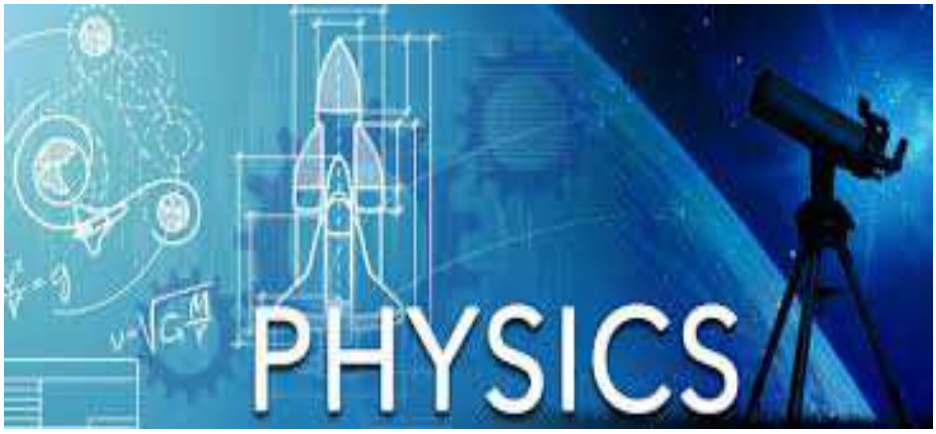
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NHA TRANG
Khoa Điện-Điện tử
BỘ MÔN VẬT LÝ

Phan Văn Tiến, Phan Nhật Nguyên, Lê Văn Hảo

BÀI GIẢNG
VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG

TẬP I: CƠ – NHIỆT



NHA TRANG, THÁNG 7 NĂM 2017

MỤC LỤC

CÔNG THỨC TOÁN 4

CHƯƠNG 1: ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM 14
I. Các khái niệm mở đầu 14
II. Các phương pháp xác định ví trí của chất điểm 16
III. Véctơ vận tốc 21
IV. Véctơ gia tốc 27
V. Chuyển động thẳng thay đổi đều 41
VI. Chuyển động trong trọng trường đều 43
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 1 45
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 1 49

CHƯƠNG 2: CÁC ĐỊNH LUẬT NEWTON 53
I. Các khái niệm mở đầu 56
II. Định luật Newton thứ nhất – Định luật bảo toàn véctơ động lượng của chất điểm 60
III. Định luật Newton thứ hai 61
IV. Định luật Newton thứ ba - Định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập 69
V. Định luật hấp dẫn của Newton 71
VI. Trọng lượng 74
VII. Lực liên kết 74
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 2 78
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 2 83

CHƯƠNG 3: CƠ NĂNG 86
I. Các khái niệm mở đầu 86
II. Định lí động năng 87
III. Trường lực thế 88
IV. Cơ năng 92
V. Chuyển động trong trường hấp dẫn 94
VI. Va chạm 97
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 3 98
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 3 100

CHƯƠNG 4: CƠ HỌC HỆ CHẤT ĐIỂM VÀ VẬT RẮN 103
I. Chuyển động tịnh tiến và chuyển dộng quay của hệ chất điểm và vật rắn 103
II. Khối tâm của hệ chất điểm 104
III. Véctơ tổng động lượng của hệ chất điểm 106
IV. Véctơ mômen động lượng của hệ chất điểm 106
V. Mômen quán tính 107
VI. Động năng của vật rắn 109
VII. Mômen lực trong chuyền động quay 109
VIII. Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động toàn bộ hệ 111
IX. Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động quay 112
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 4 115
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 4 117

CHƯƠNG 5: DAO ĐỘNG VÀ SÓNG CƠ 121
I. Dao động cơ điều hoà 121
II. Dao động tắt dần 125
III. Dao động cưỡng bức 127
IV. Sóng cơ 128
V. Hàm sóng 130

VI. Phương trình vi phân sóng 131
VII. Năng lượng sóng 131
VIII. Sóng âm 131
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 5 133
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 5 134

CHƯƠNG 6: CƠ HỌC TƯƠNG ĐỐI EINSTEIN 139
I. Phép biến đổi Galilei 139
II. Nguyên lý tương đối Galilei 140
III. Thuyết tương đối hẹp của Einstein 141
IV. Phép biến đổi Lorentz 142
V. Động học tương đối 144
VI. Động lực học tương đối 149
VII. Năng lượng theo lý thuyết tương đối 150
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 6 152
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 6 154

CHƯƠNG 7: NHIỆT HỌC 156
I. Các khái niệm mở đầu 156
II. Phương trình trạng thái khí lí tưởng 157
III. Nội năng khí lí tưởng 162
IV. Các quá trình nhiệt 164
V. Công và nhiệt 165
VI. Nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học 168
VII. Động cơ nhiệt và máy lạnh 174
VIII. Chu trình Carnot 176
IX. Nguyên lí thứ hai của nhiệt động lực học 178
X. Ý nghĩa thống kê của Entropi 183
CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 7 185
CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 7 187

ĐÁP ÁN CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 1 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 2 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 3 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 4 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 5 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 6 192
Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 7 193

TÀI LIỆU THAM KHẢO 194

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

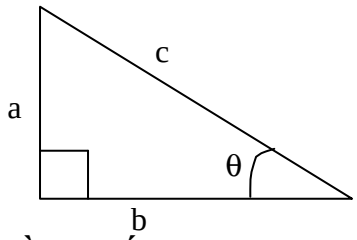
- Diện tích: $S = 4\pi r^2$ (T.I-3)
- Thể tích: $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ (T.I-4)

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)

$\cos\theta = \frac{b}{c}$ (T.III-2) $\quad$ $cotg\theta = \frac{b}{a}$ (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/ $\int \sin xdx = -\cos x$ (T.VII-9)

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

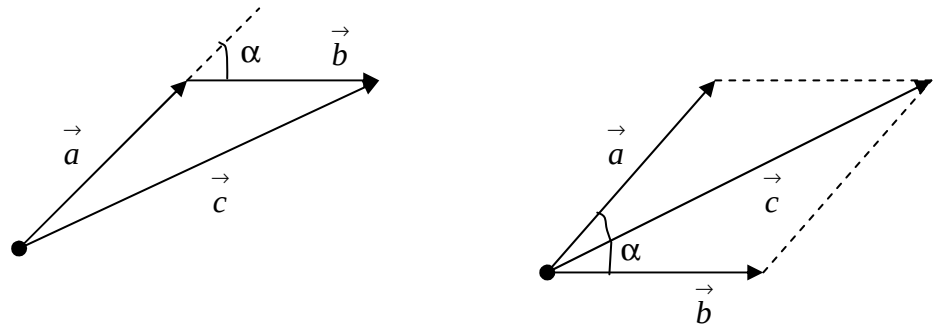
11/ $\int \cos xdx = \sin x$ (T.VII-11)

12/ $\int \cos kxdx = \frac{1}{k}\sin kx$ (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 $\vec{c}$

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

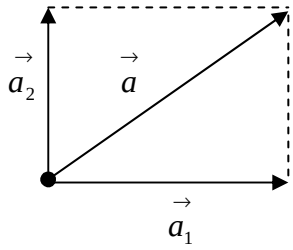
Véctơ tổng $\vec{c}$ có độ lớn hay môđun c được xác định theo độ lớn hay môđun a của véctơ $\vec{a}$, độ lớn hay môđun b của véctơ $\vec{b}$ và góc α hợp bởi hai véctơ $\vec{a}$ và $\vec{b}$.

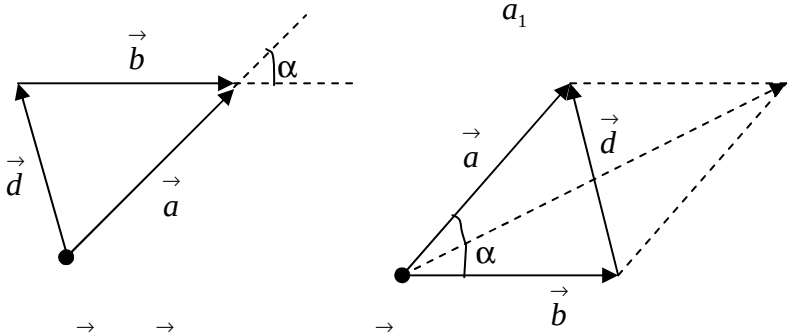
$$c^2 = a^2 + b^2 + 2ab\cos\alpha \qquad \text{(T.VIII-1)}$$

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 $\vec{d}$.

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

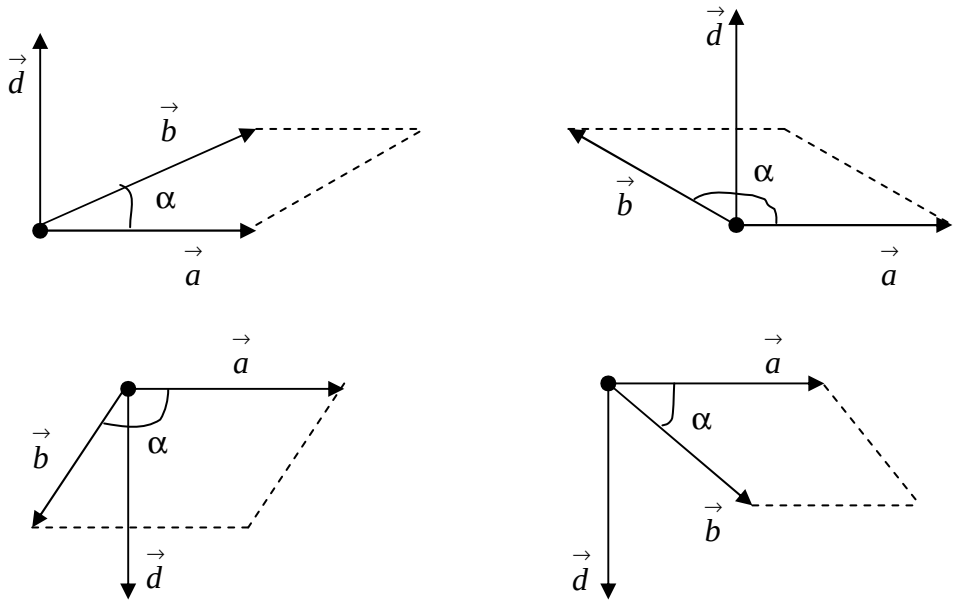
Véctơ $\vec{d}$:

- 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°

- 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: $\frac{d\vec{a}}{dt}.\vec{a} + \vec{a}.\frac{d\vec{a}}{dt} = 0$

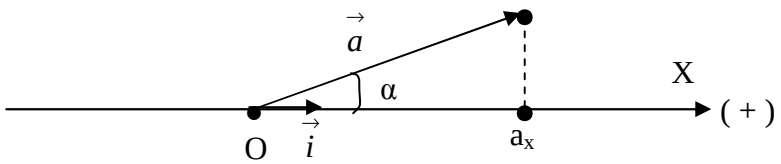
Vì tích vô hướng hai véctơ có tính giao hoán, nên: $\frac{d\vec{a}}{dt}.\vec{a} = \vec{a}.\frac{d\vec{a}}{dt}$.

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:

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

Với a là độ lớn của véctơ $\vec{a}$.

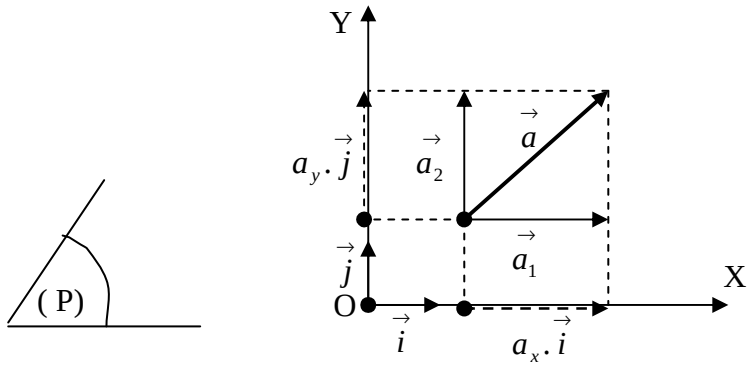
Hình chiếu a_x của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OX}$ là đại lượng đại số :

- Nếu góc α $< 90^0$: góc nhọn thì $a_x > 0$
- Nếu góc α $> 90^0$: góc tù thì $a_x < 0$
- Nếu góc α $= 90^0$: 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:

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

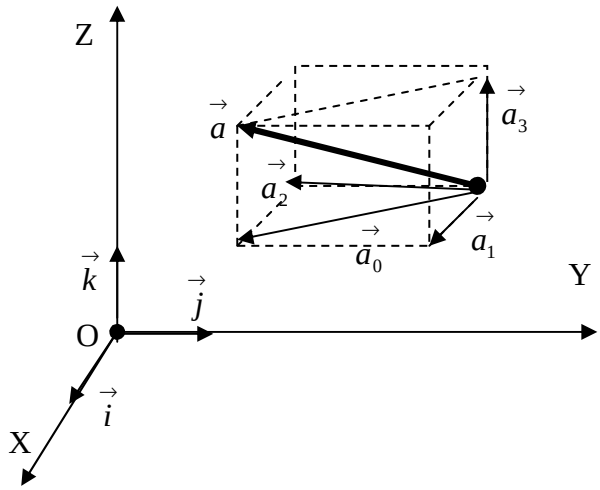
Trong đó a_x là hình chiếu của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OX}$ và a_y là hình chiếu của véctơ $\vec{a}$ lên trục $\overrightarrow{OY}$.

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:

- $\vec{i}\,.\,\vec{i} = \vec{j}\,.\,\vec{j} = \vec{k}\,.\,\vec{k} = 1$ (T.VIII-15)
- $\vec{i}\,.\,\vec{j} = \vec{j}\,.\,\vec{k} = \vec{k}\,.\,\vec{i} = 0$ (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

$$c^2 = (a_y b_z - b_y a_z)^2 + (a_z b_x - b_z a_x)^2 + (a_x b_y - b_x a_y)^2 \quad \text{(T.VIII-21)}$$

d/ Div véctơ

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

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

e/ Rot véctơ

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

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

CHƯƠNG 1: ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM

I. Các khái niệm mở đầu

I.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 (S.I) 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.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.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 (t).

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. Sinh viên hãy nêu một ví dụ trong thực tế về tính tương đối của chuyển động cơ học.

I.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.

Câu hỏi:

1) Chuyển động tịnh tiến của vật là gì?
2) Chuyển động quay của vật là gì?

Phần tham khảo (đọc thêm)

1. Không gian và thời gian

a/. Không gian

Newton phân biệt ra không gian tuyệt đối và không gian tương đối.

Theo Newton, không gian tuyệt đối là cái trống không vô cùng vô tận để chứa mọi vật, nó tuyệt đối thấu suốt, không tác dụng lên cái gì và cũng không chịu tác dụng bởi cái gì.

Như vậy không gian tuyệt đối chỉ là một khái niệm tưởng tượng, nó không thể là đối tượng nghiên cứu của khoa học.

Theo Newton không gian tương đối là không gian cụ thể do các vật thể vật chất (tức chất rắn, chất lỏng và chất khí) chiếm chỗ. Đó là không gian cụ thể của hòn đá, của căn phòng, của Trái đất và khí quyển của nó … Không gian tương đối luôn luôn trùng với một khoảng nào đó của không gian tuyệt đối.

*Chúng ta đưa ra một tình huống trong **không gian tuyệt đối** chỉ tồn tại duy nhất một vật. Chúng ta có cách nào để xác định được vật đó đang chuyển động (**thay đổi vị trí**) trong không gian tuyệt đối hay không? - Hoàn toàn không, vì chúng ta hoàn toàn không có cách nào xác định được vật có thay đổi **vị trí** trong không gian tuyệt đối hay không.*

*Cho nên trong cơ học Newton khái niệm **không gian** nên hiểu rõ là **không gian tương đối**. Và chuyển động cơ học phải là sự thay đổi vị trí của một vật này đối với một vật khác **(hệ qui chiếu)** trong không gian tương đối.*

b/. Thời gian

*Sự biến đổi của một vật nào đó được gọi là **biến cố. Quá trình biến đổi** là tập hợp nhiều biến cố liên tiếp. Thời gian là quá trình biến đổi của vật chất.*

*Giả sử trong không gian chỉ có một vật **đứng yên** - không có biến cố nào : **thời gian trống rỗng**.*

Trong không gian có nhiều vật tương tác nhau dẫn đến có nhiều biến đổi (có nhiều biến cố). Thời gian là tập hợp các biến cố của vật chất.

*Đối với **không gian** có chiều "xuôi" và chiều "ngược". Nhưng **thời gian** chỉ có thể trôi theo một chiều, không thể trôi theo chiều ngược lại, vì tính **nhân qủa** trong khoa học. Biến cố người mẹ "sinh ra" phải trước biến cố người con "sinh ra", không thể theo chiều ngược lại.*

Theo cơ học Newton không gian và thời gian độc lập nhau.

Theo cơ học tương đối Einstein không gian và thời gian phụ thuộc nhau.

2. Quỹ đạo

Vai trò của khái niệm quỹ đạo trong vật lý:

*Khái niệm quỹ đạo của chất điểm chỉ có ý nghĩa trong cơ học Newton. Vì trong cơ học Newton quỹ đạo của một vật là **xác định**. Ví dụ: quỹ đạo của viên đạn, quỹ đạo của vệ tinh, quỹ đạo của mặt trăng… là hoàn toàn xác định. Điều này có nghĩa, ta có thể hoàn toàn xác định được vị trí của vật tại mọi thời điểm.*

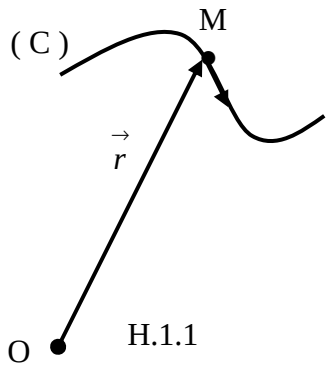
Phân Tích:

Trong Nhiệt học quỹ đạo của phân tử là không xác định. Vì tại thời điểm t_1 phân tử ở vị trí M_1, nhưng tại thời điểm t_2 sau đó không thể xác định được chắc chắn phân tử sẽ đi đến vị trí M_2 ở đâu, do chuyển động của phân tử có tính chất hỗn loạn.

Cho nên trong Nhiệt học quỹ đạo của phân tử "không có ý nghĩa vật lý". Tương tự trong **Cơ học lượng tử** quỹ đạo của vi hạt cũng không được quan tâm, vì quỹ đạo của vi hạt không xác định.

II. Các phương pháp xác định ví trí của chất điểm

II.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.

Xác định vị trí của chất điểm M bằng véctơ vị trí $\vec{r}$ là phương pháp xác định vị trí của chất điểm M tổng quát nhất.

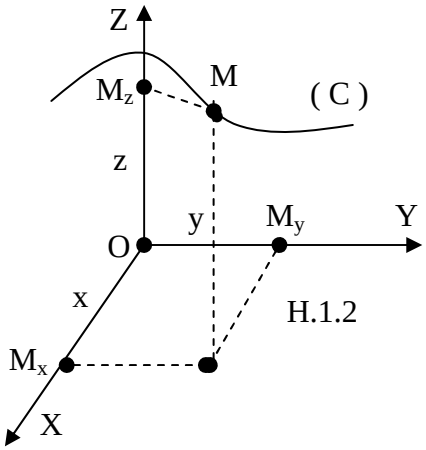
Khi chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo véctơ vị trí $\vec{r}$ thay đổi theo thời gian t.

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

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

II.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.

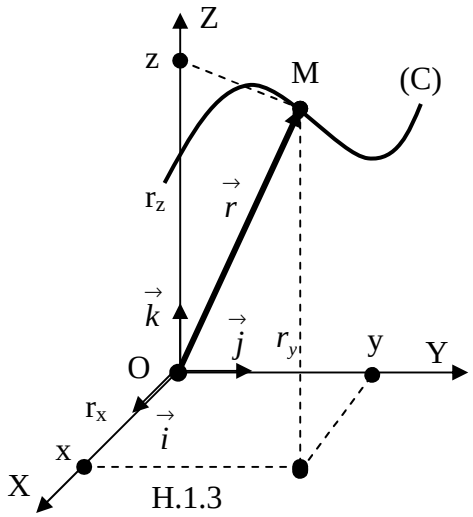
Hướng dẫn giải: Thiết lập mối quan hệ hàm giữa y và x bằng cách khử t.

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.

II.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:

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

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

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

II.4. Tọa độ thẳng x và tọa độ cong s

II.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)

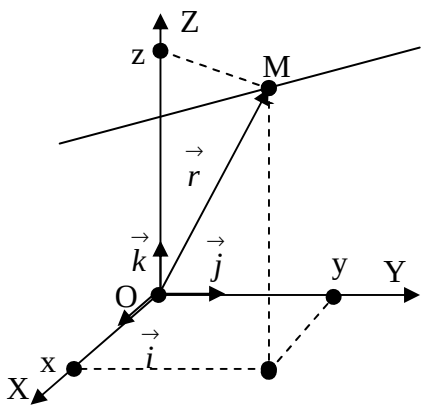
Khi đó y = 0 và z = 0 và từ (1-3) vị trí chất điểm M được xác định:

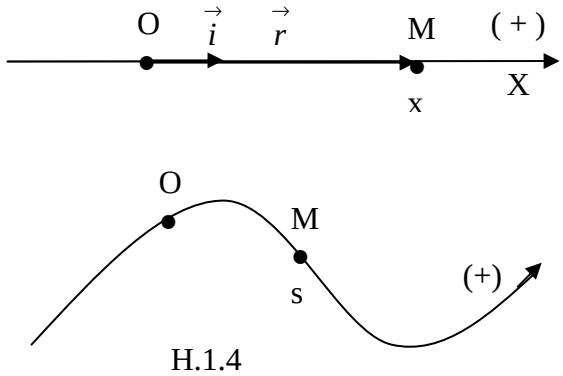
$$\vec{r} = x\,\vec{i} \qquad (1\text{-}4)$$

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.

II.4.2. Tọa độ cong s

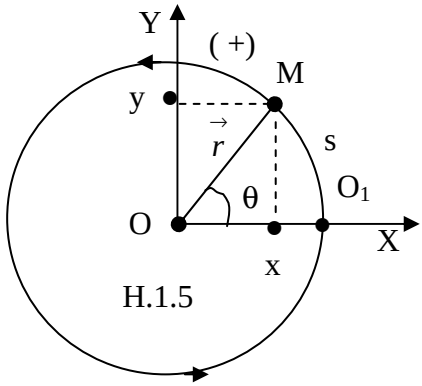
Trường hợp chất điểm chuyển động trên quỹ đạo cong, tương tự như tọa độ thẳng x, chúng ta cũng có thể xác định vị trí của chất điểm M trên quỹ đạo bằng tọa độ cong s, với s là khoảng cách từ hệ qui chiếu O đến chất điểm M theo quỹ đạo. (H.1.4)

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.

