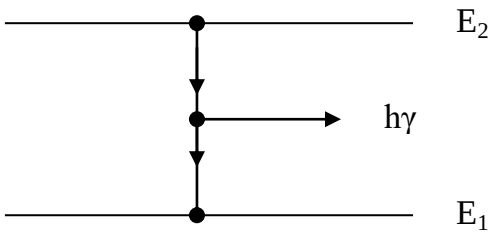
Hiệu ứng này, như các hiệu ứng lượng tử khác, dễ quan sát nhất đối với các hạt nhỏ ở cỡ nanomet, khi tính chất sóng của chúng thể hiện rõ nét.

Một ứng dụng quan trọng của hiệu ứng là trong kính hiển vi quét chui hầm, cho phép quan sát các bề mặt dẫn điện ở kích thước nanomet, một kích thước quá nhỏ so với kính hiển vi quang học sử dụng ánh sáng ở bước sóng cỡ micromet. Dòng điện thu được do điện tử "chui hầm lượng tử" từ bề mặt cần quan sát sang đầu đọc cho biết mức năng lượng của hàng rào và do đó mức độ lồi lõm của bề mặt.

VIII. Laser và ứng dụng

Laser là các từ đầu của " Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" có nghĩa khuếch đại ánh sáng bằng bức xạ cảm ứng.

VIII.1. Bức xạ ngẫu nhiên



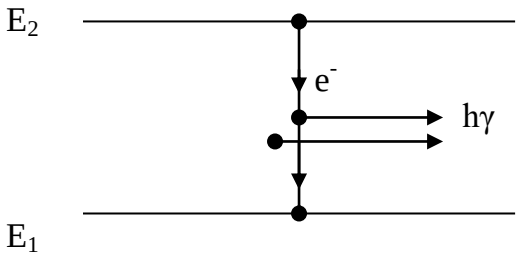
Bình thường nguyên tử ở trạng thái có năng lượng cực tiểu E_1 (mức E_1) . Khi tương tác nguyên tử nhận năng lượng nhảy lên trạng thái kích thích có năng lượng E_2 (mức E_2).

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

VIII.2. Bức xạ cảm ứng



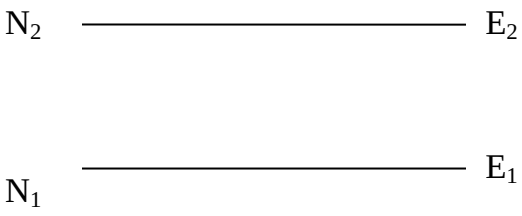
Khi nguyên tử ở trạng thái kích thích E_2. Nếu một hạt photon có năng lượng đúng bằng $h\gamma = E_2 - E_1$. Chuyển động tới kích thích nguyên tử trở về trạng thái E_1 và phát ra một photon: $h\gamma = E_2 - E_1$.

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.

VIII.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 .

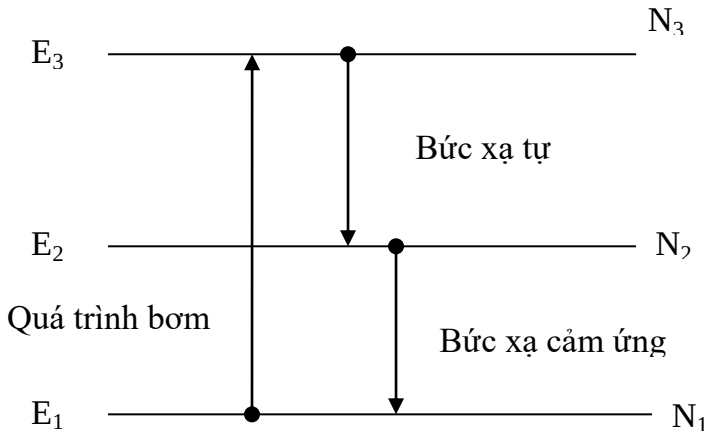
Môi trường có $N_2 > N_1$ được gọi là:

- 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 $N_1 = N_2$.