II.5. 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:

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

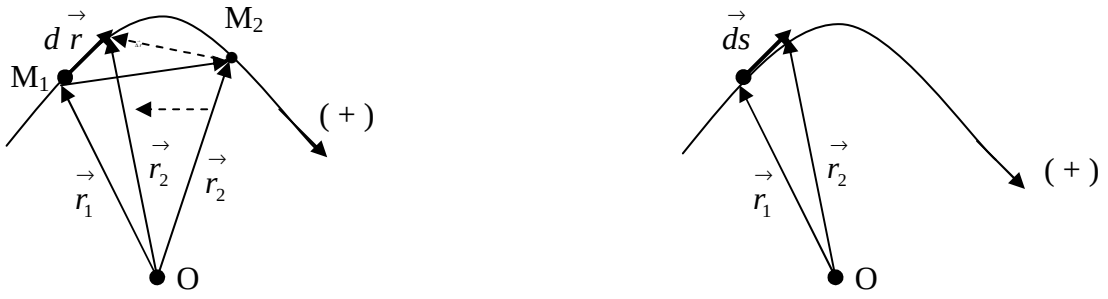
Khi chất điểm M chuyển động θ thay đổi theo thời gian t.

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

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.

II.6. 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:

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

III. Véctơ vận tốc

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

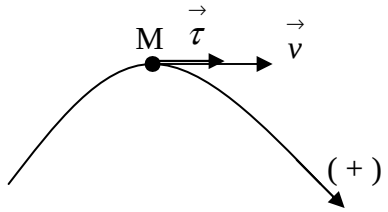
Véctơ vận tốc $\vec{v}$: Có phương trùng với phương tiếp tuyến của quỹ đạo, có chiều cùng với chiều chuyển động của chất điểm M.

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

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

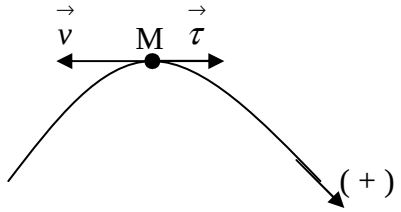
Nhận xét: Trong biểu thức (1-10) véctơ vận tốc $\vec{v}$ bằng ***đạo hàm*** véctơ vị trí $\vec{r}$ theo thời gian t. Còn biểu thức (1-11) véctơ vận tốc $\vec{v}$ bằng véctơ dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ ***chia*** thời gian vi phân dt.

III.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 $|v|$.**

III.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

III.4. Vận tốc v theo tọa độ thẳng x

III.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.

III.4.2. Vận tốc trung bình $\bar{v}$ và tốc độ trung bình $\bar{s}$

III.4.2.1. 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 $\Delta t = t_2 - t_1$.

III.4.2.2. 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 $t_1 = 1$s, 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 $t_1 = 1$s 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 $t_2 = 2$s

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

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

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

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

Như vậy:

- Trong khoảng thời gian $\Delta t = t_1 - t_0 = 1 - 0 = 1$s, 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 $\Delta t = t_2 - t_1 = 2 - 1 = 1$s, 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 $\Delta t = t_2 - t_0 = 2 - 0 = 2$s, 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 $t_2 = 2$s là:

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

III.4. 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: $$v = \frac{ds}{dt} \qquad \text{(m/s)} \qquad (1\text{-}19)$$

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.

III.5. 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 : $$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad \text{(rad/s)} \qquad (1\text{-}20)$$

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

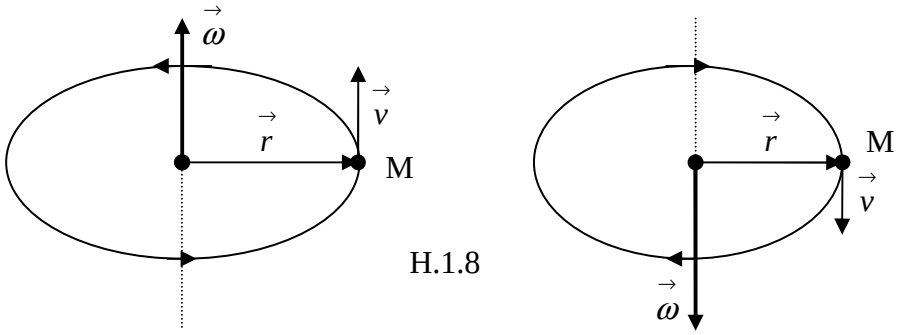
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d}{dt}(r\theta) = r\frac{d\theta}{dt} = r\omega$$

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

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 $(\times)$ của hai véctơ ta suy ra:

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

Tham khảo mở rộng

Từ (1-22) ta có: $\dfrac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

Hay: $\dfrac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{r}$

Trong chuyển động tròn véctơ vị trí $\vec{r}$ có độ lớn không đổi và bằng bán kính r của vòng tròn. Ta suy rộng ra một véctơ $\vec{a}$ có độ lớn không đổi ($\left|\vec{a}\right|$ = const) và quay với véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ thì: $\dfrac{d\vec{a}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{a}$ (1-22T)

Trong đó: $\dfrac{d\vec{a}}{dt} \perp \vec{\omega}$ và $\dfrac{d\vec{a}}{dt} \perp \vec{a}$

IV. Véctơ gia tốc

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

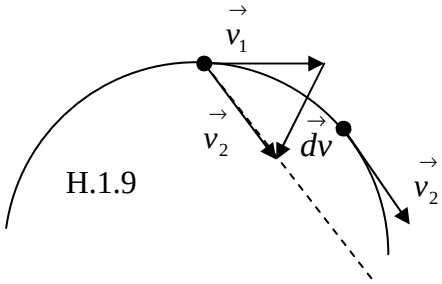
Từ (1-10): $\vec{v} = \dfrac{d\vec{r}}{dt}$ và (1-23) ta suy ra:

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

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.

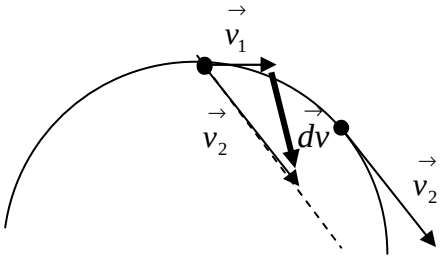
Phân tích minh họa:



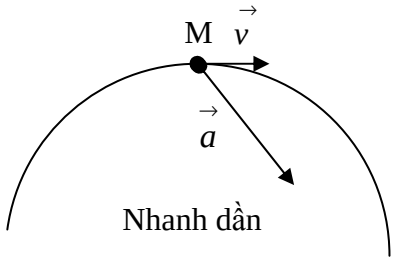
H.1.9

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 $dt = t_2 - t_1$.

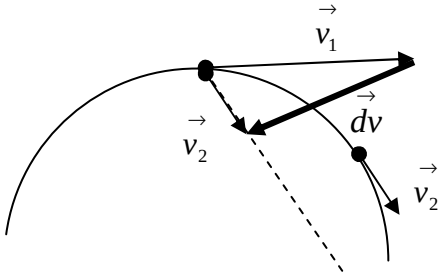
Theo hình vẽ (H.1.9) ta thấy $d\vec{v}$ có phương chiều hướng vào bề lõm quỹ đạo . Theo (1-23) véctơ gia tốc $\vec{a}$ cùng phương chiều với $d\vec{v}$. Nên véctơ gia tốc $\vec{a}$ có phương chiều hướng vào bề lõm quỹ đạo cong.



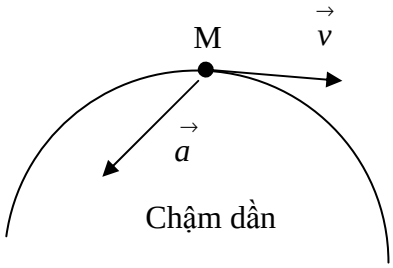
H.1.10



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.1.1)

IV.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): $\vec{a} = \dfrac{d^2\vec{r}}{dt^2}$ 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:

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

<u>Bài tập 1.4</u>:

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

IV.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.

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

Hay:

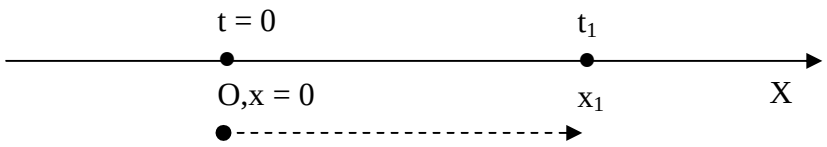
$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2}{dt^2}(2t^2 - 8t + 3) = 4 \ \ (\text{m/s}^2)$$

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

IV.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:

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

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

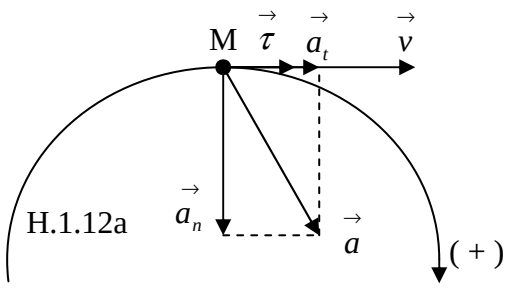
Theo (1-30) véctơ gia tốc $\vec{a}$ được phân tích thành hai thành phần.

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.

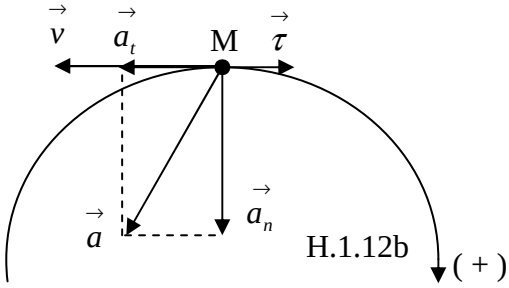
Thành phần $\vec{a}_n = v.\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ được gọi là véctơ gia tốc pháp tuyến của chất điểm, có phương vuông góc với quỹ đạo.

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.***



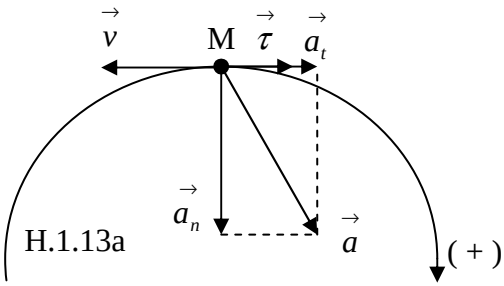
Chuyển động nhanh dần



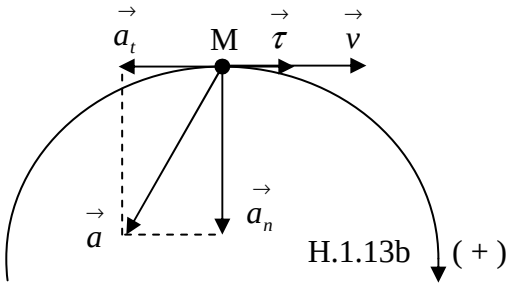
Chuyển động nhanh dần

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.



Chuyển động chậm dần



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.

IV.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:

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

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

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

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

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

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

e) ***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)

IV.4.2. Véctơ gia tốc pháp tuyến $\vec{a}_n$

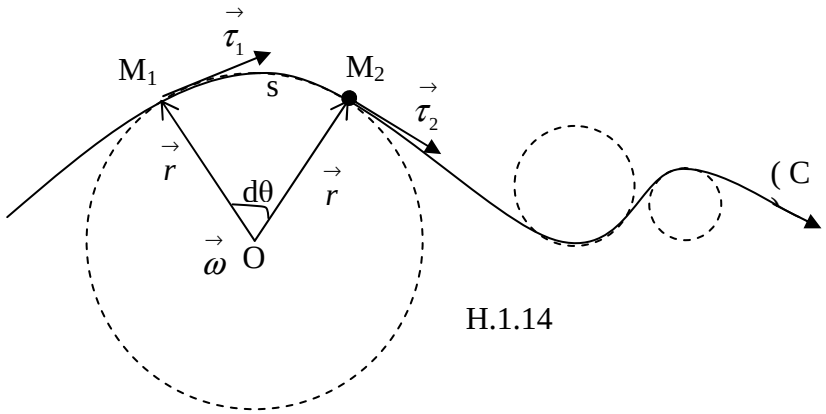
Ta có véctơ gia tốc pháp tuyến: $\vec{a}_n = v.\frac{d\vec{\tau}}{dt}$ (1-35)

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 (1-22T) 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:

$$a_n = \omega\, v \qquad (2)$$

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 $\vec{a}$ **:**

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

<u>Bài tập 1.7</u>:

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

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

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

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

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

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

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

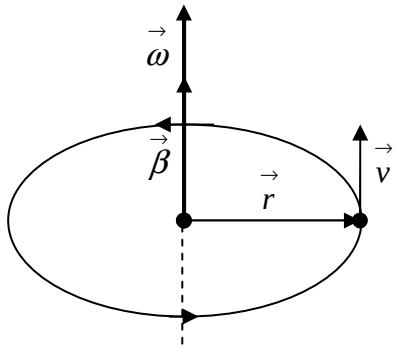
IV.5 Véctơ gia tốc góc $\vec{\beta}$

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.

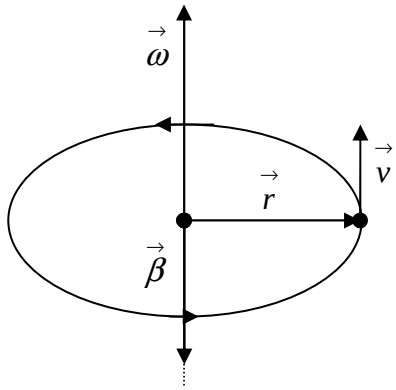
$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \qquad (1\text{-}39)$$

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

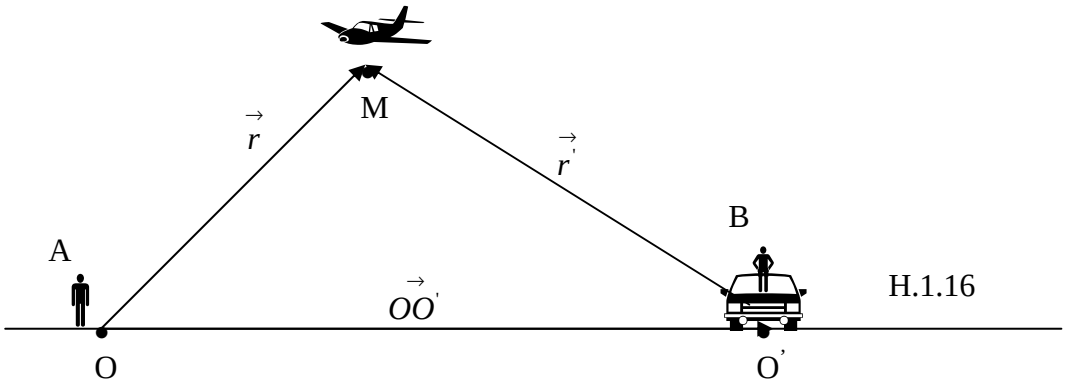
Chuyển động chậm dần

<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.

V . Tổng hợp véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ gia tốc $\vec{a}$



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: $\vec{a} = \vec{a}'$.

<u>Bài tập 1.9</u>:

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 ; $\alpha = 45^o$

<u>Bài tập 1.10</u>:

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

V. Chuyển động thẳng thay đổi đều

V.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.

V.2 Phương trình vận tốc

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

Suy ra: dv = a dt (1)

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

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

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

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:

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

V.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:

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

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

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

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

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:

$$x = ½\,a\,t^2 + v_0t + x_0 \qquad (1\text{-}45)$$

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:

$$x = ½\,a\,t^2 + v_0t. \qquad (1\text{-}46)$$

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:

$$x = ½\,a\,t^2 \qquad (1\text{-}47)$$

V.4 Phương trình độc lập thời gian

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

Ta bình phương hai vế (1):

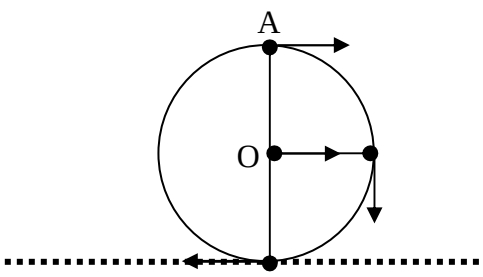
$$v^2 = a^2t^2 + v_0^2 + 2atv_0$$

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

Theo (I-46) ta suy ra :

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

<u>Bài tập 1.11</u>:



Một đĩa tròn bán kính R = 10 cm , bắt đầu lăn không trượt trên mặt đường nằm ngang, sao cho tâm O của nó chuyển động với gia tốc không đổi a = 2,5 cm/s^2 . Sau thời gian t = 2s kể từ lúc bắt đầu chuyển động vị trí đĩa tròn như hình vẽ.

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

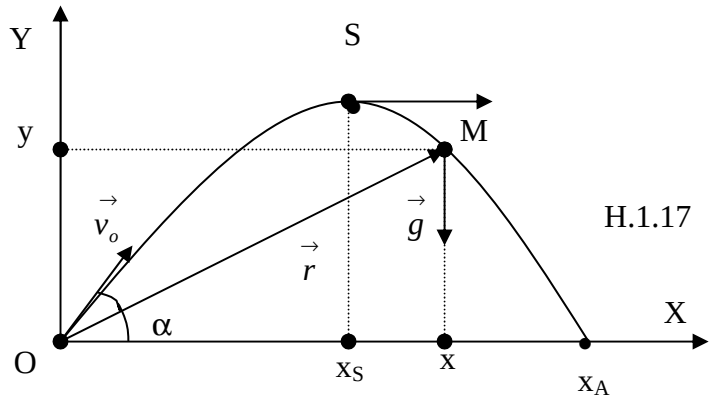
Hướng dẫn:

1. Khi đĩa tròn lăng 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 $\vec{a}$

VI. Chuyển động trong trọng trường đều

VI.1 Tốc độ của chất điểm trong trọng trường đều



H.1.17

Từ gốc tọa độ O, ta bắn ra một chất điểm M với vận tốc đầu $\vec{v}_o$ hợp với trục OX nằm ngang một góc α. Trong trường hợp này lấy gốc thời gian tại thời điểm bắn t = 0.

Mọi chất điểm chuyển động tự do trên mặt đất (bỏ qua lực cản của không khí) với độ cao h << R = 6370 km (bán kính trái đất), chất điểm luôn luôn có véctơ gia tốc $\vec{a} = \vec{g} = \overrightarrow{const}$: có phương thẳng đứng, có chiều hướng xuống và có độ lớn g = 9,81 m/s^2.

Từ (1-.23) ta có: $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} = \vec{g} \Rightarrow d\vec{v} = \vec{g}\,dt$, để tính véctơ vận tốc $\vec{v}$ tại thời điểm t ta tính tích phân xác định: (cận dưới tích phân thời điểm đầu t = 0, vận tốc đầu $\vec{v}_0$; cận trên tích phân tại thời điểm t vận tốc chất điểm $\vec{v}$)

$$\int_{\vec{v}_0}^{\vec{v}} d\vec{v} = \int_0^t \vec{g}dt = \vec{g}\int_0^t dt$$

Suy ra: $\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{g}.t$

Hay: $\vec{v} = \vec{g}.t + \vec{v}_0$ (1-49)

Chiếu biểu thức (1- 49) lên trục OX và OY, ta được:

$$\vec{v} \quad \begin{cases} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases} \qquad (1\text{-}50)$$

Ta có công thức tính tốc độ của chất điểm trong trọng trường đều:

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(v_0 \cos\alpha)^2 + (-gt + v_0 \sin\alpha)^2} \qquad (1\text{-}51)$$

Từ công thức (1-51) ta có thể tính tốc độ $|v|$ của chất điểm tại mọi thời điểm t.

VI.2 Phương trình quỹ đạo

Từ (1-10) và (1-49) ta có: $\vec{v} = \dfrac{d\vec{r}}{dt} \Rightarrow d\vec{r} = \vec{v}\,dt = (\vec{g}.t + \vec{v}_0)dt$, để tính véctơ vị trí $\vec{r}$ tại thời điểm t ta tính tích phân xác định: (cận dưới tích phân thời điểm đầu t = 0, chất điểm ở vị trí $\vec{r}$ = 0 ; cận trên tích phân tại thời điểm t chất điểm ở vị trí $\vec{r}$)

$$\int_0^{\vec{r}} d\vec{r} = \int_0^t (\vec{g}.t + \vec{v}_0)\,dt = \vec{g}\int_0^t t.dt + \vec{v}_0 \int_0^t dt$$

Suy ra: $\vec{r} = \dfrac{1}{2}\vec{g}.t^2 + \vec{v}_0.t$ (1-52)

Chiếu biểu thức (1-52) lên trục OX và OY, ta được:

$$\vec{r} \quad \begin{cases} x = (v_0 \cos\alpha).t & (a) \\ y = -\dfrac{1}{2} g t^2 + (v_0 \sin\alpha).t & (b) \end{cases} \qquad (1\text{-}53)$$

Biểu thức (1-53) là phương trình chuyển động hay phương trình quỹ đạo tham số t của chất điểm chuyển động trong trọng trường đều.

Từ (a) ta suy ra: $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha}$ thế vào (b), ta được phương trình quỹ đạo của chất điểm chuyển động trong trọng trường đều:

$$y = -\frac{1}{2} g \frac{x^2}{v_o^2 \cos^2\alpha} + x tg\alpha \qquad (1\text{-}54)$$

Qũy đạo của chất điểm là một đường cong parabol có đỉnh ở S (H.1.17)

Từ (1-50) và (1-51) ta suy ra:

$$|v|^2 = v^2 = v_0^2 \cos^2\alpha + g^2 t^2 - 2gt.v_0 \sin\alpha + v_0^2 \sin^2\alpha =$$

$$= v_0^2(\sin^2\alpha + \cos^2\alpha) - 2g(-\frac{1}{2} g.t^2 + (v_0 \sin\alpha).t) =$$

$$= v_0^2 - 2g\,y$$

Hay:

$$v^2 - v_0^2 = -2g\,y \qquad (1\text{-}55)$$

Từ công thức (1-55) ta có thể tính tốc độ $|v|$ của chất điểm tại mọi vị trí y.

VI.3 Độ cao và độ xa

Xem hình (H.1.17), tại đỉnh S của quỹ đạo véctơ vận tốc của chất điểm $\vec{v}_s$ vuông góc với trục OY, nên hình chiếu của $\vec{v}_s$ lên trục OY bằng không: $v_{sy} = 0$, từ (1.48) ta có

$$v_{sy} = -g\, t_s + v_0 \sin\alpha = 0$$

Suy ra chất điểm tới vị trí đỉnh S của quỹ đạo tại thời điểm:

$$t_s = \frac{v_o \sin\alpha}{g} \qquad (1)$$

Thế (1) vào (1-53), ta được:

$$x_s = \frac{v_0^2 \sin\alpha \cos\alpha}{g} \qquad (2)$$

$$y_s = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} \qquad (1\text{-}56)$$

Biểu thức (1-56) là công thức tính độ cao lớn nhất y_s của chất điểm.

Từ (2) ta dễ dàng suy ra độ ném xa của chất điểm:

(áp dụng công thức toán: $\sin 2\theta = 2 \sin\theta\cos\theta$)

$$x_A = 2x_S = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (1\text{-}57)$$

Suy ra để có độ xa lớn nhất góc ném $\alpha = 45^0$

<u>Bài tập 1.12</u>:

Một thang máy có khoảng cách từ trần đến sàn 6m, chuyển động thẳng lên nhanh dần trong trọng trường đều $g = 10\ m/s^2$. Gia tốc của thang máy đối với mặt đất là $a = 2m/s^2$. Tìm thời gian t của một vật rơi từ trần thang máy đến sàn ?

Đáp số: t = 1 s

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 1

1/ Vị trí chất điểm

1. Quan hệ giữa véctơ vị trí $\vec{r}$ và các tọa độ x, y, z

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

2. Trong chuyển động tròn bán kính r ta có quan hệ :

$$s = r\,\theta \qquad (1\text{-}2)$$

3. Quan hệ giữa véctơ dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ và véctơ vị trí $\vec{r}$

$$\vec{ds} = d\vec{r} \qquad (1\text{-}3)$$

2/ Véctơ vận tốc $\vec{v}$

1. Quan hệ giữa véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ vị trí $\vec{r}$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \qquad (1\text{-}4)$$

2. Quan hệ giữa véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$

$$\vec{v} = \frac{\vec{ds}}{dt} \qquad (1\text{-}5)$$

3. Quan hệ giữa véctơ vận tốc $\vec{v}$ vận tốc tức thời v

$$\vec{v} = v\vec{\tau} \qquad (1\text{-}6)$$

4. Véctơ vận tốc $\vec{v}$ trong tọa độ OXYZ

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k} \qquad (1\text{-}7)$$

$$v_x = \frac{dx}{dt};\ v_y = \frac{dy}{dt};\ v_z = \frac{dz}{dt} \qquad (1\text{-}8)$$

5. Tốc độ của chất điểm M

$$|\vec{v}| = |v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \qquad (1\text{-}9)$$

6. Vận tốc v của chất điểm M

a/ Trong chuyển động thẳng

$$v = \frac{dx}{dt} \qquad (1\text{-}10)$$

b/ Trong chuyển động cong

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

7. Trong trường hợp chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn, bán kính r.

a/Ta có vận tốc góc ω

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \qquad (1\text{-}12)$$

b/ Quan hệ giữa vận tốc v và vận tốc góc ω

$$v = r\,\omega \qquad (1\text{-}13)$$

c/ Quan hệ giữa véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r} \qquad (1\text{-}14)$$

3/ Véctơ gia tốc $\vec{a}$

1. Quan hệ giữa véctơ gia tốc $\vec{a}$ và véctơ vận tốc $\vec{v}$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (1\text{-}15)$$

2. Quan hệ giữa véctơ gia tốc $\vec{a}$ và véctơ vị trí $\vec{r}$

$$\vec{a} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \qquad (1\text{-}16)$$

3. Véctơ gia tốc $\vec{a}$ trong hệ tọa độ OXYZ

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} \qquad (1\text{-}17)$$

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2};\ a_y = \frac{d^2y}{dt^2};\ a_z = \frac{d^2z}{dt^2} \qquad (1\text{-}18)$$

4. Độ lớn hay mô-đun của véctơ gia tốc $\vec{a}$

$$\left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2} \qquad (1\text{-}19)$$

5. Gia tốc a trong chuyển động thẳng:

$$a = \frac{dv}{dt} \qquad (1\text{-}20)$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (1\text{-}21)$$

6. Gia tốc tiếp tuyến

a/ Gia tốc tiếp tuyến

$$a_t = \frac{dv}{dt} \qquad (1\text{-}22)$$

b/Gia tốc tiếp tuyến a_t theo tọa độ thẳng x

$$a_t = \frac{d^2x}{dt^2} \qquad (1\text{-}23)$$

c/ Gia tốc tiếp tuyến a_t tọa độ cong s

$$a_t = \frac{d^2s}{dt^2} \qquad (1\text{-}24)$$

7. Gia tốc pháp tuyến

$$a_n = \frac{v^2}{r} \qquad (1\text{-}25)$$

8. Độ lớn hay môđun của véctơ gia tốc $\vec{a}$ theo gia tốc tiếp tuyến a_t và gia tốc pháp tuyến a_n

$$\left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{r}\right)^2} \qquad (1\text{-}26)$$

4/ Tổng hợp véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ gia tốc $\vec{a}$

1. Công thức tổng hợp véctơ vận tốc $\vec{v}$

$$\vec{v} = \vec{V} + \vec{v}' \qquad (1\text{-}27)$$

2. Công thức tổng hợp véctơ gia tốc $\vec{a}$

$$\vec{a} = \vec{A} + \vec{a}' \qquad (1\text{-}28)$$

5/ Chuyển động thẳng thay đổi đều

1. Phương trình chuyển động

$$x = \tfrac{1}{2} a t^2 + v_0 t. \qquad (1\text{-}29)$$

2. Phương trình vận tốc

$$v = at + v_0 \qquad (1\text{-}30)$$

3. Phương trình độc lập thời gian

$$v^2 - v_0^2 = 2a\,x \qquad (1\text{-}31)$$

6/ Chuyển trong trọng trường đều

1. Phương trình chuyển động

$$\vec{r} = \frac{1}{2}\vec{g}.t^2 + \vec{v}_0.t \qquad (1\text{-}32)$$

$$\vec{r} \begin{cases} x = (v_0 \cos\alpha).t & (a) \\ y = -\frac{1}{2} g\,t^2 + (v_0 \sin\alpha).t & (b) \end{cases} \qquad (1\text{-}33)$$

2. Phương trình vận tốc

$$\vec{v} = \vec{g}.t + \vec{v}_0 \qquad (1\text{-}34)$$

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = -gt + v_0 \sin\alpha \end{cases} \qquad (1\text{-}35)$$

3. Phương trình độc lập thời gian t

$$v^2 - v_0^2 = -2g\,y \qquad (1\text{-}36)$$

4. Độ cao

$$y_s = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \qquad (1\text{-}37)$$

5. Độ xa

$$x_A = 2x_S = \frac{v_o^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (1\text{-}38)$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 1

Câu 1: Một chất điểm chuyển động thẳng có vận tốc: v = - 4t - 2 (m/s). Vậy chất điểm chuyển động:

a/ Nhanh dần

b/ Chậm dần

c/ Lúc đầu chậm dần, sau nhanh dần.

d/ Lúc đầu nhanh dần, sau chậm dần

Câu 2: Một chất điểm chuyển động thẳng có vận tốc: v = - 4t + 2 (m/s). Vậy chất điểm chuyển động:

a/ Chậm dần

b/ Nhanh dần

c/ Lúc đầu nhanh dần, sau chậm dần

d/ Lúc đầu chậm dần, sau nhanh dần.

Câu 3: Một chất điểm chuyển động thẳng có phương trình chuyển động: $x = -2t^2 + 8t$ (m). Vậy chất điểm chuyển động:

a/ Chậm dần

b/ Nhanh dần

c/ Lúc đầu nhanh dần, sau chậm dần

d/ Lúc đầu chậm dần, sau nhanh dần.

Câu 4: Một chất điểm chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình chuyển động: x = a sin ωt (m) và y = b cos ω t (m). Quỹ đạo của chất điểm có dạng nào sau:

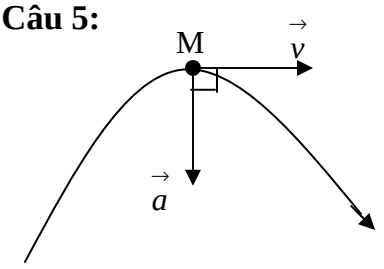
a/ Đường tròn

b/ Đường elip

c/ Đường lượn sóng

d/ Đường thẳng

Câu 5:



Trong trường hợp hình vẽ, chất điểm M chuyển động:

a/ Nhanh dần

b/ Chậm dần

c/ Đều

d/ Lúc đầu chậm dần, sau nhanh dần

Câu 6: Một chất điểm chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình chuyển động : x = a sinωt và y = a cosωt. Vậy chất điểm chuyển động:

a) đều

b) nhanh dần

c) chậm dần

d) dao động

Câu 7: Một chất điểm chuyển động thẳng có phương trình chuyển động : $x = 2t^2 + 3t$ (m). Gia tốc a của chất điểm bằng:

a) a = 0

b) $a = 2\ m/s^2$

c) $a = 3\ m/s^2$

d) $a = 4\ m/s^2$

Câu 8: Một chất điểm chuyển động thẳng có phương trình chuyển động : $x = 2t^2 + 3t$ (m). Vậy vận tốc v của chất điểm tại vị trí x = 0:

a) v = 0

b) v = 2 m/s

c) v = 3 m/s

d) v = 4 m/s

Câu 9: Một máy bay chuyển động trong trọng trường đều $\vec{g}$. Đối với mặt đất máy bay có véctơ gia tốc $\vec{A}$. Từ máy bay bắn ra một quả đạn. Vậy véctơ gia tốc $\vec{a}$ của quả đạn đối với mặt đất nhận biểu thức nào sau :

a) $\vec{a} = \vec{A} + \vec{g}$

b) $\vec{a} = \vec{A} - \vec{g}$

c) $\vec{a} = \vec{g} - \vec{A}$

d) $\vec{a} = \vec{g}$

Câu 10: Một máy bay chuyển động trong trọng trường đều $\vec{g}$. Đối với mặt đất máy bay có véctơ gia tốc $\vec{A}$. Từ máy bay bắn ra một quả đạn. Vậy vect-tơ gia tốc $\vec{a}$ của quả đạn đối với máy bay nhận biểu thức nào sau :

a) $\vec{a} = \vec{A} + \vec{g}$

b) $\vec{a} = \vec{A} - \vec{g}$

c) $\vec{a} = \vec{g} - \vec{A}$

d) $\vec{a} = \vec{g}$

Câu 11: Một chất điểm chuyển động cong đều. Chọn phát biểu sai:

a) gia tốc toàn phần a khác không

b) gia tốc $a = d^2s/dt^2$

c) gia tốc pháp tuyến $a_n = a$

d) gia tốc tiếp tuyến $a_t = 0$

Câu 12: Một chất điểm ném thẳng đứng lên trong trọng trường đều g. Tại độ cao cực đại gia tốc của vật:

a) $a = 0$

b) $a > g$

c) $a < g$

d) $a = g$

Câu 13: Một chất điểm ném nghiêng hợp với mặt ngang một góc $\alpha = 60^o$, với vận tốc đầu $v_o = 10$ m/s. Tại độ cao cực đại vận tốc của chất điểm:

a) $v = 0$

b) $v = 3$ m/s

c) $v = 5$ m/s

d) $v = 6$ m/s

Câu 14: Một chất điểm được ném lên thẳng đứng tại vị trí O. Gọi t_1 là thời gian chất điểm chuyển động từ O lên độ cao cực đại và $t_2 = 2$s là thời gian chuyển động từ độ cao cực đại xuống lại tại O. Vậy:

a) $t_1 = 2$s

b) $t_1 = 3$s

c) $t_1 = 4$s

d) Cả 3 phương án còn lại đều sai

Câu 15: Một chất điểm ném nghiêng trong trọng trường đều. Hình chiếu của chất điểm lên trục OX nằm ngang chuyển động:

a) đều

b) nhanh dần

c) chậm dần

d) chậm dần hay nhanh dần tùy theo chất điểm chuyển động lên hay xuống

Câu 16: Một chất điểm ném nghiêng trong trọng trường đều để có độ xa cực đại thì góc nghiêng α bằng:

a) $\alpha = 0^o$

b) $\alpha = 15^o$

c) $\alpha = 45^o$

d) $\alpha = 60^o$

Câu 17: Một vật ném nghiêng hợp với mặt phẳng nằm ngang một góc $\alpha = 30^o$, vận tốc đầu v_o. Vật đạt được độ xa x_o. Với cùng vận tốc đầu v_o , để đạt cùng độ xa x_o , có thể ném vật với một góc nghiêng khác φ bằng :

a) $\varphi = 20^o$

b) $\varphi = 40^o$

c) $\varphi = 50^o$

d) $\varphi = 60^o$

Câu 18: Một vật ném nghiêng có độ xa cực đại $X_m = 80$ m. Vậy độ cao cực đại tương ứng Y_m bằng:

a) $Y_m = 10$ m

b) $Y_m = 15$ m

c) $Y_m = 20$ m

d) $Y_m = 25$ m

CHƯƠNG 2: CÁC ĐỊNH LUẬT NEWTON

Tham khảo (đọc thêm)

1. Bức tranh vật lý tổng quát của thế giới vật chất

1.1. Thế giới vật chất của chúng ta

Quan sát chung quanh một cách đại thể chúng ta thấy vật chất tồn tại dưới 2 dạng:

- *Dạng trường: trường hấp dẫn, trường điện từ, sóng điện từ: tia gamma, tia X, tia tử ngoại, ánh sáng, hồng ngoại, sóng vô tuyến.*
- *Các vật thể: các ngôi sao, Mặt trời, Trái đất, thực vật, động vật …*

Các vật thể được tạo từ các nguyên tử.

Nguyên tử được cấu tạo từ 3 hạt cơ bản: proton (p), neutron (n) và electron (e):

Hạt electron (e^-):

- *Có khối lượng : $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg*
- *Có điện tích: $Q_e = -1{,}6.10^{-19}$ C*

Hạt proton (p):

- *Có khối lượng: $m_p = 1{,}672.10^{-27}$ kg*
- *Có điện tích: $Q_p = +1{,}6.10^{-19}$ C*

Hạt neutron (n):

- *Có khối lượng: $m_n = 1{,}674.10^{-27}$kg*
- *Có điện tích: $Q_n = 0$*

Hạt neutron là hạt không bền. Khi ở trạng trái tự do hạt neutron tồn tại trong khoảng thời gian $\tau = 900$ s (τ được gọi là thời gian sống của hạt) sẽ phân rã thành các hạt bền khác:

$$n \rightarrow p + e^- + \overline{\nu_e}$$

Hạt $\overline{\nu_e}$ được gọi là phản hạt neutrino - electron, thường gọi là hạt neutrino.

Mặc dù trong tự nhiên hạt neutrino (ν_e) tồn tại rất lớn . Chúng luôn luôn được phát ra từ Mặt trời và các ngôi sao. Nhưng chúng rất hiếm khi tương tác với vật chất chúng ta. Hạt neutrino (ν_e) có thể đi qua tấm chì (Pb) có bề dày hàng ngàn km mà chuyển động của nó không mảy may chịu một ảnh hưởng nào. Ngay khi bạn đang đọc những dòng này, thì hàng tỷ neutrino do Mặt trời phát ra đang xuyên qua cơ thể bạn và qua cả Trái đất.

1.2. Bốn loại tương tác cơ bản trong tự nhiên

Sự vận động (biến đổi) và cấu trúc của vật chất được chi phối bởi 4 loại tương tác cơ bản trong tự nhiên.

a/ Tương tác yếu:

Dưới tác động của tương tác yếu ta không tạo được trạng thái liên kết của các hạt, do vậy nó chỉ biểu hiện chủ yếu trong các quá trình phân rã hạt và các quá trình có neutrino.

Ví dụ:

$$n \rightarrow p + e^- + \overline{\nu_e}$$

Bán kính tác dụng của tương tác yếu: 10^{-18} m.

Tương tác yếu gây ra hiện tượng phóng xạ tia β^- và β^+ của hạt nhân nguyên tử.

b/ Tương tác mạnh

Tương tác này có khả năng tạo được sự liên kết. Ví dụ: nó gắn các nucleon (p,n) lại với nhau tạo thành hạt nhân nguyên tử. Tương tác mạnh tham gia tạo ra phản ứng nhiệt hạch xảy ra trong lòng Mặt trời và các ngôi sao.

Bán kính tác dụng tương tác mạnh cỡ 10^{-15} m.

c/Tương tác điện từ

Tương tác điện từ là tương tác giữa các hạt mang điện với nhau và với hạt photon. Tương tác này có khả năng tạo ra sự liên kết. Ví dụ: nó gắn hạt electron với hạt nhân tạo thành nguyên tử, tạo thành phân tử, tạo thành khối chất…

Bán kính tác dụng của tương tác điện từ là vô cùng (∞).

d/ Tương tác hấp dẫn

Tương tác hấp dẫn là tương tác giữa các hạt có khối lượng, nó có khả năng tạo ra sự liên kết. Chính tương tác hấp dẫn hình thành các thiên thể trong vũ trụ: các thiên hà, các ngôi sao, Mặt trời và các hành tinh…

Bán kính tác dụng của tương tác hấp dẫn là vô cùng (∞).

Nếu coi cường độ tương tác mạnh là 1, thì tương tác điện từ vào cỡ $10^{-2} – 10^{-3}$, tương tác yếu vào cỡ $10^{-13} – 10^{-14}$ và tương tác hấp dẫn vào cỡ 10^{-39}. Như vậy tương tác hấp hẫn là tương tác có cường độ yếu nhất, rồi đến tương tác yếu, tương tác điện từ và tương tác mạnh lớn nhất.

1.3 . Năng lượng tối

Các đo đạt gần đây bằng kính thiên viên cũng như các trạm không gian cho thấy có một lực bí ẩn – năng lượng tối – lấp đầy không gian trống rỗng, thúc đẩy tăng tốc sự giản nở của vũ trụ. ***Đến nay,vẫn chưa biết rõ năng lượng tối là gì.***

1.4 .Vật chất tối

Phần lớn vật chất trong vũ trụ là tối. Vật chất tối gắn kết vũ trụ lại với nhau. Các quan sát gần dây về ảnh hưởng của vật chất tối lên cấu trúc vũ trụ cho thấy rằng nó ***không giống với bất kì dạng vật chất nào đã biết.***

Sự tồn tại của vật chất tối đã được đề xuất từ những năm 1930, khi nhà thiên văn Fritz Zwicky nhận thấy chuyển động quá nhanh của bảy thiên hà trong chom sao Coma. Để giải thích chuyển động quá nhanh này, cần phải có một khối lượng vật chất lớn gấp bốn trăm lần khối lượng quan sát được xung quanh bảy thiên hà nói trên. Nghiên cứu về vật chất tối là một trong những vấn đề cơ bản của vật lý thế kỷ XXI.

*Hình dung về tỷ lệ thành phần vũ trụ: năng lượng tối 73%, **vật chất tối** 23%, khí Hidro, Heli tự do, các sao, neutrino, thành phần chất rắn và các phần còn lại 4%.*

2. Đối tượng nghiên cứu của vật lý

Vật lý học nghiên cứu các qui luật của những dạng vân động (biến đổi) cơ bản nhất của vật chất.

Các dạng vận động vật lý bao gồm:

1/ Vận động cơ: Sự chuyển dời vị trí của các vật thể vĩ mô trong không gian theo thời gian.

2/ Vận động hấp dẫn: Quá trình tương tác giữa các vật thể có khối lượng.

3/ Vận động nhiệt: Chuyển động hỗn loạn của một tập hợp gồm một số lớn hạt như phân tử, nguyên tử, ion…

4/ Vận động điện từ: Các quá trình tương tác điện từ giữa các hạt mang điện và photon…

5/ Vận động nguyên tử và phân tử: các quá trình xảy ra bên trong nguyên tử, phân tử, tương tác giữa hạt nhân và electron, giữa các electron trong nguyên tử.

6/ Vận động hạt nhân: Các quá trình xảy ra bên trong hạt nhân, tương tác giữa các nucleon…

7/ Vận động các hạt cơ bản: Các quá trình tương tác và biến đổi các hạt cơ bản và cấu tạo các hạt cơ bản

*Vận động là thuộc tính của vật chất. **Lượng vận động của vật chất là vốn có sẵn của vật chất**. Trong quá trình tương tác lượng vận động của một vật hay một hệ vật có thể tăng lên hay giảm đi.*

Năng lượng là gì? Theo nghĩa khái quát, năng lượng là số đo chung của vận động vật chất trong các hình thức vận động khác nhau.

Mỗi dạng vận động vật chất cụ thể có số đo năng lượng cụ thể:

- *Vận động cơ có số đo năng lượng: Cơ năng*
- *Vận động Nhiệt có số đo năng lượng: Nhiệt năng*
- *Vận động điện từ có số đo năng lượng: Năng lượng Điện từ*
- *Vận động hạt nhân có số đo năng lượng : Năng lượng Hạt nhân*

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, tất cả các dạng vận động của vật chất đều có thể chuyển hóa lẫn nhau. Do đó các dạng năng lượng của vận động vật chất cũng chuyển hóa lẫn nhau.

Ví dụ: Cơ năng ↔ Điện năng ↔ Nhiệt năng

Vì lượng vận động của một hệ cô lập bảo toàn. Nên năng lượng của một hệ cô lập cũng tuân theo định luật bảo toàn năng lượng: Năng lượng không tự sinh ra hay tự mất đi, mà chỉ biến đổi từ dạng này sang dạng khác. Năng lượng của một hệ cô lập không đổi.

I. Các khái niệm mở đầu

I.1. Chất điểm cô lập

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

I.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.

I.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 (S.I) 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.

I.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 :

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad (2\text{-}1)$$

Véctơ động lượng $\vec{p}$ có độ lớn:

$$p = mv \qquad (2\text{-}2)$$

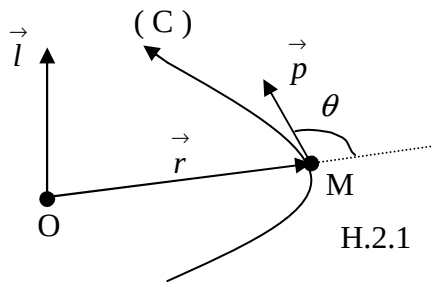
Trong đó m là khối lượng quán tính của chất điểm và p được gọi là động lượng của chất điểm. Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của động lượng là (kg.m/s)

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

I.5. Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm.

I.5.1 Định nghĩa véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm

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



H.2.1

động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M đối với hệ qui chiếu O được định nghĩa :

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} \qquad (2\text{-}3)$$

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 đo lượng chuyển động cơ của chất điểm

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

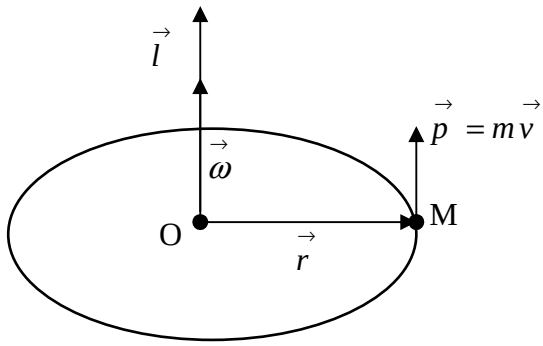
- Có độ lớn: l = rpsinθ (2-4)

  Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) 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 $\vec{l}$.

I.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.2.2

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

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

Nên: $\vec{l} = m r^2 \vec{\omega}$

Hay: $\vec{l} = I \vec{\omega}$ (2-5)

Với : $I = m r^2$ (2-6)

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

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

Biểu thức (2-5) 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)

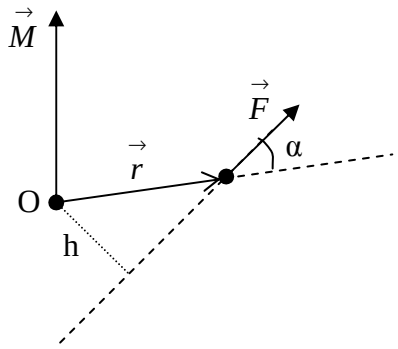
I.6. Lực

Lực $\vec{F}$ là đại lượng đo sự tương tác giữa các vật. Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) 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.