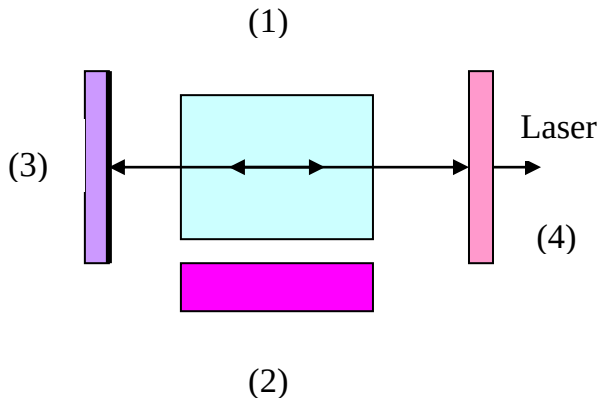
Để tạo ra môi trường mật độ đảo lộn $N_2 > N_1$. Tối thiểu phải dùng ba mức năng lượng: E_1, E_2 và E_3 .

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: $N_2 > N_1$.



VIII.4. Cấu tạo cơ bản và nguyên lí hoạt động của máy phát Laser

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.

VIII.5. Các tính chất của ánh sáng Laser

Ánh sáng Laser có các tính chất sau:

- Ánh sáng Laser có độ đơn sắc cao
- Ánh sáng Laser có độ kết hợp cao
- Ánh sáng Laser có tính định hướng cao
- Ánh sáng Laser có công suất cao
- Ánh sáng Laser có thể làm hội tụ với độ tụ cao

VIII.6. Ứng dụng của ánh sáng Laser

Ánh 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 …

Bài đọc thêm: *Súng laser*

Các quan chức của Raytheon tham gia cuộc Triển lãm hàng không quốc tế Farnborough cho biết công ty của họ đã hợp tác với hải quân Mỹ để phát triển loại vũ khí có thể gắn trên các

chiến hạm. Vũ khí được đặt tên là Laser Close-In Weapon System CIWS (Hệ thống Vũ khí Laser tầm gần).

Súng laser của họ đã bắn rơi 4 chiếc máy bay không người lái trong các cuộc thử nghiệm do hải quân Mỹ thực hiện hồi tháng 5/2010 ở ngoài khơi tiểu bang California. Phó Chủ tịch Raytheon, ông Mike Booen, nói rằng các cuộc thử nghiệm là một bước tiến lớn của kỹ thuật tia laser.

Vũ khí laser mới có khả năng phóng ra một tia laser mạnh 50 kilowatt và có thể được dùng để triệt hạ không những các máy bay không người lái mà còn cả súng cối, rocket và tàu nhỏ.

Ông Peter Felstead, tổng biên tập tuần san chuyên về quốc phòng *Jane's Defence Weekly*, nói vũ khí CIWS là sự khởi đầu cho tất cả các ứng dụng vào đời thật của loại laser thể rắn dùng trong lĩnh vực quốc phòng. Các công ty sẽ thu gọn thêm nữa kỹ thuật của họ và làm cho kỹ thuật này hữu hiệu hơn. Ông kết luận: "Chúng ta còn phải chờ một thời gian nữa mới có thể triệt hạ các tên lửa liên lục địa với kỹ thuật laser, nhưng chúng ta đang đi đúng đường".

Có hai vấn đề mà đã gây trở ngại cho việc phát triển vũ khí laser từ lâu nay là thời tiết và mục tiêu. Không khí ẩm ngoài biển có thể hấp thụ năng lượng laser trước khi nó đến mục tiêu. Phó Chủ tịch Raytheon, ông Mike Booen thừa nhận hiện tượng này, nhưng nói rằng có thể khắc phục được.

Raytheon không cho biết chiều cao, tốc độ cũng như tầm bay của các máy bay không người lái với lý do các dữ liệu này là "nhạy cảm". Nhưng công ty này nói thêm Hải quân Mỹ muốn các cuộc thử nghiệm này càng thực tiễn càng tốt, và cho biết các máy bay không người lái đã làm đúng theo những gì mà các chuyên viên quân sự mong muốn.