I.7. Véctơ mômen lực $\vec{M}$ của một lực $\vec{F}$ đối với điểm O

H.2.3



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 :

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad (2\text{-}7)$$

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

Véctơ $\vec{M}$:

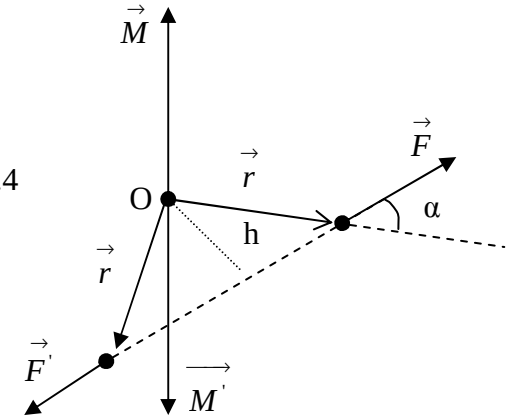
- Có độ lớn : M = r F sinα = F h (2-8)

  Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) 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.2.4)

H.2.4



II. Định luật Newton thứ nhất – Định luật bảo toàn véctơ động lượng của chất điểm

II.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.

II.2. 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.

III. Định luật Newton thứ hai

III.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 (S.I) ta có :

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad (2\text{-}9)$$

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 (2-9) ta suy ra:

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

Hay :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \qquad (2\text{-}10)$$

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 (2-10) 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 .

Tham Khảo (đọc thêm)

1/ Newton,I. (1643-1727): Nhà Bác học vĩ đại người Anh, người đã đặt nền móng cho

khoa học tự nhiên hiện đại, người đã sáng lập ra cơ học cổ điển. Newton cũng là người đặt cơ sở cho phép tính vi phân và tích phân.

Năm 1687 Newton đã xuất bản cuốn sách nổi tiếng "Những nguyên lý toán học của triết học tự nhiên". Tác phẩm chứa dựng những khái niệm cơ bản và các định luật của cơ học cổ điển, ví dụ như khái niệm khối lượng, động lượng, lực, gia tốc, ba định luật của Newton, định luật hấp dẫn…

Các sáng tạo khoa học của Newton đóng vai trò đặc biệt quan trọng trong lịch sử phát triển vật lý.

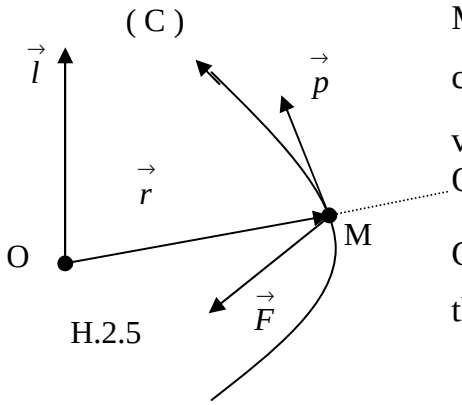
2/ Dạng toán học của định luật Newton thứ hai được Newton đưa ra năm 1687 là công thức $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. *Từ công thức (2-10) trong trường hợp riêng khối lượng m của chất điểm không đổi, ta suy ra công thức (2-9):* $\vec{F} = m\vec{a}$. *Như vậy định luật Newton thứ hai được trình bày nguyên thủy qua một công cụ toán học cao cấp : đạo hàm*

3/ Biểu thức toán học của định luật Newton thứ hai $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ *bao hàm cả định luật Newton thứ nhất. Trong hệ qui chiếu quán tính: một chất điểm cô lập (*$\vec{F}$ *= 0), hay tổng ngoại lực tác dụng lên chất điểm bằng không (*$\vec{F}$ *= 0) thì* $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$. *Suy ra* $\vec{p} = m\vec{v} = \overrightarrow{const}$, *động lượng của chất điểm bảo toàn, tức chất điểm đứng yên hay chuyển động thẳng đều trong hệ qui chiếu quán tính.*

4/ Định luật Newton thứ hai thiết lập mối quan hệ toán học giữa lực tương tác $\vec{F}$ *và lượng chuyển động cơ được đặt trưng bằng véctơ động lượng* $\vec{p}$. *Theo biểu thức* $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, *lực* $\vec{F}$ *là lượng chuyển động cơ, mà chất điểm nhận vào hay mất đi trong một giây trong quá trình tương tác.*

5/ Theo biểu thức (2-9): $\vec{F} = m\vec{a}$***, lực*** $\vec{F}$ ***sẽ rất lớn nếu véctơ gia tốc*** $\vec{a}$ ***rất lớn. Người ta thường đùa nhau bằng cách dọa súng nước trẻ con. Nhưng bạn có biết rằng tia nước có thể cắt đứt một lá thép dày không? Các bạn hãy tìm hiểu công nghệ cắt bằng tia nước trên mạng. Google: cắt bằng tia nước.***

III.2. Định lí biến thiên mômen động lượng của chất điểm



H.2.5

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:

$$\frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{M} \qquad (2\text{-}11)$$

Biểu thức (2-11) 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 (2-5) ta có: $\vec{l}$ = I $\vec{\omega}$. Từ (2-11) 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: $I\vec{\beta} = \vec{M}$ (2-12)

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

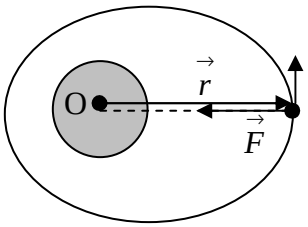
Định lí biến thiên mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M là một dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai.

Nếu mômen ngoại lực tác dụng lên chất điểm bằng không: $\vec{M}$ = 0, thì từ (2-11) 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.

III.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:

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

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: $M\vec{a} = \vec{T} + \vec{F}$ (2-13)

Với:

- $\vec{T} = \frac{dM}{dt}\vec{u}$ (2-14)
- 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 (2-12) là phương trình Mesherxki, được đưa ra năm 1897.
- *Biểu thức (2-12) 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 (2-12) ta suy ra:

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

Chiếu lên chiều chuyển động của tên lửa ta được :

$$\mathrm{Mdv} = -\ \mathrm{u\,dM}$$

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 :

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

$$v = u\ln\frac{M_O}{M} \qquad (2\text{-}15)$$

Biểu thức (2-14) 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 (2-14) suy ra vận tốc tên lửa khi cháy hết nhiên liệu .

$$v = u\ln(1 + \frac{M_l}{M_t}) \qquad (2\text{-}16)$$

Phân tích:

Từ (2-15) 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). Và Mesherxki (1859-1935) cũng là Nhà Bác học người Nga.

III. 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:

$$m\vec{a'} = \vec{F} + \vec{F}_{qt} \qquad (2\text{-}17)$$

Trong đó:

- $\vec{F}$ là tổng ngoại lực tương tác tác dụng lên chất điểm
- $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ (2-18)
- $\vec{F}_{qt}$ 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:

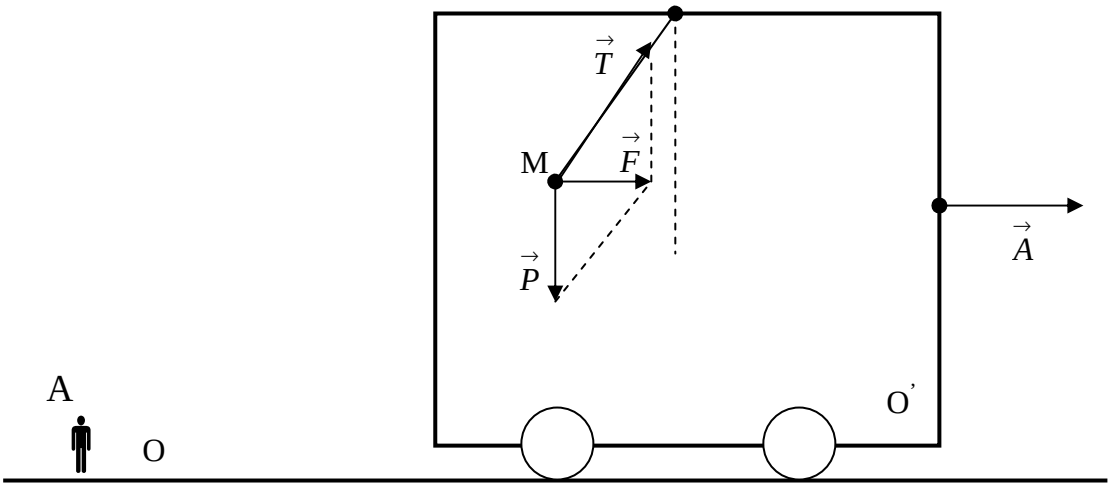
Khi khảo sát chất điểm M trong ***hệ qui chiếu quán tính O***. Phương trình động lực học của chất điểm là định luật Newton thứ hai có dạng:

- $m\vec{a} = \vec{F}$
- 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:

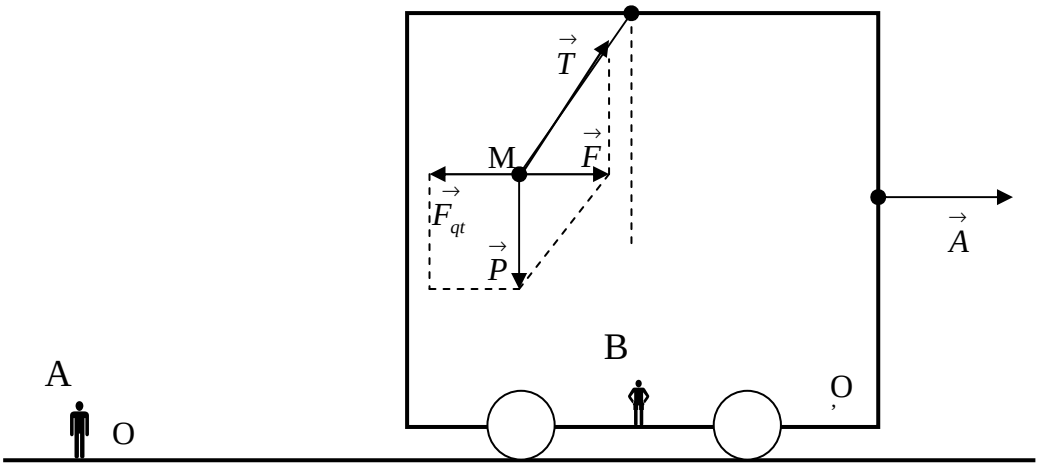


Giả sử hệ qui chiếu O gắn liền vào mặt đất là *hệ qui chiếu quán tính*. Một Ô-tô chuyển động trên mặt đất với gia tốc $\vec{A}$. Trên ô-tô có treo một con lắc M. Một quan sát viên A đứng trên mặt đất (hệ qui chiếu quán tính O) và khảo sát con lắc. Đối với quan sát viên A con lắc chuyển động với gia tốc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

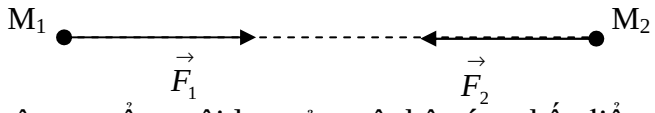
trước" là do anh B bị tác dụng một lực quán tính $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ hướng về phía trước, do xe máy chuyển động chậm lại và gia tốc xe máy $\vec{A}$ hướng về phía sau.

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

IV.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 **.**

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0 \qquad (2\text{-}19)$$

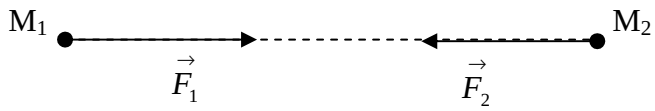


Suy rộng ra tổng nội lực của một hệ có n chất điểm bằng không .

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0 \qquad (2\text{-}20)$$

IV.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:

- $\vec{F}_1 = \dfrac{d\vec{p}_1}{dt}$ là lực chất điểm M_2 tác dụng lên chất điểm M_1 (2)
- $\vec{F}_2 = \dfrac{d\vec{p}_2}{dt}$ 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 : $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \overrightarrow{const}$ (2-21)

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

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i = \overrightarrow{const} \quad (2\text{-}22)$$

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.

V. Định luật hấp dẫn của Newton

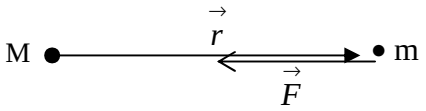
V.1. Định luật hấp dẫn của Newton (Năm 1687)

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:

$$F = F' = G\frac{Mm}{r^2} \qquad (2.\text{-}23)$$

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

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



H.2.6

Từ hình vẽ (H.2.6) và (2-23), ta có:

$$\vec{F} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \qquad (2\text{-}24)$$

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.

V.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 (2-24) ta có trọng lực tác dụng lên một chất điểm ***ở phía trên mặt đất***

$$\vec{P} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \qquad (2\text{-}25)$$

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 = $G\frac{M.m}{r^2}$ (2-26)
- Có phương qua tâm Trái đất
- Có chiều hướng vào tâm Trái đất

Phân tích:

1/ Chỉ được áp dụng công thức (2-23) và (2-24) 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 (2-25) chỉ được áp dụng cho chất điểm m ở vị trí từ mặt đất trở lên. Không được áp dụng công thức (2-25) 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.

V.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.

V.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 $\vec{g}$.

$$\vec{a} = \vec{g} = -\frac{GM}{r^3}\vec{r} \qquad (2\text{-}27)$$

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:

$$g = \frac{GM}{r^2} \qquad (2\text{-}28)$$

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.

$$g_o = \frac{GM}{R^2} \qquad (2\text{-}29)$$

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

Các công thức (2-27) và (2-28) 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

VI. 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 .

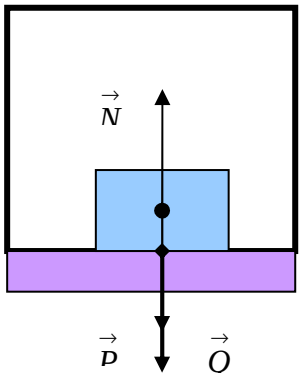
Từ (1) suy ra:

$$\vec{Q} = m(\vec{g} - \vec{a}) \qquad (2\text{-}30)$$

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 (2-30) 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 (2-30) 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.

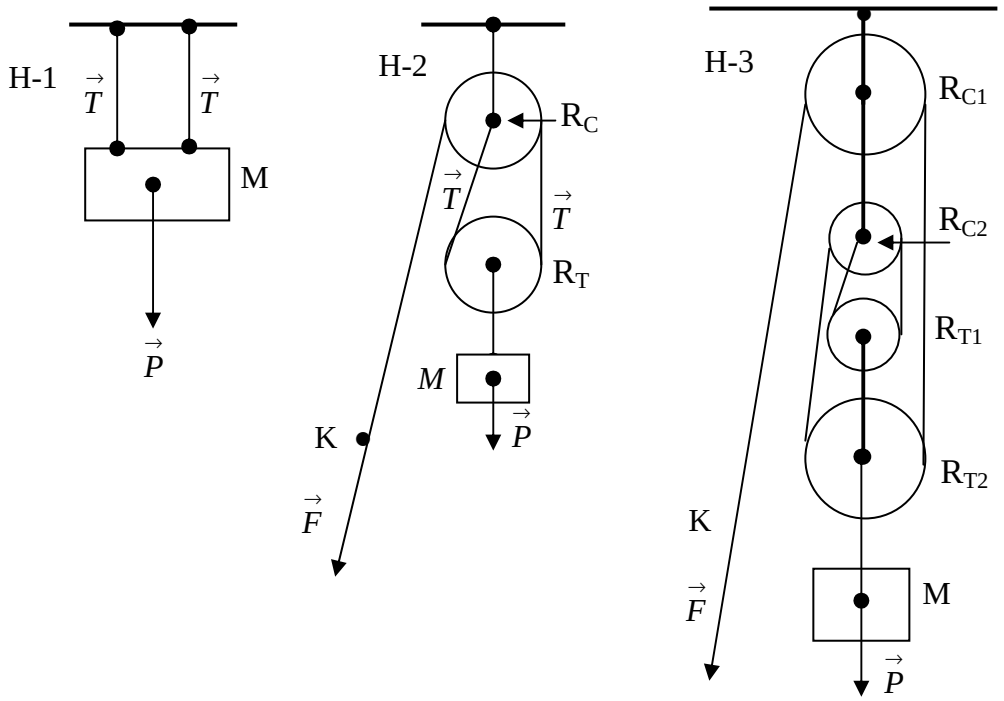
VII. Lực liên kết

VII.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.

Tham khảo (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 đảng 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:

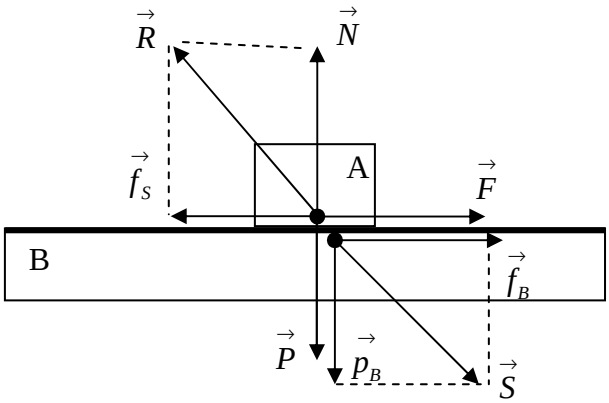
$$F = \frac{P}{2n}$$

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.

VII.2. Lực ma sát trượt

VII.2.1. Lực ma sát nghỉ



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:

$$f_{So} = k_o N \qquad (2\text{-}31)$$

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: $F \geq f_{so}$

VII.2.1. 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:

$$f_{ms} = kN \qquad (2\text{-}32)$$

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.

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 2

1/Mở đầu

1) Véctơ động lượng $\vec{p}$ của chất điểm là đại lượng vật lí đo ***lượng chuyển động cơ*** của chất điểm:

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad (2\text{-}1)$$

2) Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M đối với hệ qui chiếu O

$$\vec{l} = \vec{r} \times \vec{p} \qquad (2\text{-}2)$$

3) Véctơ mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M trong chuyển động tròn

$$\vec{l} = I\,\vec{\omega} \qquad (2\text{-}3)$$

$$I = mr^2$$

4) Véctơ mômen của một lực $\vec{F}$ đối với điểm O là véctơ $\vec{M}$:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad (2\text{-}4)$$

2/ Định luật Newton thứ hai

1) Định luật Newton thứ hai

- $\vec{F} = m\vec{a}$ (2-5)
- $\vec{F} = \dfrac{d\vec{p}}{dt}$ (2-6)

2) Định lí biến thiên mômen động lượng $\vec{l}$ của chất điểm M:

- $\frac{d\vec{l}}{dt} = \vec{M}$ (2-7)

- Trong trường hợp chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn

$I\vec{\beta} = \vec{M}$ (2-8)

3) Phương trình Mesherxki – Phương trình động lực học của tên lửa:

- $M\vec{a} = \vec{T} + \vec{F}$ (2-9)

- Lực đẩy của tên lửa: $\vec{T} = \frac{dM}{dt}\vec{u}$ (2-10)

4) Phương trình động lực học của chất điểm trong hệ qui chiếu không quán tính O'

- $m\vec{a'} = \vec{F} + \vec{F}_{qt}$ (2-11)

- Lực quán tính: $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ (2-12)

3/ Định luật Newton thứ ba

1) Định luật Newton thứ ba:

$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$ (2-13)

2) Định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập

$\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i = \overrightarrow{const}$ (2-14)

4/ Định luật hấp dân của Newton

1) Định luật hấp dẫn của Newton

- $F = F' = G\frac{Mm}{r^2}$ (2.-15)

- $\vec{F} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r}$ (2-16)

- $G = 6,67.10^{-11} N.m^2/kg^2$

2) Trọng lực

- $\vec{P} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r}$ (2-17)

- $P = G\frac{M.m}{r^2}$ (2-18)

3) Véctơ gia tốc tọng trường $\vec{g}$

- $\vec{g} = -\frac{GM}{r^3}\vec{r}$ (2-19)

- $g = \dfrac{GM}{r^2}$ (2-20)

- Gia tốc trọng trường tại mặt đất .

$$g_o = \frac{GM}{R^2} \quad (2\text{-}21)$$

5/ Lực ma sát trượt

- Lực ma sát nghỉ cực đại :

$$f_{so} = k_O N \quad (2\text{-}22)$$

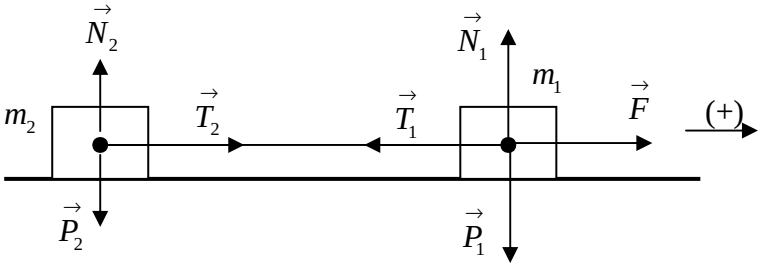
- Lực ma sát động:

$$f_{ms} = kN \quad (2\text{-}23)$$

<u>Bài tập 2.1:</u>

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



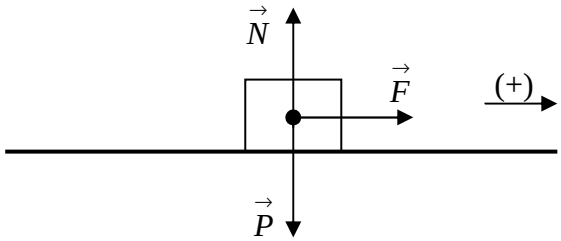
Thông qua sợi dây vật 1 tác dụng lên vật 2 một lực $\vec{T}_2$ và ngược lại theo định luật Newton thứ ba vật 2 cũng tác dụng lên vật 1 một lực $\vec{T}_1 = -\vec{T}_2$.

$\vec{P}_1$ 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:

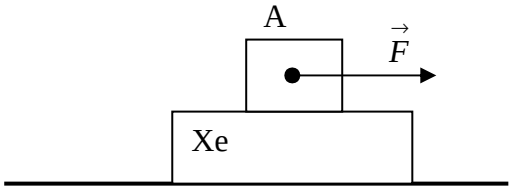
$$T_2 + 0 + 0 = m_2\, a$$

$$T_2 = m_2\, a = 4.2 = 4\ N$$

<u>Bài tập 2.2:</u>

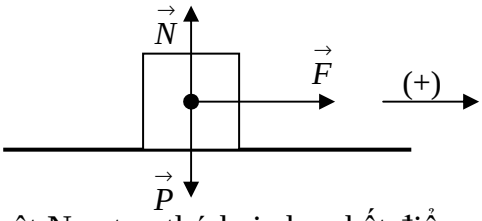
Một xe khối lượng m_1 = 20 kg có thể chuyển động không ma sát trên mặt phẳng nằm ngang trên xe đặt một vật A khối lượng m_2 = 2 kg. Hệ số ma sát giữa xe và vật A là k = 0,25, tác dụng lên A một lực F = 2 N nằm ngang. Hãy tìm lực ma sát giữa xe và vật A. Cho gia tốc của trọng trường g = 10 m/s^2 .

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.

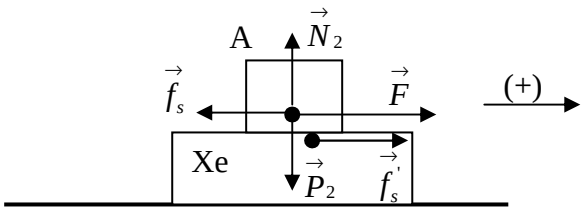
- Vì lực ma sát $\vec{f}_{ms} = 0$ nên $\vec{R} = \vec{N}$

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

<u>Bài tập 2.3</u>:

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

<u>Bài tập 2.4</u>:

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

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 2

Câu 1: Do định luật vật lý nào chi phối dẫn đến : mặt phẳng quỹ đạo của Trái đất chuyển động chung quanh Mặt trời luôn luôn cố định trong không gian:

a) Định luật Newton thứ hai

b) Định luật bảo toàn động lượng

c) Định luật hấp dẫn

d) Định luật bảo toàn mômem động lượng

Câu 2: Ta có hệ qui chiếu quán tính O đứng yên và hệ qui chiếu quán tính O' chuyển động đối với O. Gọi $\vec{a}$ và $\vec{a}'$ là gia tốc của chất điểm M đối với O và O'. Vậy:

a) $\vec{a} = \vec{a}'$

b) $\vec{a} \neq \vec{a}'$

c) $\vec{a} < \vec{a}'$

d) $\vec{a} > \vec{a}'$

Câu 3: Lực hấp dẫn của hai chất điểm có cùng khối lượng m đặt cách nhau một khoảng L là f. Tại trung điểm đường nối hai chất điểm trên đặt thêm chất điểm thứ ba có cùng khối lượng m. Lực hấp dẫn tác dụng lên hai chất điểm ở hai đầu bây giờ sẽ là F bằng:

a) F = f

b) F = 3f

c) F = 4f

d) F = 5f

Câu 4: Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất (tâm quỹ đạo trùng với tâm trái đất) và chỉ chịu tác dụng duy nhất bởi trọng lực. Vậy gia tốc tiếp tuyến a_t của chất điểm:

a) $a_t = 0$

b) $a_t > 0$

c) $a_t < 0$

d) $a_t \neq 0$

Câu 5: Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quang trái đất. Tâm quỹ đạo trùng với tâm Trái đất. Nếu bán kính quỹ đạo r tăng lên 3 lần thì gia tốc a của chất điểm:

a) a tăng lên 9 lần

b) a giảm 9 lần

c) a giảm 3 lần

d) a tăng 3 lần

Câu 6: Một chất điểm khối lượng m = 1 kg chuyển động thẳng có phương trình chuyển động : $x = 2t^2 + 3t$ (m) . Vậy lực F tác động lên chất điểm nhận giá trị nào sau?

a) F = 2 N

b) F = 3 N

c) F = 4 N

d) F = 6 N

Câu 7: Một chất điểm khối lượng m = 1 kg chuyển động trong mặt phẳng OXY có phương trình chuyển động : x = 5 sin 2t (m) và y = 5 cos 2t (m) .

Vậy lực F tác động lên chất điểm nhận giá trị nào :

a) F = 10 N

b) F = 15 N

c) F = 20 N

d) F = 25 N

Câu 8: Một chất điểm trượt không ma sát xuống một mặt phẳng nghiêng một góc $\alpha = 30^o$ với gia tốc $\vec{a}$. Vậy $\vec{a}$ và tổng hợp lực $\vec{F}$ tác dụng lên chất điểm hợp với nhau một góc φ bằng:

a) $\varphi = 0$

b) $\varphi = 30^0$

c) $\varphi = 60^0$

d) $\varphi = 180^0$

Câu 9: Một chất điểm đang trượt trên một mặt phẳng nằm ngang. Mặt phẳng tác dụng lên chất điểm một lực có phương vuông góc với mặt .Vậy chất điểm chuyển động ?

a) đều

b) nhanh dần

c) chậm dần

d) có thể nhanh dần hay chậm dần tùy theo thời điểm khảo sát .

Câu 10: Một lực $\vec{F}$ tác dụng vuông góc với véctơ vận tốc $\vec{v}$ của chất điểm. Lực $\vec{F}$ có tác dụng:

a) làm cho chất điểm chuyển động theo phương của lực.

b) giá trị của vận tốc tăng

c) giá trị của vận tốc giảm

d) làm thay đổi phương chuyển động của chất điểm

Câu 11: Một lực $\vec{F}$ tác dụng lên một chất điểm vuông góc với véctơ vận tốc $\vec{v}$. Chất điểm chuyển động :

a) nhanh dần

b) chậm dần

c) thẳng đều

d) cong đều

Câu 12: Lực nào sau đây là lực quán tính:

a) lực căng

b) lực ma sát

c) lực li tâm

d) lực hướng tâm

Câu 13: Một chất điểm khối lượng m =1kg đang trượt trên một mặt phẳng nằm ngang trong trọng trường g = 10m/s^2 . Vật chịu tác dụng một lực ma sát f_{ms} = 10 N . Khi đó chất điểm tác dụng lên mặt phẳng một lực tổng hợp F bằng :

a) F = 10 N

b) F = 14 N

c) F = 28 N

d) Chưa đủ dữ liệu để tính

Câu 14: Một chất điểm khối lượng m = 1 kg trượt không ma sát xuống mặt nghiêng hợp với mặt ngang một góc $\alpha = 30^o$. Cho g = 10 m/s^2. Vậy tổng hợp ngoại lực F tác dụng lên chất điểm:

a) F = 10 N

b) F = 5 N

c) F = 8,6 N

d) F = 15 N

CHƯƠNG 3: CƠ NĂNG

I. Các khái niệm mở đầu

I.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:

$$W_đ = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (3\text{-}1)$$

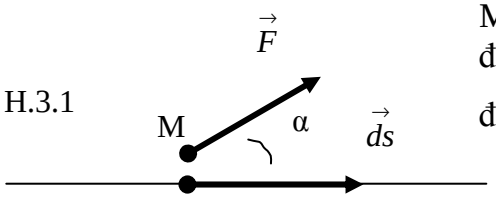
Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) động năng W_d có đơn vị là Joule (J)

I.2. Công của lực

Công của lực là đại lượng vật lý được dùng để đo độ biến thiên của năng lượng.

I.2.1. Công của một lực $\vec{F}$ không đổi dịch chuyển trên một đoạn thẳng $\vec{ds}$

H.3.1



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:

$$dA = \vec{F} \cdot \vec{ds} \qquad (3\text{-}2)$$

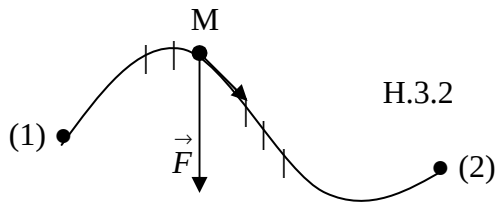
Hay: $$dA = F.ds.\cos\alpha \qquad (3\text{-}3)$$

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 (S.I) đơn vị của công là Joule (J)

I.2.2. Trường hợp tổng quát



H.3.2

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):

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} . \vec{ds} \qquad (3\text{-}4)$$

I.2.3. Công suất

Công suất là công thực hiện trong một đơn vị thời gian. Ta có:

$$P = \frac{dA}{dt} = \vec{F} . \frac{\vec{ds}}{dt} = \vec{F} . \vec{v} \qquad (3\text{-}5)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) 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): $dA = dW_d$

II. Định lí động năng

II.1. Phát biểu định lí động năng

a . 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 $\rightarrow$ 2).

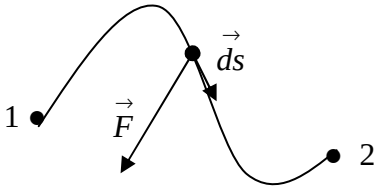
$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad (3\text{-}6)$$

b. Dạng vi phân

Trong dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ định lí động năng có dạng:

$$dA = dW_đ \qquad (3\text{-}7)$$

II.2. 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:

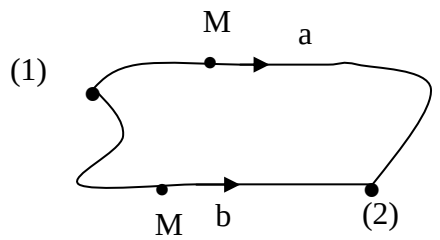
1) Hãy giải thích định lí động năng là một dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai
2) Hãy nêu tất cả những dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai.

III. Trường lực thế

III.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.2. Tính chất của trường lực thế



H.3.3

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 : $$A = \int_{(C)} \vec{F}.\vec{ds} = 0 \qquad (3\text{-}8)$$

Vậy ***công của lực thế dịch chuyển theo đường cong kín (c) bất kì bằng không***.

Biểu thức (3-8) 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 (3-8) là lực thế. Lực không tuân theo (3-8) 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. Thế năng

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.

$$W_{t1} = A_{1O} = \int_{(1)}^{(O)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (3\text{-}9)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của thế năng Joule (J)

III.4. Định lí thế năng

III.4.1. Phát biểu định lí thế năng

a/ 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) .

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = W_{t1} - W_{t2} \qquad (3\text{-}10)$$

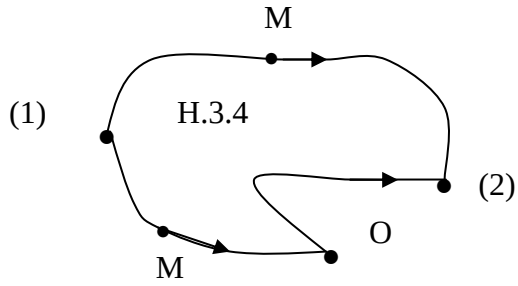
b/ Dạng vi phân

Trong dịch chuyển vi phân $\vec{ds}$ định lí thế năng có dạng:

$$dA = -dW_t \qquad (3\text{-}11)$$

III.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.5. Thế năng của một chất điểm trọng trường

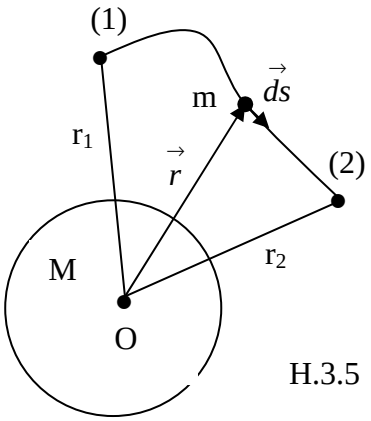
III.5.1. Chứng minh trọng trường là trường lực thế

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 : $\vec{P} = -G\dfrac{Mm}{r^3}\vec{r}$ (2)
- Trong dịch chuyển vi phân theo (1-9):

$$\vec{ds} = \vec{dr} \qquad (3)$$



H.3.5

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:***

$$A_{12} = \frac{GMm}{r_2} - \frac{GMm}{r_1} \qquad (3\text{-}12)$$

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.5.2. Thế năng của một chất điểm trong trọng trường

Theo định lí thế năng (3-10) và từ (3-12) ta có:

$$A_{12} = \frac{GMm}{r_2} - \frac{GMm}{r_1} = (-\frac{GMm}{r_1}) - (-\frac{GMm}{r_2}) = W_{t1} - W_{t2}$$

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:

$$W_t = -\frac{GMm}{r} \qquad (3\text{-}13)$$

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:

$$W_t = \frac{GMm}{R} - \frac{GMm}{r} = GMm\left(\frac{r-R}{rR}\right) = GMm\frac{h}{R(R+h)}$$

$$W_t = GMm\frac{h}{R(R+h)} \qquad (3\text{-}14)$$

Với h = r – R là độ cao của m tính từ mặt đất .

Nếu h << R: R + h ~ R.

$$W_t = \frac{GM}{R^2}mh = mg_o h$$

$$W_t = mg_o h \qquad (3\text{-}15)$$

Với: $g_o = \frac{GM}{R^2}$ là gia tốc trọng trường tại mặt đất.

Biểu thức (3-15) là thế năng của chất điểm m trong trọng trường đều.

Phân tích:

Trong biểu thức(3-15):

- 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

IV. Cơ năng

IV.1. Định nghĩa

Cơ năng của một chất điểm trong một trường lực thế là một đại lượng vật lý được định nghĩa:

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2}mv^2 + W_t \qquad (3\text{-}16)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị của cơ năng là Joule (J).

Ngoài hệ đơn vị Quốc tế (S.I) trong kỹ thuật người ta còn dùng đơn vị năng lương kWh:

1 kWh = 3600 kJ. Đơn vị kWh thường dùng trong điện năng.

IV.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):

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F_{ms}}.\vec{ds} = A_{12} - \int_{(1)}^{(2)} \vec{F_t}.\vec{ds} = W_{d2} - W_{d1} + W_{t2} - W_{t1}$$

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F_{ms}}.\vec{ds} = (W_{d2} + W_{t2}) - (W_{d1} + W_{d1})$$

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F_{ms}}.\vec{ds} = W_2 - W_1 \qquad (3\text{-}17)$$

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.

IV.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.***

$$W = \frac{1}{2} mv^2 + W_t = \text{const} \qquad (3\text{-}18)$$

<u>Bài tập 3.1:</u>

Một vật có khối lượng m = 1 kg trượt không vận tốc đầu xuống dốc cao h = 5 m. 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

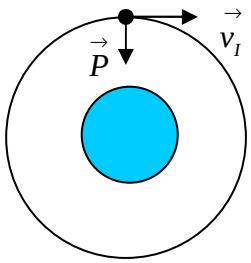
<u>Bài tập 3.2:</u>

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

V. Chuyển động trong trường hấp dẫn

V.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: $$g = \frac{GM}{r^2} \qquad (2)$$

So sánh (1) và (2) ta suy ra được vận tốc vũ trụ cấp một v_I:

$$v_I = \sqrt{g.r} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (3\text{-}19)$$

Trường hợp vật ở gần mặt đất : $g_o = 9{,}81 m/s^2$, R = 6370 km .

$$v_I = \sqrt{g_o R} = 7{,}9 \text{ km/s}$$

Chú ý:

Biểu thức (3-19) được mở rộng áp dụng cho mọi thiên thể: Mặt trăng, các hành tinh, Mặt trời…

V.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:

$$W_R = W_{dR} + W_{tR} = \frac{1}{2} m v_{II}^{\,2} - \frac{GMm}{r}$$

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: $$v_{II} = \sqrt{2\frac{GM}{r}} = v_I\sqrt{2} \qquad (3\text{-}20)$$

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 (3-20) được mở rộng áp dụng cho mọi thiên thể: Mặt trăng , các hành tinh, Mặt trời…

<u>Bài tập 3.3:</u>

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

<u>Bài tập 3.4</u>:

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 : $M \approx 2.10^{30}$ kg

<u>Bài tập 3.5</u>:

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

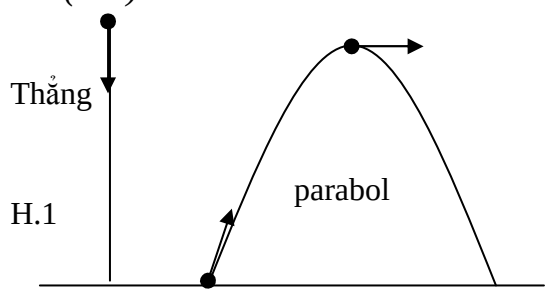
Đáp số : W = - 3200 J

Tham khảo (đọc thêm)

Hãy nêu 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).*

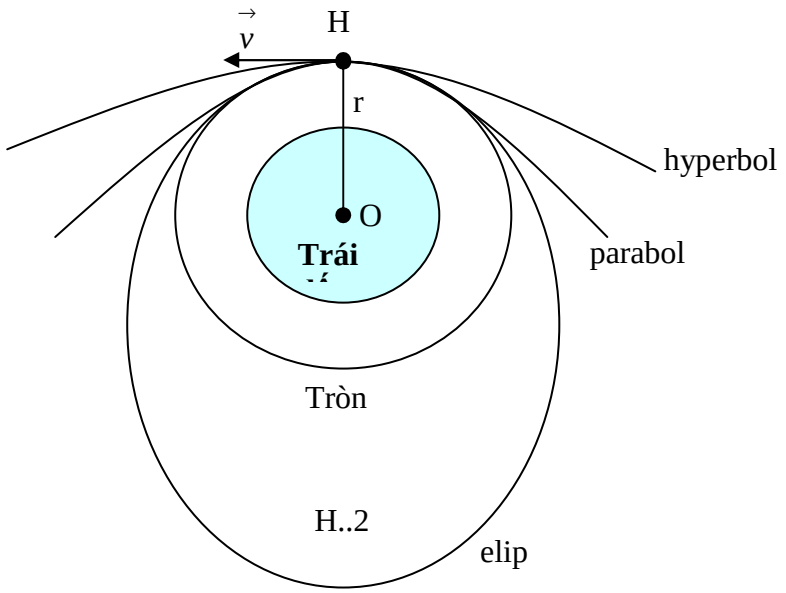
*Một vật được ném nghiêng trên mặt đất trong trọng trường. Vật sẽ chuyển động trên **quỹ đạo parabol** (H.1).*



H.1

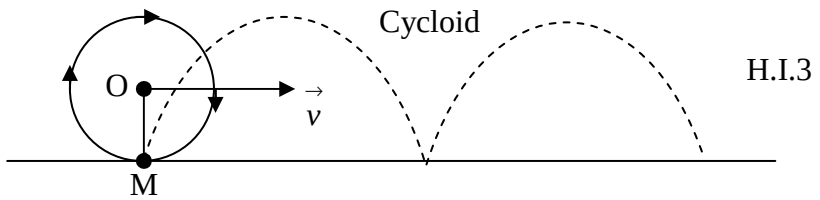
Từ vị trí H cách tâm O của Trái đất một khoảng OH = r, một vật được bắn đi với véctơ vận tốc $\vec{v}$ vuông góc với OH:

- *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)*



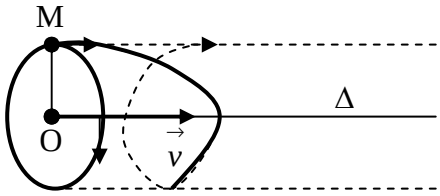
- *Nếu $v_1 < v < v_2$: Vật sẽ chuyển động trên* ***quỹ đạo elíp*** *chung quanh Trái đất (H.2)*
- *Nếu $v > v_2$: Vật sẽ chuyển động thoát ra khỏi sức hút của Trái đất trên* ***quỹ đạo hyperbol.*** *(H.2)*

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.I.3).



H.I.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.I.4)

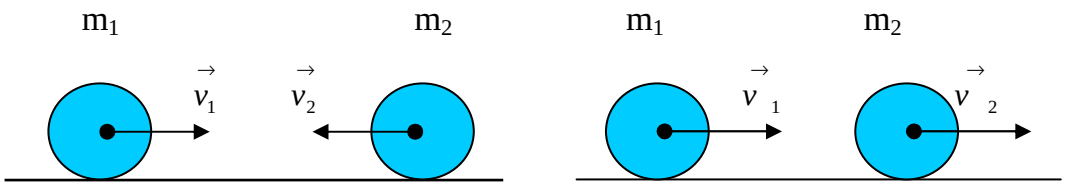


H.I.4

VI. Va chạm

VI.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:

$$m_2v_1 + m_2v_1' = m_2v_2' + m_2v_2 \qquad (4)$$

Lấy (4) trừ (1) theo vế ta được:

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \qquad (3\text{-}21)$$

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 :

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \qquad (3\text{-}22)$$

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 $v_2' \approx 0$.

VI.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:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)\, v$$

$$v = \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2} \qquad (3\text{-}23)$$

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:

$$-\Delta E_đ = ½\, m_1 v_1^2 + ½\, m_2 v_2^2 - ½\,(m_1 + m_2)\, v^2$$

$$-\Delta E_đ = \frac{1}{2}\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}(v_1 - v_2)^2 \qquad (3\text{-}24)$$

Độ giảm động năng của hệ có giá trị bằng công làm biến dạng hệ hay độ tăng nội năng của hệ.

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 3

1/ Động năng của chất điểm

$$W_đ = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (3\text{-}1)$$

2/ Công của một lực $\vec{F}$ không đổi dịch chuyển trên một đoạn thẳng $\vec{ds}$

$$dA = \vec{F} \cdot \vec{ds} \qquad (3\text{-}2)$$

$$dA = F.ds.\cos\alpha \qquad (3\text{-}3)$$

3/ Trường hợp tổng quát

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (3\text{-}4)$$

4/ Công suất

$$P = \frac{dA}{dt} = \vec{F}.\frac{\vec{ds}}{dt} = \vec{F}.\vec{v} \qquad (3\text{-}5)$$

5/ Định lí động năng

a/ Dạng tích phân

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad (3\text{-}6)$$

b/ Dạng vi phân

$$dA = dW_đ \qquad (3\text{-}7)$$

6/ Tính chất của trường lực thế

$$A = \oint_{(C)} \vec{F}.\vec{ds} = 0 \qquad (3\text{-}8)$$

7/ Thế năng

Thế năng của một chất điểm tại vị trí (1) trong trường lực thế

$$W_{t1} = A_{1O} = \int_{(1)}^{(O)} \vec{F}.\vec{ds} \qquad (3\text{-}9)$$

8/ Định lí thế năng

a/ Dạng tích phân

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}.\vec{ds} = W_{t1} - W_{t2} \qquad (3\text{-}10)$$

b/ Dạng vi phân

$$dA = -dW_t \qquad (3\text{-}11)$$

9/ Thế năng của một chất điểm trong trọng trường

a/ Gốc thế năng ở vô cùng

$$W_t = -\frac{GMm}{r} \qquad (3\text{-}12)$$

b/ Gốc thế năng ở mặt đất

$$W_t = GMm\frac{h}{R(R+h)} \qquad (3\text{-}13)$$

c/ Với h << R

$$W_t = mg_oh . \quad (3\text{-}14)$$

10/ Cơ năng

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2}mv^2 + W_t \quad (3\text{-}15)$$

11/ Công của lực ma sát hay lực cản trong trường lực thế

$$A_{ms} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F}_{ms}.\vec{ds} = W_2 - W_1 \quad (3\text{-}16)$$

12/ Định luật bảo toàn cơ năng

$$W = ½ mv^2 + W_t = const \quad (3\text{-}17)$$

13/ Vận tốc vũ trụ cấp một

$$v_I = \sqrt{g.r} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (3\text{-}19)$$

14/ Vận tốc vũ trụ cấp hai

$$v_{II} = \sqrt{2\frac{GM}{r}} = v_I\sqrt{2} \quad (3\text{-}18)$$

15/ Va chạm đàn hồi xuyên tâm

a/ Vận tốc vật 1 sau va chạm : v_1'

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad (3\text{-}19)$$

b/ Vận tốc vật 2 sau va chạm : v_2'

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2} \quad (3\text{-}20)$$

16/ Va chạm mềm

$$v = \frac{(m_1 v_1 + m_2 v_2)}{m_1 + m_2}$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 3

Câu 1: Chọn phát biểu đúng về công của trọng lực theo một đường cong kín:

a) phụ thuộc vào hình dạng đường cong kín.

b) phụ thuộc vào kích thước đường cong kín

c) không phụ thuộc vào hình dạng và kích thước đường cong kín

d) phụ thuộc vào trọng lực

Câu 2: Một vật có khối lượng m = 1 kg chuyển động trên đường thẳng vận tốc v = 4 m/s. Chịu tác dụng một lực ma sát không đổi F đi được đoạn đường x = 4 m thì đứng lại. Vậy F bằng :

a) F = 1 N

b) F = 2 N

c) F = 3 N

d) F = 4 N

Câu 3: Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất. Gọi W là cơ năng của chất điểm và W_t là thế năng của chất điểm. Lấy gốc thế năng ở vô cùng. Hãy chọn phương án đúng:

a) $W = 2 W_t$

b) $W = - 2W_t$

c) $W_t = 2W$

d) $W_t = - 2W$

Câu 4: Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất. Gọi W là cơ năng của chất điểm và W_d là động năng của chất điểm. Lấy gốc thế năng ở vô cùng. Hãy chọn phương án đúng:

a) $W = 2 W_d$

b) $W = - W_d$

c) $W_d = W$

d) $W_d = - 2W$

Câu 5: Một chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn chung quanh trái đất. Gọi W_d là động năng của chất điểm và W_t là thế năng của chất điểm. Lấy gốc thế năng ở vô cùng Hãy chọn phương án đúng:

a) $W_d = W_t$

b) $W_d = - W_t$

c) $W_t = 2W_d$

d) $W_t = - 2W_d$

Câu 6: Một chất điểm khối lượng m = 1 kg chuyển động với vận tốc v = 10 m/s. Chất điểm chịu tác dụng một lực ma sát không đổi và dừng lại. Vậy công A của lực ma sát :

a) A = -5 J

b) A = -50 J

c) A = -100 J

d) A = -150 J

Câu 7: Tại vị trí O trên mặt đất người ta ném một vật thẳng đứng lên trong trọng trường đều $g = 10m/s^2$, với tốc đầu $v_o = 10$ m/s, lấy gốc thế năng tại O . Tại vị trí động năng bằng thế năng vật ở độ cao h bằng :

a) h = 2 m

b) h = 2,5 m

c) h = 3 m

d) h = 3,5 m

Câu 8: Tại vị trí O trên mặt đất người ta ném một vật thẳng đứng lên trong trọng trường đều g = 10m/s^2, với tốc đầu v_o = 14 m/s , lấy gốc thế năng tại O . Tại vị trí động năng bằng thế năng vật có vận tốc v bằng :

a) v = 7 m/s

b) v = 8 m/s

c) v = 10 m/s

d) v = 12 m/s

Câu 9: Tại vị trí O trên mặt đất người ta ném một vật khối lượng m = 1kg với góc nghiêng $\alpha = 60^o$ trong trọng trường đều g , với vận tốc đầu v_o = 4m/s . Công A của trọng lực khi vật đi từ O đến đỉnh S của quỹ đạo bằng :

a) A = -5 J

b) A = -6 J

c) A = 5 J

d) A = 6 J

Câu 10: Hai vật (1) và (2) có cùng khối lượng chuyển động trên cùng một đường thẳng, ngược chiều nhau có vận tốc v_1 và v_2. Sau va chạm đàn hồi xuyên tâm có vận tốc v_1' và v_2'. Vậy:

a) $v_1' = 0$ và $v_2' = v_1$

b) $v_1' = -v_1$ và $v_2' = - v_2$

c) $v_1' = v_2$ và $v_2' = v_1$

d) $v_1' = -v_2$ và $v_2' = -v_1$

Câu 11: Hai vật (1) và (2) có cùng khối lượng chuyển động trên một đường thẳng ngược chiều nhau, vật (1) chuyển động theo chiều dương quỹ đạo, có giá trị vận tốc v_1 = 2 m/s và vật (2) có vận tốc v_2 = - 4 m/s. Sau va chạm mềm hai vật dính vào nhau có vận tốc v. Vậy:

a) v = -1 m/s

b) v = 1 m/s

c) v = 3 m/s

d) v = -4 m/s

Câu 12: Hai vật (1) và (2) có cùng khối lượng chuyển động trên một đường thẳng cùng chiều nhau, có vận tốc v_1 = 5 m/s và v_2 = 3 m/s. Sau va chạm mềm hai vật dính vào nhau có vận tốc v. Vậy:

a) v = -1 m/s

b) v = -2 m/s

c) v = 3 m/s

d) v = 4 m/s

CHƯƠNG 4: CƠ HỌC HỆ CHẤT ĐIỂM VÀ VẬT RẮN

I. Chuyển động tịnh tiến và chuyển dộng quay của hệ chất điểm và vật rắn

I.1 Hệ chất điểm và vật rắn

Cơ hệ là tập hợp nhiều chất điểm, trong đó vị trí hay chuyển động của mỗi chất điểm phụ thuộc vào vị trí và chuyển động của các chất điểm khác.

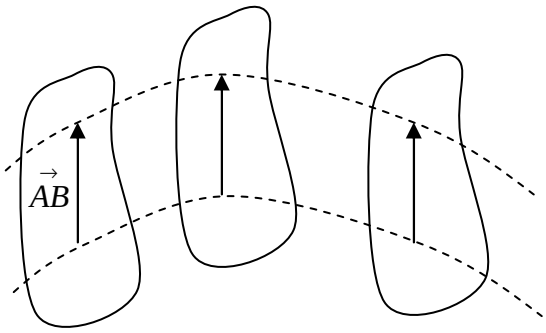
Hệ Mặt trời là một ví dụ điển hình về cơ hệ, trong đó các thiên thể liên kết với nhau bởi lực hút tương hỗ giữa chúng.

Nếu trong tập hợp các chất điểm không có một lực tương tác nào, thì tập hợp đó không tạo thành cơ hệ (chẳng hạn, tập hợp các máy bay đang bay trên bầu trời).

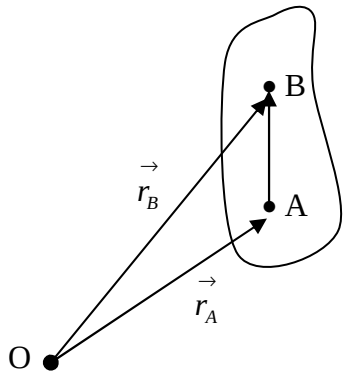
Trong cơ học chúng ta chỉ khảo sát hệ chất điểm là cơ hệ.

Vật rắn là hệ chất điểm, mà các chất điểm của hệ có liên kết cứng. Ví dụ: khối nước lỏng là hệ chất điểm, còn khối nước đá là vật rắn.

I.2 Chuyển động tịnh tiến của vật rắn



H.4.1



Chuyển động của một vật rắn được gọi là chuyển động tịnh tiến, khi một véctơ $\vec{AB}$ gắn lên vật luôn luôn chuyển động song song với chính nó (H.4.1).

Quỹ đạo của vật rắn trong chuyển động tịnh tiến có thể thẳng hay cong. Mọi điểm trên vật rắn trong chuyển động tịnh tiến có quỹ đạo hoàn toàn giống nhau. Nếu chập lại chúng hoàn toàn trùng khít lên nhau.

Xét một véctơ $\overrightarrow{AB}$ gắn trên vật rắn, đối với hệ qui chiếu O, để xác định điểm A ta dùng véctơ vị trí $\vec{r_A}$, để xác định điểm B ta dùng véctơ vị trí $\vec{r_B}$, từ Hình vẽ (H.4.1) ta có :

$$\vec{r_B} = \vec{r_A} + \overrightarrow{AB}$$

Lấy đạo hàm theo thời gian:

$$\frac{d\,\vec{r_B}}{dt} = \frac{d\,\vec{r_A}}{dt} + \frac{d\,\vec{AB}}{dt} \quad , \qquad \text{Suy ra:} \qquad \vec{v_B} = \vec{v_A} \qquad (1)$$

Vì : $\dfrac{d\,\vec{AB}}{dt}$ = 0, do véctơ $\overrightarrow{AB}$ có độ lớn và phương chiều không đổi.

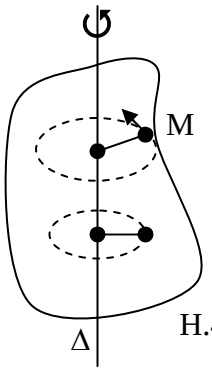
Đạo hàm biểu thức (1) theo thời gian , ta được :

$$\frac{d\vec{v}_B}{dt} = \frac{d\vec{v}_A}{dt} \qquad \text{Hay:} \qquad \vec{a}_B = \vec{a}_A$$

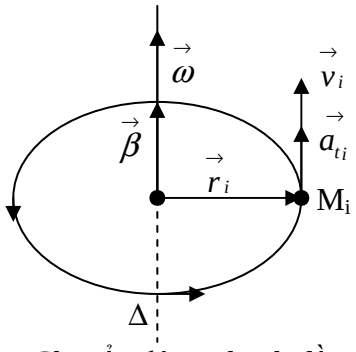
Như vậy, khi một vật rắn chuyển động tịnh tiến, thì mọi điểm trên vật rắn có véctơ vận tốc $\vec{v}$ và véctơ gia tốc $\vec{a}$ bằng nhau.

Bởi những lí do trên mà một vật chuyển động tịnh tiến được biểu diễn bằng một chất điểm M đại diện cho vật.

I.3 Chuyển động quay của hệ chất điểm và vật rắn



H.4.2



Chuyển động nhanh dần

Chuyển động của một vật được gọi là chuyển động quay quanh một trục Δ. Khi mọi điểm trên vật chuyển động trên quỹ đạo tròn có tâm nằm trên trục Δ, hình (H.4.2).

Không thể biểu diễn một vật chuyển động quay bằng khái niệm chất điểm.

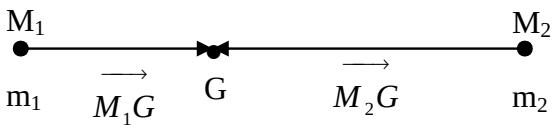
Cho nên phát biểu một *chất điểm quay* là phát biểu sai.

Khi vật rắn chuyển động quay, trong khoảng thời gian dt mọi chất điểm của vật rắn đều quay một góc dθ giống nhau, nên ***trong chuyển động quay mọi điểm trên vật rắn có véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ và véctơ gia tốc góc $\vec{\beta}$ giống nhau.***

Khi một hệ chất điểm chuyển động quay, thì ***mọi điểm trên vật rắn có véctơ vận tốc góc $\vec{\omega}_i$ và véctơ gia tốc góc $\vec{\beta}_i$ khác nhau.***

II. Khối tâm của hệ chất điểm

II.1. Định nghĩa khối tâm của hệ chất điểm



H.4.3

Ta có hệ hai chất điểm 1 và 2, chất điểm 1 có khối lượng $m_1$và ở vị trí M_1, chất điểm 2 có khối lượng m_2 và ở vị trí M_2.

Khối tâm của hệ chất hai điểm 1 và 2 là điểm G. Nó ở vị trí sao cho thỏa mãn hệ thức sau:

$$m_1\overrightarrow{M_1G} + m_1\overrightarrow{M_2G} = 0$$

Suy ra: $$\overrightarrow{M_1G} = -\frac{m_2}{m_1}\overrightarrow{M_2G}$$

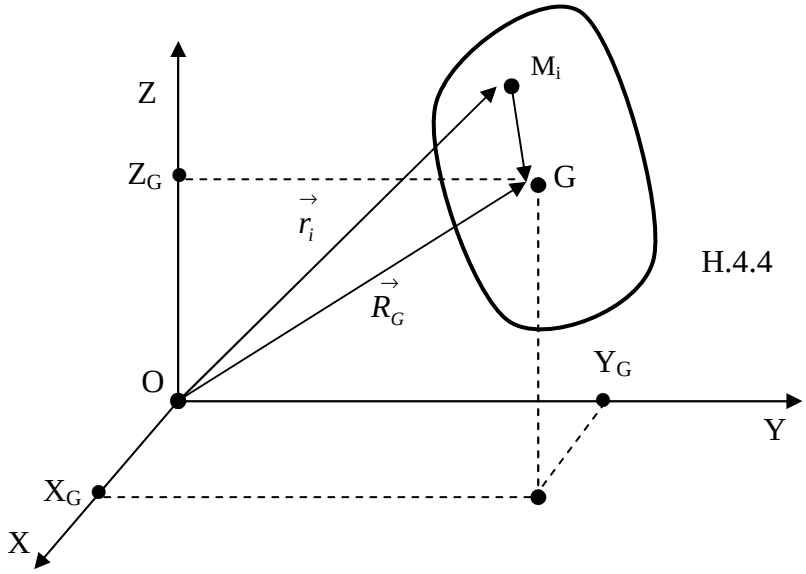
Vậy hai véctơ $\overrightarrow{M_1G}$ *và* $\overrightarrow{M_2G}$ cùng phương và ngược chiều.

Vậy điểm khối tâm G phải nằm ở giữa và trên đường nối M_1 và M_2. Điểm khối tâm G nằm gần về phía chất điểm có khối lượng lớn. Nếu khối lượng hai chất điểm bằng nhau ($m_1 = m_2$) thì điểm khối tâm G nằm ở chính giữa M_1 và M_2.

Ta suy rộng ra: Khối tâm của hệ chất điểm M_1 , M_2 , M_3 . . . M_n lần lượt có khối lượng m_1 , m_2 , m_3 . . . m_n là điểm G sao cho:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{M_iG} = 0 \qquad (4\text{-}1)$$

II.2. Ví trí của khối tâm trong hệ tọa độ OXYZ



H.4.4

Gọi $\vec{R_G}$ là véctơ vị trí xác định vị trí khối tâm G của hệ chất điểm trong hệ qui chiếu O .

Từ hình vẽ (H.4.4). Ta có:

$$\vec{R_G} = \vec{r_i} + \overrightarrow{M_iG}$$

Nhân hai vế với m_i và lấy tổng ta được:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{R_G} = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r_i} + \sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{M_iG}$$

Theo (4-1): $\sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{M_iG} = 0$ ta suy ra:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{R_G} = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r_i}$$

Hay: $$\vec{R_G} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r_i}}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r_i} \qquad (4\text{-}2)$$

Với: M = $\sum_{i=1}^{n} m_i$ là khối lượng của hệ chất điểm

Chiếu (4-2) lên các trục tọa độ OX, OY, OZ , ta có toạ độ của khối tâm G trong hệ tọa độ OXYZ.

$$X_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i\, x_i \quad ; \quad Y_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i\, y_i \quad ; \quad Z_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i\, z_i \qquad (4\text{-}3)$$

III. Véctơ tổng động lượng của hệ chất điểm

Véctơ tổng động lượng $\vec{P}$ của hệ chất điểm , còn gọi là véctơ động lượng của hệ chất điểm, được định nghĩa bằng tổng véctơ động lượng của các chất điểm của hệ chất điểm:

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} m_i\, \vec{v}_i \qquad (4\text{-}4)$$

Đạo hàm (4-2) theo thời gian, ta được :

$$\frac{d\vec{R}_G}{dt} = \vec{V}_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i\, \vec{v}_i = \frac{\vec{P}}{M}$$

Hay: $\vec{P} = M\vec{V}_G$ (4-5)

Với: $M\vec{V}_G$ là véctơ động lượng của khối tâm G của hệ.

Vậy véctơ động lượng của hệ chất điểm bằng véctơ động lượng khối tâm của hệ.

Như vậy với khái niệm khối tâm chúng ta đã chuyển bài toán phức tạp khảo sát chuyển động hệ chất điểm về bài toán khảo sát chuyển động của khối tâm.

Chuyển động của khối tâm tương đương với chuyển động của một chất điểm mang toàn bộ khối lượng M của hệ.

Chuyển động của khối tâm của hệ được gọi là chuyển động toàn bộ hệ.

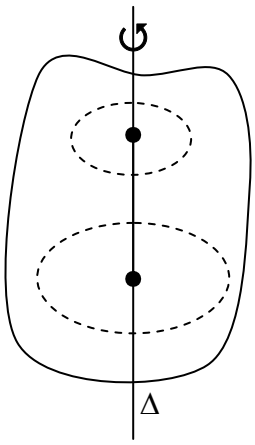
Phân tích:

Ví dụ: Một hệ chất điểm chuyển động quay quanh một trục Δ đi qua khối tâm G của hệ và khối tâm G của hệ đứng yên đối với hệ qui chiếu O. Khi đó ta nói toàn bộ hệ đứng yên đối với hệ qui chiếu O, $\vec{V}_G = 0$, $\vec{P} = M\vec{V}_G = 0$. Như vậy véctơ động lượng $\vec{P}$ của hệ chất điểm chỉ đo *phần lượng chuyển động cơ* của chuyển động toàn bộ hệ, mà không đo *phần lượng chuyển động cơ* của chuyển động quay của hệ quanh trục Δ đi qua khối tâm G của hệ.

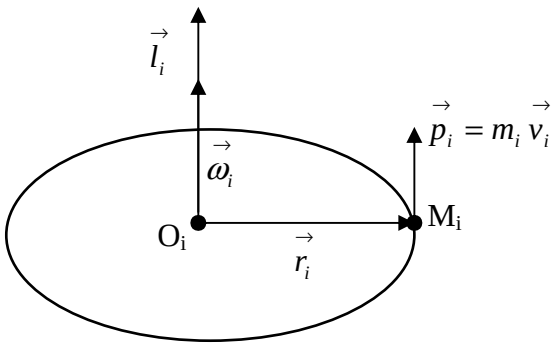
IV. Véctơ mômen động lượng của hệ chất điểm

Khi một hệ chất điểm chuyển động quay quanh trục Δ cố định, thì mỗi chất điểm của hệ sẽ chuyển động trên quỹ đạo tròn có tâm nằm trên trục Δ. Ta xét một chất điểm M_i của hệ chuyển động trên qũy đạo tròn tâm O_i (H.4.5).

Theo (2-5) ta có véctơ mômen động lượng $\vec{l}_i$ của chất điểm M_i : $\vec{l}_i = I_i\, \vec{\omega}_i$



H.4.5



Để ***đo lượng chuyển động cơ của hệ chất điểm trong chuyển động quay quanh trục Δ, người ta dùng khái niệm véctơ mômen động lượng*** $\vec{L}$ của hệ chất điểm đối với trục Δ, thường gọi đơn giản là véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ của hệ chất điểm.

Véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ của hệ chất điểm được định nghĩa bằng tổng véctơ mômen động lượng $\vec{l}_i$ của các chất điểm.

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} \vec{l}_i = \sum_{i=1}^{n} I_i \vec{\omega}_i \qquad (4\text{-}6)$$

Nếu hệ chất điểm là vật rắn. Ta có :

$$\vec{L} = \vec{\omega} \sum_{i=1}^{n} I_i = I \vec{\omega}$$

Hay: $$\vec{L} = I \vec{\omega} \qquad (4\text{-}7)$$

Với : $$I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 \qquad (4\text{-}8)$$

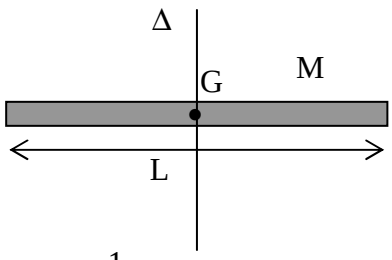
I là mômen quán tính của vật rắn đối với trục Δ. Nó đặc trưng cho quán tính của vật rắn trong chuyển động quay.

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I), đơn vị mômen quán tính I của hệ chất điểm là $kg.m^2$

V. Mômen quán tính

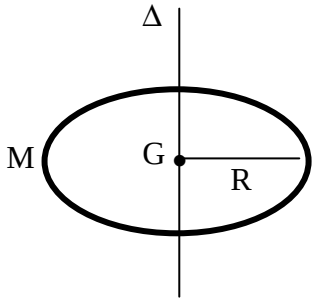
1/ Mômen quán tính của một số vật đối với trục Δ đi qua khối tâm G của vật

Thanh thẳng



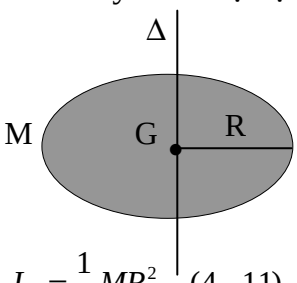
$$I_G = \frac{1}{12} ML^2 \qquad (4-9)$$

Vòng tròn hay hình trụ rỗng



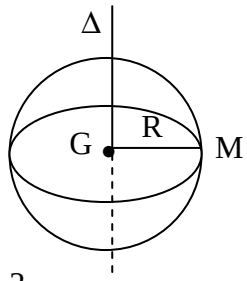
$$I_G = MR^2 \qquad (4-10)$$

Đĩa tròn hay hình trụ đặc



$$I_G = \frac{1}{2}MR^2 \quad (4-11)$$

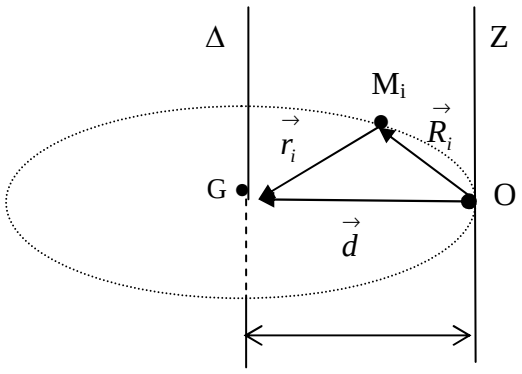
Qủa cầu



$$I_G = \frac{2}{5}MR^2 \quad (4-12)$$

2/ Định lí Huyghens – Steiner

H.4.6



Xem hình vẽ (H.4.6). Chất điểm M_i của vật rắn có khối lượng m_i . Trục Z đi qua O và trục Δ đi qua khối tâm G song song nhau, cách nhau một khoảng d . Từ hình vẽ ta có:

$$\vec{d} = \vec{R}_i + \vec{r}_i \quad \Rightarrow \quad \vec{R}_i = \vec{d} - \vec{r}_i \quad \Rightarrow \quad R_i^2 = r_i^2 + d^2 - 2\vec{d}\,\vec{r}_i$$

Nhân hai vế cho m_i và lấy tổng:

$$\sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2 = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 + \sum_{i=1}^{n} m_i d^2 - 2\vec{d}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i$$

$$I_O = I_G + M d^2 \qquad (4\text{-}13)$$

Với:

- $I_O = \sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2$: Mômen quán tính của vật rắn đối với trục Z
- $I_G = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$: Mômen quán tính của vật rắn đối với trục Δ đi qua khối tâm G
- $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$: Khối lượng vật rắn
- Theo (4-1): $\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i = 0$

VI. Động năng của vật rắn

Động năng của vật rắn bằng tổng động năng của các chất điểm của vật rắn .

$$W_d = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i v_i^2 \qquad (4\text{-}14)$$

VI.1. Động năng của vật rắn trong chuyển động tịnh tiến

Trong chuyển động tịnh tiến mọi điểm trên vật rắn chuyển động cùng vận tốc v. Nên:

$$W_d = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i v^2 = \frac{1}{2} v^2 \sum_{i=1}^{n} m_i$$

$$W_d = \frac{1}{2} M v^2 \qquad (4\text{-}15)$$

Với: $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$: Khối lượng vật rắn

VI.2. Động năng của vật rắn trong chuyển động quay

Một vật rắn chuyển động quay chung quanh một trục Δ cố định.Trong chuyển động quay mọi điểm trên vật rắn chuyển động trên quỹ đạo tròn. Chất điểm m_i trên vật rắn có vận tốc: $v_i = \omega r_i$ (1-21)

$$W_d = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 \omega^2 = \frac{1}{2} \omega^2 \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$$

$$W_đ = \frac{1}{2} I \omega^2 \qquad (4\text{-}16)$$

Với: $I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$ là mômen quán tính của vật rắn đối với trục Δ

VI.3. Động năng của vật rắn trong chuyển động bất kì

Chuyển động bất kì của vật rắn là sự tổng hợp của hai chuyển động: chuyển quay của vật rắn quanh trục Δ đi qua khối tâm G của vật rắn và chuyển động toàn thể của vật rắn (chuyển động của khối tâm của vật rắn):

$$W_đ = \frac{1}{2} M V_G^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \qquad (4\text{-}17)$$

VII. Mômen lực trong chuyền động quay

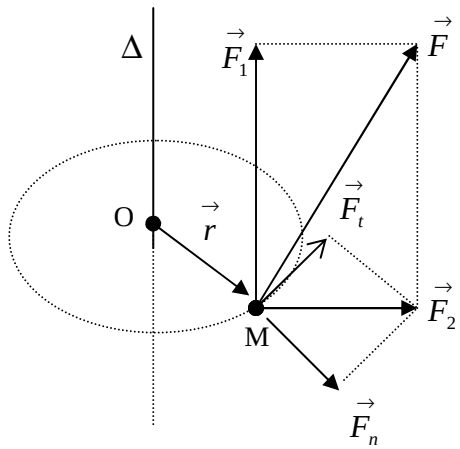
VII.1. Lực tác động trong chuyển động quay của vật rắn

Một vật rắn quay quanh trục Δ .

Một lực $\vec{F}$ tác dụng lên vật rắn tại điểm M. Từ M ta vẽ một đường tròn có tâm O nằm trên trục Δ. Mặt phẳng vòng tròn vuông góc với trục quay Δ. Như vậy trục Δ là trục của đường tròn. Ta phân tích:

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

H.4.7



Thành phần $\vec{F_1}$ song song với trục Δ, thành phần $\vec{F_2}$ vuông góc với trục Δ .

Ta lại phân tích $\vec{F_2}$:

$$\vec{F_2} = \vec{F_t} + \vec{F_n} \qquad (2)$$

Trong đó:

- $\vec{F_t}$ tiếp tuyến với vòng tròn
- $\vec{F_n}$ vuông góc với vòng tròn

Thế (2) vào (1) ta được:

$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_t} + \vec{F_n}$$

Trong đó:

- $\vec{F_1}$ có tác dụng đẩy điểm M trượt theo trục Δ
- $\vec{F_n}$ có tác dụng kéo điểm M ra xa trục Δ
- Rõ ràng chỉ có thành phần lực $\vec{F_t}$ tiếp tuyến với đường tròn mới có tác dụng gây thay đổi trạng thái chuyển động quay của vật rắn quanh trục Δ.

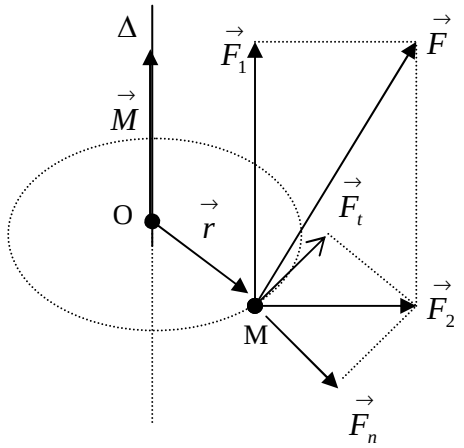
VII.2.Mômen lực $\vec{F}$ đối với trục Δ

Từ thực tế cho thấy: khi ta tác dụng lên một cánh cửa một lực $\vec{F_t}$ càng gần trục quay, thì càng khó thay đổi trạng thái chuyển động quay của cánh cửa. Như vậy sự thay đổi lượng chuyển động quay của cánh cửa phụ thuộc vào hai yếu tố: lực $\vec{F_t}$ và khoảng cách $\vec{r}$ từ lực $\vec{F_t}$ đến trục quay. Hay nói cách khác sự thay đổi lượng chuyển động quay của một vật rắn phụ thuộc vào một đại lương gọi là véctơ mômen lực $\vec{M}$.

Ta có một lực $\vec{F}$ và một trục Δ được chọn trước. Từ điểm đặt M của lực $\vec{F}$ ta vẽ một vòng tròn, sao cho mặt phẳng của vòng tròn vuông góc với trục Δ và tâm O của vòng tròn nằm trên trục Δ. Xem hình vẽ (H.4.8).

Ta phân tích lực $\vec{F}$ thành các thành phần: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_t + \vec{F}_n$

H.4.8



Véctơ mômen $\vec{M}$ của lực $\vec{F}$ đối với trục Δ, được định nghĩa bằng mômen của thành phần lực tiếp tuyến $\vec{F}_t$ đối với điểm O.

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}_t \qquad (4\text{-}18)$$

Véctơ mômen $\vec{M}$ của lực $\vec{F}$ đối với trục Δ:

- Có độ lớn: $M = r.\ F_t$ (4-19)
- Có điểm đặt tại O
- Có phương nằm theo trục Δ
- 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 $\vec{F}_t$, chiều của ngón cái dang ra là chiều của véctơ $\vec{M}$.

Nếu lực $\vec{F}$ và trục Δ đồng phẳng thì mômen của lực $\vec{F}$ đối với trục Δ bằng không .

VIII. Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động toàn bộ hệ

Ta xét một hệ có n chất điểm, định luật Newton thứ hai đối với chất điểm M_i thuộc hệ.

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

Trong đó:

- $\vec{F}_i$ là tổng ngoại lực ngoài hệ tác dụng lên chất điểm M_i

- $\vec{f}_i$ là tổng nội lực của các chất điểm trong hệ tác dụng lên chất điểm M_i

Lấy tổng biểu thức (1) ta được:

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{d\vec{p}_i}{dt}=\sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i+\sum_{i=1}^{n}\vec{f}_i$$

$$\frac{d}{dt}\sum_{i=1}^{n}\vec{p}_i=\sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i+\sum_{i=1}^{n}\vec{f}_i$$

$$\frac{d\vec{P}}{dt}=\vec{F} \qquad (4\text{-}20)$$

Theo (4-5) ta có: $\vec{P}=M\vec{V}_G$

Vậy: $\frac{d\vec{P}}{dt}=\frac{d}{dt}(M\vec{V}_G)=M\frac{d\vec{V}_G}{dt}=M\vec{a}_G=\vec{F}$

Hay: $$M\vec{a}_G=\vec{F} \qquad (4\text{-}21)$$

Với:

- $\vec{P}=\sum_{i=1}^{n}\vec{p}_i=\sum_{i=1}^{n}m_i\vec{v}_i=M\vec{V}_G$: là tổng véctơ động lượng của hệ chất điểm
- $\vec{F}=\sum_{i=1}^{n}\vec{F}_i$:là tổng ngoại lực ngoài hệ tác dụng lên hệ chất điểm.
- $\sum_{i=1}^{n}\vec{f}_i=0$: tổng nội lực bằng không.
- $\vec{a}_G$ là gia tốc của khối tâm G của hệ chất điểm

Biểu thức (4-20) là định lí biến thiên véctơ động lượng của hệ chất điểm.

Nhận xét:

Biểu thức (4-20) và (4-21) là một dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai. Hay định luật Newton thứ hai áp dụng cho hệ chất điểm.

a) Biểu thức $\frac{d\vec{P}}{dt}=\vec{F}$ tương đồng với biểu thức $\frac{d\vec{p}}{dt}=\vec{F}$ của chất điểm

b) Biểu thức $M\vec{a}_G=\vec{F}$ tương đồng với biểu thức $\vec{F}=m\vec{a}$ của chất điểm

IX. Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động quay

IX.1. Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động quay quanh trục Δ

Ta xét một hệ n chất điểm chuyển động quay quanh một trục cố định Δ. Mọi chất điểm của hệ đều chuyển động trên quỹ đạo tròn, có tâm nằm trên trục Δ. Ta có định lí biến thiên mômen động lượng của chất điểm M_i của hệ chất điểm:

$$\frac{d\vec{l_i}}{dt} = \vec{M}_i + \vec{m}_i \qquad (1)$$

Trong đó:

- $\vec{M}_i$ là véctơ mômen của tổng ngoại lực ngoài hệ tác dụng lên chất điểm M_i.
- $\vec{m}_i$ là véctơ mômen của tổng nội lực của các chất điểm của hệ tác dụng lên chất điểm M_i.

Lấy tổng biểu thức (1) ta được:

$$\sum_{i=1}^{n}\frac{d\vec{l_i}}{dt} = \sum_{i=1}^{n}\vec{M}_i + \sum_{i=1}^{n}\vec{m}_i$$

$$\frac{d}{dt}\sum_{i=1}^{n}\vec{l_i} = \sum_{i=1}^{n}\vec{M}_i + \sum_{i=1}^{n}\vec{m}_i$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \qquad (4\text{-}22)$$

Với:

- $\vec{L} = \sum_{i=1}^{n}\vec{l_i} = \sum_{i=1}^{n} I_i\,\vec{\omega}_i$: là tổng véctơ mômen động lượng của hệ chất điểm trong chuyển động quay quanh trục Δ.
- $\vec{M} = \sum_{i=1}^{n}\vec{M}_i$: là tổng véctơ mômen các ngoại lực ngoài hệ tác dụng lên hệ chất điểm.
- $\sum_{i=1}^{n}\vec{m}_i = 0$: Tổng véctơ mômen của nội lực bằng không.
- Biểu thức (4-22) là định lí biến thiên véctơ mômen động lượng của hệ chất điểm trong chuyển động quay quanh trục Δ.

IX.2. Phương trình động lực học của vật rắn trong chuyển động quay quanh một trục cố định Δ

Trường hợp hệ chất điểm là vật rắn thì $\vec{L} = I\,\vec{\omega}$, ta có:

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

$$I\,\vec{\beta} = \vec{M} \qquad (4\text{-}23)$$

Biểu thức (4-23) là phương trình cơ bản của vật rắn trong chuyển động quay quanh một trục cố định Δ.

Nhận xét:

Biểu thức (4-22) và (4-23) là dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai. Hay là dạng toán học khác của định luật Newton thứ hai áp dụng vào hệ chất điểm hay vật rắn trong chuyển động quay quanh một trục cố định Δ.

a) Biểu thức $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$ tương đồng với biểu thức $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$ của chất điểm

b) Biểu thức $I\vec{\beta} = \vec{M}$ tương đồng với biểu thức $\vec{F} = m\vec{a}$ của chất điểm

IX.3. Định luật bảo toàn mômen động lượng

Nếu tổng mômen ngoại lực $\vec{M}$ tác dụng lên hệ bằng không thì tổng mômen động lượng $\vec{L}$ của hệ bảo toàn .

Thực vậy : $$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt}\sum_{i=1}^{n} I_i\vec{\omega}_i = 0$$

Suy ra : $$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n}\vec{l}_i = \sum_{i=1}^{n} I_i\vec{\omega}_i = \overrightarrow{const} \qquad (4\text{-}24)$$

Nếu hệ là vật rắn, ta có:

$$\vec{L} = I\vec{\omega} = \overrightarrow{const} \qquad (4\text{-}25)$$

Ta thấy đối với vật rắn khi véctơ mômen động lượng của vật rắn bảo toàn phương của trục quay luôn luôn định hướng cố định trong không gian.

Tham khảo (đọc thêm)

1/ Định luật bảo toàn véctơ mômen động lượng của vật rắn được ứng dụng trong kỹ thuật làm con quay hồi chuyển (Gyroscope)

Con quay hồi chuyển có thể được sử dụng để làm la bàn con quay, bổ sung hoặc thay thế la bàn từ (trên tàu, máy bay và phi thuyền không gian), để hỗ trợ tính ổn định (kính thiên văn Hubble, xe đạp, xe máy và tàu thuyền, máy bay trực thăng được điều khiển bằng tín hiệu radia hoặc máy bay không người lái)… hoặc được sử dụng làm bộ phận của hệ dẫn đường quán tính, như dùng để định hướng trong khai thác mỏ, hầm lò…

2/ Các bạn Sinh viên tìm hiểu thêm về con quay hồi chuyển trên mạng (tài liệu rất phong phú và có phim minh họa rất hấp dẫn). Google: Ứng dụng con quay hồi chuyển.

Các bạn Sinh viên có thể viết tiểu luận về đề tài: Con quay hồi chuyển

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 4

1/ Khối tâm của hệ chất điểm

$$\sum_{i=1}^{n} m_i \overrightarrow{M_i G} = 0 \qquad (4\text{-}1)$$

2/ Ví trí của khối tâm trong hệ tọa độ OXY

$$\vec{R}_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i \qquad (4\text{-}2)$$

$$X_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i x_i \quad ; \quad Y_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i y_i \quad ; \quad Z_G = \frac{1}{M}\sum_{i=1}^{n} m_i z_i \qquad (4\text{-}3)$$

3/ Véctơ tổng động lượng $\vec{P}$ của hệ chất điểm

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^{n} m_i \vec{v}_i \qquad (4\text{-}4)$$

$$\vec{P} = M\vec{V}_G \qquad (4\text{-}5)$$

4/ Véctơ mômen động lượng $\vec{L}$ của hệ chất điểm

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} \vec{l}_i = \sum_{i=1}^{n} I_i \vec{\omega}_i \qquad (4\text{-}6)$$

5/ Nếu hệ chất điểm là vật rắn.

$$\vec{L} = I\vec{\omega} \qquad (4\text{-}7)$$

6/ Mômen quán tính I của vật rắn đối với trục Δ.

$$\mathrm{I} = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 \qquad (4\text{-}8)$$

7/ Mômen quán tính

a/ Thanh thẳng: $I_G = \frac{1}{12}ML^2$ (4-9)

b/ Vòng tròn hay hình trụ rỗng: $I_G = MR^2$ (4-10)

c/ Đĩa tròn hay hình trụ đặc: $I_G = \frac{1}{2}MR^2$ (4-11)

d/ Quả cầu: $I_G = \frac{2}{5}MR^2$ (4-12)

e/ Định lí Huyghens – Stene

$$I_O = I_G + M d^2 \quad (4\text{-}13)$$

8/. Động năng của vật rắn trong chuyển động tịnh tiến

$$W_d = ½ M v^2 \quad (4\text{-}14)$$

9/ Động năng của vật rắn trong chuyển động quay

$$W_đ = ½ I \omega^2 \quad (4\text{-}15)$$

10/ Động năng của vật rắn trong chuyển động bất kì

$$W_đ = \frac{1}{2} M V_G^2 + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (4\text{-}16)$$

11/ Mômen lực $\vec{F}$ đối với trục Δ : $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F_t}$ (4-17)

12/ Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động toàn bộ hệ.

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} \quad (4\text{-}18)$$

Hay: $M \vec{a_G} = \vec{F}$ (4-19)

13/ Phương trình động lực học của hệ chất điểm trong chuyển động quay quanh trục Δ.

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad (4\text{-}20)$$

14/ Phương trình động lực học của vật rắn trong chuyển động quay quanh một trục cố định Δ

$$I \vec{\beta} = \vec{M} \quad (4\text{-}21)$$

15/ Định luật bảo toàn mômen động lượng

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^{n} \vec{l_i} = \sum_{i=1}^{n} I_i \vec{\omega_i} = \overrightarrow{const} \quad (4\text{-}22)$$

Đối với vật rắn : $\vec{L} = I \vec{\omega} = \overrightarrow{const}$ (4-23)

<u>Bài tập 4.1</u>: Một đĩa tròn được thả lăn không trượt xuống từ một đỉnh gốc cao h = 7,5m. Cho gia tốc trọng trường g =10m/s. Hãy tính vận tốc của tâm đĩa tại chân dốc.

Đáp số : V_G = 10 m/s

<u>Bài tập 4.2</u>:Một đĩa tròn và một người có cùng khối lượng (xem người là một chất điểm) Khi người đứng ở mép đĩa hệ quay quanh trục đĩa với vận tốc góc ω_0 = 20 vòng /phút. Nếu người vào đứng ở tâm đĩa thì hệ quay quanh trục đĩa với vận tốc góc ω bằng bao nhiêu?

Đáp số: ω = 60 vòng/phút

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 4

Câu 1: Một đĩa tròn có khối lượng M và bán kính R lăn không trượt từ đỉnh dốc cao h xuống chân dốc. Vận tốc V_G của tâm đĩa ở chân dốc phụ thuộc vào ?

a) M

b) R

c) h

d) m, R, h

Câu 2: Một khối lập phương trượt không ma sát từ đỉnh dốc cao h xuống tại chân dốc có vận tốc v_1. Một đĩa tròn cũng được thả lăn không trượt từ đỉnh dốc trên xuống tại chân dốc có vận tốc của tâm đĩa là v_2 . Vậy :

a) $v_1 = v_2$

b) $v_1 < v_2$

c) $v_1 > v_2$

d) chưa đủ dữ liệu để so sánh

Câu 3: Một đĩa tròn được thả lăn không trượt từ đỉnh dốc cao h xuống tại chân dốc có vận tốc của tâm đĩa v_1 .Một vòng tròn cũng được thả lăn không trượt từ đỉnh dốc trên xuống tại chân dốc có vận tốc của khối tâm là v_2 . Vậy :

a) $v_1 = v_2$

b) $v_1 < v_2$

c) $v_1 > v_2$

d) chưa đủ dữ liệu để so sánh

Câu 4: Một đĩa tròn có khối lượng M và bán kính R, lăn không trượt từ đỉnh dốc cao h xuống chân dốc. Động năng của đĩa ở chân dốc phụ thuộc vào:

a) M và h

b) M và R

c) R và h

d) M, R, h

Câu 5: Một đĩa tròn lăn không trượt tỉ số giữa động năng quay và động năng toàn phần $\frac{W_{dq}}{W_d}$ bằng:

a) 1/4

b) 1/3

c) 1/2

d) 3/4

Câu 6: Hai đĩa tròn có cùng khối lượng . Đĩa tròn 2 có bán kính lớn gấp hai lần đĩa 1 . Hai đĩa cùng được thả lăn không trượt từ đỉnh dốc cao h xuống chân dốc . Gọi v_1 và v_2 lần lượt là vận tốc của tâm đĩa 1 và đĩa 2 ở chân dốc. Vậy :

a) $v_2 = v_1$

b) $v_2 < v_1$

c) $v_2 = 2v_1$

d) chưa đủ dữ liệu để so sánh

Câu 7: Hai đĩa tròn có cùng bán kính . Đĩa tròn 2 có khối lượng lớn gấp hai lần đĩa 1 . Hai đãi cùng được thả lăn không trượt từ đỉnh dốc cao h xuống chân dốc . Gọi v_1 và v_2 lần lượt là vận tốc của tâm đĩa 1 và đĩa 2 ở chân dốc . Vậy :

a) $v_2 = v_1$

b) $v_2 < v_1$

c) $v_2 = 2v_1$

d) chưa đủ dữ liệu để so sánh

Câu 8: Hai đĩa tròn có cùng khối lượng . Đĩa tròn 2 có bán kính lớn gấp hai lần đĩa 1 . Hai đĩa cùng được thả lăn không trượt từ đỉnh dốc cao h xuống chân dốc . Gọi L_1 và L_2 lần lượt là mômen động lượng của đĩa 1 và đĩa 2 ở chân dốc Vậy :

a) $L_2 = L_1$

b) $L_2 = 2\ L_1$

c) $L_2 = 4L_1$

d) $L_2 = 8L_1$

Câu 9: Gọi I_o và I lần lượt là mômen quán tính của một thanh thẳng đối với trục vuông góc với thanh đi qua khối tâm G và qua mép thanh. Vậy :

a) $I = 2I_o$

b) $I = 3I_o$

c) $I = 4I_o$

d) $I = 5I_o$

Câu 10: Một vòng tròn khối lượng M bán kính R. Gắn lên vòng tròn một quả cầu có cùng khối lượng M. Vậy mômen quán tính I của hệ đối với trục vòng tròn (xem quả cầu là chất điểm):

a) $I = \quad MR^2$

b) $I = 2\ MR^2$

c) $I = 3\ MR^2$

d) $I = 4\ MR^2$

Câu 11: Tìm phát biểu sai trong các phát biểu dưới đây về chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định:

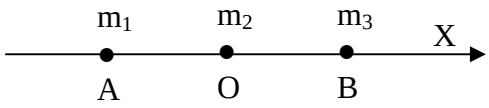
a) mọi điểm của vật rắn có vận tốc góc ω giống nhau

b) mọi điểm của vật rắn có vận tốc dài v giống nhau

c) mọi điểm của vật rắn có gia tốc góc β giống nhau

d) mọi điểm của vật rắn có quỹ đạo hình tròn

Câu 12: Hệ ba chất điểm m_1 = 3 kg và $m_2 = m_3$ = 1 kg , chất điểm m_2 đặt tại gốc O của trục OX. Chất điểm m_1 đặt tại A và m_3 đặt tại B. Với OA = OB = 1m



Khối tâm G của hệ có tọa độ x_G:

a) x_G = -0.8 m

b) x_G = -0.4 m

c) x_G = 0.4 m

d) x_G = 0.8 m

Câu 13: Chọn phát biểu sai về chuyển động tịnh tiến của vật rắn

a) mọi điểm trên vật rắn có vận tốc v giống nhau

b) mọi điểm trên vật rắn có gia tốc a giống nhau

c) mọi điểm trên vật rắn có quỹ đạo hoàn toàn giống nhau

d) có quỹ đạo luôn luôn thẳng

Câu 14: Một con lắc đơn dài l = 1 m. Khối lượng quả nặng m = 1 kg. Cho g = 10 m/s^2. Khi con lắc hợp với phương thẳng đứng một góc $\alpha = 30^o$. Mômen của trọng lực tác dụng lên quả nặng đối với điểm treo có giá trị:

a) M = 5 $m^2.kg.s^{-2}$

b) M = 7 $m^2.kg.s^{-2}$

c) M = 9 $m^2.kg.s^{-2}$

d) M = 11 $m^2.kg.s^{-2}$

Câu 15: Một cái quạt máy đang quay chậm dần. Nếu gắn hệ qui chiếu O vào khối tâm G của quạt thì tổng động lượng $\vec{P}$ của quạt đối với O:

a) $\vec{P} = 0$

b) $\vec{P}$ = const

c) $\vec{P}$ tăng

d) $\vec{P}$ giảm

Câu 16: Một người đang cỡi xe đạp xuống dốc . Vậy tổng động lượng $\vec{P}$ của bánh xe đạp đối với người cỡi xe:

a) $\vec{P} = 0$

b) $\vec{P} = \text{const}$

c) $\vec{P}$ tăng

d) $\vec{P}$ giảm

CHƯƠNG 5: DAO ĐỘNG VÀ SÓNG CƠ

I. Dao động cơ điều hoà

I.1. Dao động tuần hoàn – Hệ dao động – Dao động riêng

Nếu trong một quá trình dao động nào đó có một đại lượng x(t) biến thiên theo thời gian, mà cứ sau một khoảng thời gian T xác định x(t) trở về giá trị cũ, dao động đó được gọi là dao động tuần hoàn, T được gọi là chu kì dao động. Ta có:

$$x(t) = x(t + T)$$

Khi đó biểu thức x(t) được gọi là phương trình dao động.

Số dao động thực hiện trong một đơn vị thời gian gọi là tần số dao động.

$$f = \frac{1}{T} \qquad (5\text{-}1)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) đơn vị tần số là Hz.

Một hệ có khả năng thực hiện dao động gọi là hệ dao động. Dao dộng của một hệ được duy trì bởi nội lực được gọi là dao động riêng, tần số tương ứng gọi là tần số dao động riêng.

I.2. Phương trình dao động cơ điều hoà

Ta có phương trình chuyển động của một chất điểm dao động điều hoà:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}2)$$

Hay: $y = b\sin(\omega t + \varphi)$

Trong đó

- x , y là li độ: độ lệch ra khỏi vị trí cân bằng, đơn vị (m).
- A > 0, b > 0 là biên độ: độ lệch cực đại ra khỏi vị trí cân bằng, đơn vị (m).
- $(\omega t + \varphi)$ là pha dao động tại thời điểm t, đơn vị rad.
- ω là tần số góc, đơn vị rad/s
- φ là pha ban đầu, đơn vị rad.

Dao động điều hoa là dao động đơn giản nhất. Bất cứ một dao động tuần hoàn nào cũng có thể phân tích hay tổng hợp từ các dao động điều hoà .

I.3. Phương trình vi phân của dao động cơ điều hoà

Từ (5-2) suy ra:

$$x'' = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi)$$

Hay : $x'' = -\omega^2 x$

$$x'' + \omega^2 x = 0 \qquad (5\text{-}3)$$

Biểu thức (5-3) là phương trình vi phân của dao động điều hoà . Nghiệm phương trình (5-3) là phương trình (5-2).

I.4. Chu kì và tần số của dao động cơ điều hoà

Từ phương trình (5-2) ta thấy cứ sau một khoảng thời gian:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad (5\text{-}4)$$

- Thì giá trị của x(t) trở về giá trị cũ.
- Vậy T là chu kì của dao động điều hoà.

Tần số của dao động điều hoà:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \qquad (5\text{-}5)$$

<u>Bài tập 5.1</u>: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . T ìm chu kì dao động T của vật.

Đáp số: T = 2 s

<u>Bài tập 5.2</u>: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . T ìm tần số dao động f của vật.

Đáp số: f = 0,5 H_z

<u>Bài tập 5.3</u>: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . Xác định khoảng thời gian t_o vật đi từ vị trí cân bằng ra vị trí biên.

Đáp số: t_o = 0,5 s

<u>Bài tập 5.4</u>: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . Xác định khoảng thời gian t_a vật đi từ vị trí cân bằng O tới vị trí x = 2 cm theo chiều dương .

Đáp số: t_a = 1/6 s

<u>Bài tập 5.5</u>: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . Xác định khoảng thời gian t_c vật đi từ vị trí x = 2cm tới vị trí biên x = 4 cm theo chiều dương.

Đáp số: t_c = 1/3 s

I.5.Vận tốc của vật trong dao động điều hoà :

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$$

$$v = -\omega A\sin(\omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}6)$$

<u>Bài tập 5.6</u>: Một vật dao động điều hòa: x = 5 cos 10t (cm). T ìm vận tốc v của vật khi đi qua vị trí x = 4 cm theo chiều dương.

Đáp số: v = 30 cm/s

I.6. Gia tốc của vật trong dao động điều hoà

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$a = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi)$$

$$a = -\omega^2 x \qquad (5\text{-}7)$$

Câu hỏi:

Một chất điểm M dao động điều hòa trên quỹ đạo thẳng $\overrightarrow{OX}$. Véctơ gia tốc $\vec{a}$ của chất điểm M luôn luôn cùng chiều với $\overrightarrow{OX}$? Đúng hay sai? Giải thích.

I.7. Lực tác động trong dao động điều hoà

Theo định luật Newton tứ hai, ta có:

$$F = ma = -m\omega^2 x$$

Hay: $F = -kx$ (5-8)

Trong đó: $k = m\omega^2$ (5-9)

Với k là hệ số lực hồi phục

Lực tác động trong dao động điều hòa là lực hồi phục. Khi x = 0 thì F = 0 vật ở vị trí cân bằng.

Ta có tần số góc của dao động cơ điều hòa:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad (5\text{-}10)$$

I.8. Cơ năng của vật trong dao động điều hòa

Ta có : $W = W_đ + W_t$

Suy ra động năng của vật:

$$W_đ = W - W_t \qquad (1)$$

Mặt khác: $W_đ = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi)$ (5-11)

$$W_đ = \frac{1}{2}kA^2[1 - \cos^2(\omega t + \varphi)]$$

$$W_đ = \frac{1}{2}kA^2 - ½kA^2\cos^2(\omega t + \varphi)$$

$$W_đ = \frac{1}{2}kA^2 - \frac{1}{2}kx^2 \qquad (2)$$

So sánh (1) và (2) suy ra:

$$W = \frac{1}{2}kA^2 + c_1$$

$$W_t = \frac{1}{2}kx^2 + c_2$$

Trong đó c_1 và c_2 là các hằng số.

Với qui ước:

- Khi vật không dao động A = 0 thì E = 0
- Và lấy gốc thế năng ở vị trí cân bằng O: x = 0, $E_t = 0$.
- Ta suy ra : $c_1 = 0$ và $c_2 = 0$.

Vậy biểu thức cơ năng của vật trong dao động điều hoà:

$$W = \frac{1}{2} kA^2 = const \qquad (5\text{-}12)$$

Thế năng của vật trong dao động điều hoà:

$$W_t = \frac{1}{2} kx^2 \qquad (5\text{-}13)$$

Ta thấy cơ năng dao động điều hoà không đổi và tỷ lệ với bình phương biên độ dao động

<u>Bài tập 5.7</u>: Một chất điểm M dao động điều hòa có phương trình x = 4cos 10 t (cm). Tại vị trí động năng bằng thế năng vận tốc của chất điểm M bằng bao nhiêu ?

Đáp số: v = 28,28 m/s

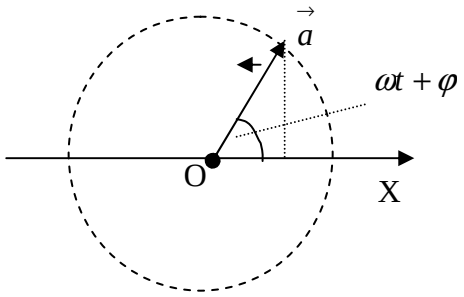
<u>Bài tập 5.8</u>: Một chất điểm M dao động điều hòa: x = 4 cos10t (cm). Chất điểm M có động năng bằng thế năng tại vị trí x bằng bao nhiêu ?

Đáp số: x = 2,8 cm

<u>Bài tập 5.9</u>: Một chất điểm M có khối lượng m = 1kg dao động điều hòa có phương trình: x = 4cos 2 t (m). Công của lực hồi phục khi vật đi từ vị trí cân bằng O ra vị trí biên bằng bao nhi êu ?

Đáp số: A = - 32 J

I.9. Biểu diễn dao động điều hoà bằng véctơ quay

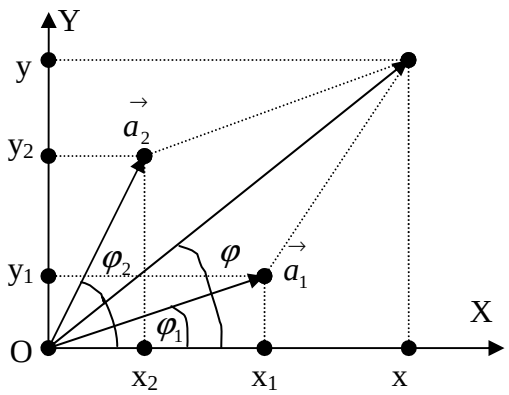


Có thể biểu diễn một dao động điều hoà x = A cos (ω t + φ) bằng véctơ quay $\vec{A}$.

Trên trục $\overrightarrow{OX}$, tại gốc O đặt một véctơ $\vec{A}$ hợp với trục $\overrightarrow{OX}$ một góc φ bằng pha ban đầu của dao động, có độ dài bằng biên độ của dao động, véctơ $\vec{A}$ quay theo chiều dương (ngược chiều kim đồng hồ) với vận tốc góc bằng tần số góc của dao động điều hoà ω.

Khi đó hình chiếu của véctơ $\vec{A}$ xuống trục $\overrightarrow{OX}$ có dạng: x = A cos (ω t + φ)

I.10. Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương cùng tần số



Xét một vật M tham gia đồng thời hai dao động điều hoà cùng phương cùng tần số, nhưng biên độ và pha ban đầu khác nhau.

$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$

$x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$

Chuyển động của M sẽ là tổng hợp hai dao động điều hoà trên.

$x = x_1 + x_2 =$

$= A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) + A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$

Để xác định chuyển động của M ta có thể dùng phương pháp hình học.

Biểu diễn dao động x_1 bằng véctơ $\vec{A}_1$ và dao dộng x_2 bằng véctơ $\vec{A}_2$.

Dao động tổng hợp của M được biểu diễn bằng véctơ $\vec{a}$.

Với: $\vec{A} = \vec{A}_1 + \vec{A}_2$

Vì $\vec{A}_1$ và $\vec{A}_2$ cùng quay chung quanh O cùng vận tốc ω . Nên $\vec{A}$ cũng quay chung quanh O với vận tốc góc ω. Vậy dao động tổng hợp của M là một dao động điều hoà có tần số bằng tần số của các dao động thành phần:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi)$$

Có biên độ:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\Delta\varphi)} \qquad (5\text{-}14)$$

Với: $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)$ là hiệu pha của hai dao động .

Có pha ban đầu:

$$tg\varphi = \frac{y}{x} = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2} \qquad (5\text{-}15)$$

Nếu hai dao động cùng pha: $\Delta\varphi = 2k\pi$. (5-16)

Với: k = 0, ± 1, ±2, ±3, ...

$$A = A_1 + A_2$$

Nếu hai dao động ngược pha: $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$ (5-17)

$$A = |A_1 - A_2|$$

II. Dao động tắt dần

II.1. Hiện tượng

Trong thực tế, khi khảo sát dao động của hệ, không thể bỏ qua các lực ma sát. Do đó năng lượng của hệ không phải là hằng số mà giảm dần theo thời gian. Kết quả biên độ

giảm dần theo thời gian. Dao động có biên độ giảm dần theo thời gian gọi là dao động tắt dần.

II.2. Phương trình của dao động tắt dần

Chỉ xét trường hợp lực cản của môi trường phụ thuộc vận tốc .

$$F_c = -rv = -rx'$$

Trong đó r là hệ số cản của môi trường .

Tổng hợp lực tác dụng lên hệ:

$$F = -kx - rx'$$

Theo định luật Newton thứ hai ta có:

$$m\,a = -kx - rx'$$

$$m\,x'' = -kx - rx'$$

$$m\,x'' + rx' + kx = 0$$

$$x'' + \frac{r}{m}x' + \frac{k}{m}x = 0$$

$$x'' + 2\beta x' + \omega^2 x = 0 \qquad (5\text{-}18)$$

Trong đó $2\beta = r/m$ và $\omega^2 = k/m$.

Biểu thức (5-18) là phương trình vi phân của dao động tắt dần.

Để giải phương trình (5-18) ta đặt:

$$x = u(t)\,e^{-\beta t} \qquad (1)$$

Lấy đạo hàm x theo thời gian:

$$x' = u'e^{-\beta t} - \beta u e^{-\beta t} \qquad (2)$$

$$x'' = u''e^{-\beta t} - 2\beta u' e^{-\beta t} + \beta^2 u e^{-\beta t} \qquad (3)$$

Thế (1) , (2) , (3) vào (5-18) ta được:

$$u'' + (\omega^2 - \beta^2)\,u = 0 \qquad (4)$$

Nếu lực cản của môi trường nhỏ $r << k$ hay $\omega^2 > \beta^2$. Khi đó ta đặt:

$$\Omega^2 = \omega^2 - \beta^2$$

Biểu thức (4) được viết lại.

$$u'' + \Omega^2 u = 0 \qquad (5)$$

Nghiệm của phương trình (5) có dạng:

$$u = A_o \cos(\Omega t + \varphi)$$

Vậy theo (1) phương trình của dao động tắt dần có dạng :

$$x = A_o e^{-\beta t} \cos(\Omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}19)$$

Chu kì của dao động tắt dần:

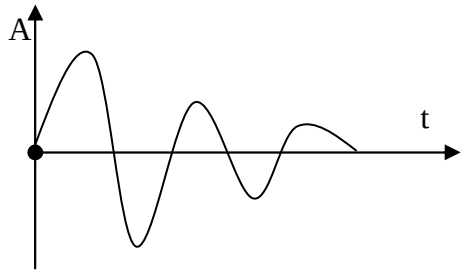
$$T = \frac{2\pi}{\Omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \beta^2}} \qquad (5\text{-}20)$$

Chu kì của dao động tắt dần lớn hơn chu kì của dao động điều hoà.

Biên độ của dao động tắt dần:

$$A = A_o e^{-\beta t} \qquad (5\text{-}21)$$

Biên độ dao động tắt dần giảm theo thời gian theo qui luật hàm mũ .



<u>Bài tập 5.10</u>: Sau thời gian 2s biên độ dao động tắt dần giảm đi 2 lần . Vậy sau thời gian 6s biên độ dao động tắt dần giảm đi mấy lần ?

Đáp số: giảm 8 lần

<u>Bài tập 5.11</u>: Một dao động tắt dần có phương trình dao động : $x = A_o e^{-2t} \cos 2\pi t$. Khi biên độ dao động bằng $A_o e^{-6}$ hệ đã thực hiện mấy chu kì dao động từ thời điểm t = 0.

Đáp số: 3 chu kì

III. Dao động cưỡng bức

III.1 Hiện tượng

Dao động mà hệ thực hiện dưới tác dụng của ngoại lực tuần hoàn gọi là dao động cưỡng bức.

III.2. Phương trình của dao động cưỡng bức

Ngoại lực tuần hoàn: $F_n = H \cos \Omega t$

Tổng hợp lực tác dụng lên hệ:

$$F = -kx - rx' + H \cos \Omega t$$

Theo định luật Newton thứ hai ta có:

$$ma = -kx - rx' + H \cos \Omega t$$

$$mx'' = -kx - rx' + H \cos \Omega t$$

$$mx'' + kx + rx' - H \cos \Omega t = 0$$

$$x'' + 2\beta x + \omega 2x' - h \cos \Omega t = 0 \qquad (5\text{-}22)$$

Trong đó : $2\beta = \dfrac{r}{m}$, $\omega^2 = \dfrac{k}{m}$, $h = \dfrac{H}{m}$

Biểu thức (5-22) là phương trình vi phân của dao động cưỡng bức. Khi dao động cưỡng bức đã ổn định nghiệm của phương trình (5.22) có dạng:

$$x = A \cos(\Omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}23)$$

Biên độ và pha ban đầu của dao động cưỡng bức được xác định như sau:

$$tg\varphi = -\frac{2\beta\Omega}{\omega^2 - \Omega^2} \qquad (5\text{-}24)$$

$$A = \frac{h}{\sqrt{\left(\omega^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\beta^2\Omega^2}} \qquad (5\text{-}25)$$

Ta thấy biên độ của dao động cưỡng bức phụ thuộc vào tần số của ngoại lực tuần hoàn.

III.3. Sự cộng hưởng

Ta đặt: $A = \frac{h}{Y}$

Với $Y = \sqrt{\left(\omega^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\beta^2\Omega^2}$

Biên độ dao động cưỡng bức A đạt giá trị cực đại khi Y đạt giá trị cực tiểu.

Lấy đạo hàm Y theo Ω:

$$\frac{dY}{d\Omega} = \frac{1}{2}\left[-4(\omega^2 - \Omega^2)\Omega + 8\beta^2\Omega\right].\left[(\omega^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2\right]^{-\frac{1}{2}} = 0 \qquad (1)$$

Biểu thức (1) thoã mãn khi:

$$\Omega_c = (\omega^2 - 2\beta^2)^{1/2} \qquad (5\text{-}26)$$

Khi đó : $A_{max} = \frac{h}{2\beta\sqrt{\omega^2 - \beta^2}}$ (5-27)

Tần số xác định theo (5-26) được gọi là tần số cộng hưởng.

Hiện tượng cộng hưởng là hiện tượng biên độ dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại khi tần số của ngoại lực tuần hoàn bằng tần số cộng hưởng.

Nếu hệ số cản của môi trường nhỏ hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi tần số của ngoại lực tuần hoàn bằng tần số riêng ω của hệ.

Khi hệ số cản của môi trường β nhỏ ta có cộng hưởng nhọn, còn khi β lớn ta có cộng hưởng tù.

Câu hỏi:

1) Tần số của dao động cưỡng bức có quan hệ với tần số của ngoại lực tuần hoàn như thế nào?
2) Biên độ A của dao động cưỡng bức có quan hệ với những đại lượng nào của ngoại lực tuần hoàn?
3) Khi hệ số cản của môi trường nhỏ thì tần số cộng hưởng bằng đại lượng nào?

IV. Sóng cơ

IV.1.Một số khái niệm về sóng

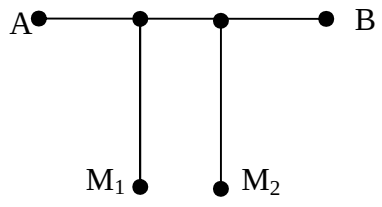
IV.1.1. Qúa trình sóng

Sóng là quá trình lan truyền dao động của phần tử môi trường đàn hồi trong không gian theo thời gian. Như vậy quá trình sóng là quá trình lan truyền năng lượng.

Trong quá trình sóng các phần tử môi trường không lan truyền theo sóng. Sóng cơ không lan truyền trong chân không.

Tham khảo (đọc thêm)

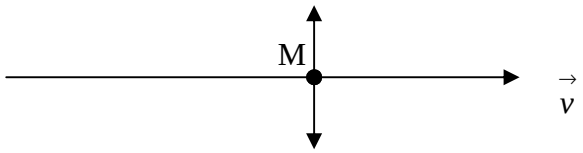
Thí nghiệm khảo sát sự lan truyền dao động



Dùng một sợi chỉ cột căng ngang qua hai điểm A và B. Trên sợi chỉ AB cột hai sợi chỉ thòng xuống và buộc đầu còn lại vào hai vật nhỏ M_1 và M_2 , tạo thành hai con lắc đơn có thể dao động. Khởi động cho con lắc M_1 dao động theo phương vuông góc với mặt phẳng hình vẽ. Sau một lúc sẽ thấy con lắc M_2 dao động theo.

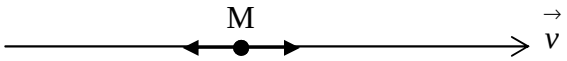
IV.1.2. Sóng ngang

Sóng ngang là sóng có phương dao động của phần tử môi trường vuông góc với phương truyền sóng. Sóng cơ ngang chỉ có thể lan truyền trong môi trường rắn.



IV.1.3. Sóng dọc

Sóng dọc là sóng có phương dao động của phần tư môi trường dọc theo phương truyền sóng. Sóng dọc có thể lan truyền trong môi trường rắn, lỏng hay khí.



IV.1.4. Mặt sóng

Mặt sóng là quỹ tích của những điểm trong không gian có các phần tử dao động cùng pha.

Nếu mặt sóng là mặt cầu ta gọi sóng cầu.

Nếu mặt sóng là mặt phẳng ta gọi sóng phẳng.

IV.1.5. Biên độ và chu kì sóng

Biên độ a chu kì T và tần số f của sóng là biên độ, chu kì và tần số dao động của phần tử môi trường.

IV.1.6. Vận tốc sóng

Vận tốc sóng là khoảng đường sóng truyền đi đươc trong một đơn vị thời gian.Vận tốc sóng phụ thuộc vào bản chất của môi trường.

Trong đa số các trường hợp vận tốc lan truyền sóng trong môi trường rắn lớn hơn trong môi trường lỏng và vận tốc lan truyền sóng trong môi trường lỏng lớn hơn trong môi trường khí.

Trong môi trường rắn vận tốc sóng dọc lớn hơn sóng ngang.

IV.1.7. Bước sóng

Bước sóng λ của sóng là khoảng đường sóng truyền đi được trong một chu kì.

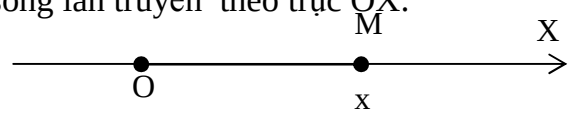
$$\lambda = v.T \qquad (5\text{-}28)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (5\text{-}29)$$

V. Hàm sóng

Hàm sóng là biểu thức toán học diễn tả quá trình sóng.

Xét quá trình sóng lan truyền theo trục OX.



Gọi ψ là độ lệch ra khỏi vị trí cân bằng của phần tử môi trường. Gỉa sử phần tử tại O dao động theo phương trình.

$$\psi = A\cos\omega t$$

Gọi M là điểm bất kì có toạ độ x. Dao động của phần tử tại M có dạng .

$$\psi = A\cos\omega t' \qquad (1)$$

Thời gian sóng truyền từ O đến M là: $T_o = x/v$, với v là vận tốc sóng.

Suy ra:

$$t' = t - T_O = t - x/v$$

Từ (1) suy ra:

$$\psi = A\cos\omega t'$$

$$\psi = A\cos\omega(t - x/v) \qquad (5\text{-}30)$$

$$\psi = A\cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}) \qquad (5\text{-}31)$$

Biểu thức (5-30) và (5-31) là hàm sóng hay phương trình sóng.

Từ phương trình (5-31) ta thấy mọi điểm nằm trên mặt phẳng vuông góc với phương truyền sóng đều cùng pha. Nên biểu thức (5-31) là hàm sóng phẳng.

Nếu sóng truyền theo chiều âm của trục OX thì phương trình sóng có dạng.

$$\psi = A\cos(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda}) \qquad (5\text{-}32)$$

VI. Phương trình vi phân sóng

Từ (5-31) ta suy ra:

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} = \frac{\omega^2}{v^2}\Psi \qquad (1)$$

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2} = \omega^2\Psi \qquad (2)$$

Tứ (1) và (2) suy ra:

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2} = 0 \qquad (5\text{-}33)$$

Biểu thức (5-33) là phương trình vi phân sóng