Nhật Mai

Theo *BBC, AP*

(http://dantri.com.vn/the-gioi/lan-dau-tien-xuat-hien-vu-khi-laser-ban-ha-may-bay-410065.htm)

BẢNG CÁC HẰNG SỐ VẬT LÝ THƯỜNG GẶP

Hằng số	Ký hiệu	Giá trị
Hằng số hấp dẫn	G	$6,67.10^{-11}$ Nm^2/ kg^2
Hằng số điện	ϵ_o	$8,86 .10^{-12}$ $C^2/N.m^2$
Hằng số từ	μ_0	$4\Pi.10^{-7}$ H/m
Hằng số Avogadro	N_A	$6,02 .10^{26}$
Hằng số khí lý tưởng	R	$8,31.10^3$ J/Kmol.K
Hằng số Boltzmann	k	$1,38.10^{-23}$ J/K
Hằng số Plank	h	$6,626.10^{-34}$ J·s
Hằng số Stefan-Boltzmann	σ	$5,67.10^{-8}$ W/m^2K^4
Hằng số Wien	b	$2,898.10^{-3}$ m.K
Hằng số Rydberg	R	$1,097.10^7$ m^{-1}
Điện tích nguyên tố	e	$1,6.10^{-19}$ C
Khối lượng electron	m_e	$9,109.10^{-31}$ kg
Khối lượng proton	m_n	$1,673.10^{-27}$ kg
Khối lượng neutron	m_p	$1,675.10^{-27}$ kg
Vận tốc ánh sáng trong chân không	c	3.10^8 m/s

1 calori (cal) = 4,18 joule (j)

1 electron-volt (ev) = $1,6.10^{-19}$ j

1 mmHg = 133,322 N/m^2 = 1 Tor

1 atm = $10,1325.10^4$ N/m^2 = 760 mmHg

1at = 9, 81.10^4 N/m^2 = 736 mmHg

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Brébec, J. M. (2001). *Điện Từ học*. Nhà xuất bản Giáo dục.
2. Burns, M.L. (2012). *Modern physics for science and engineering (1st ed.)*. Physics Curriculum and Instruction, Inc.
3. Cao Long Vân (2008). *Vật lý đại cương*. Nhà xuất bản Giáo dục.
4. Đặng Hùng (2005). *Vật lý kỹ thuật*. Nhà xuất bản Giáo dục.
5. Đào Văn Phúc (1999). *Lịch sử Vật lý học*. Nhà xuất bản Giáo dục.
6. Halliday, D. (1998). *Cơ Sở vật lý (6 tập)*. Nhà xuất bản Giáo dục.
7. Kompanheetx, A.X. (1981). *Giáo trình vật lý lí thuyết*. Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
8. Lê Nguyên Long (2003). *Vật lý - Công nghệ - Đời sống*. Nhà xuất bản Giáo dục.
9. Lương Duyên Bình (2003). *Vật lý đại cương (3 tập)*. Nhà xuất bản Giáo dục.
10. Nguyễn Đình Thắng (2007). *Giáo trình vật liệu điện*. Nhà xuất bản Giáo dục.
11. Nguyễn Hữu Đức (2003). *Vật liệu từ cấu trúc nano và điện tử học spin*. Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội.
12. Nguyễn Tứ (2007). *Sự tiến triển của công nghệ*. Nhà xuất bản Trẻ.
13. Nguyễn Xuân Chánh (2003). *Vật lý với khoa học và công nghệ hiện đại*. Nhà xuất bản Giáo dục.
14. Nguyễn Xuân Chánh (2009). *Vật lý ứng dụng trong đời sống hiện đại*. Nhà xuất bản Trẻ.
15. Singh, J. (2004). *Modern physics for engineers*. Wiley-VCH.
16. Stephen Hawking (2007). *Lược sử thời gian*. Nhà xuất bản Trẻ.
17. Wichmann, H. (1981). *Vật lý lượng tử*. Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp.
18. Xavaliev, I.V. (1988). *Giáo trình Vật lý đại cương*. Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp.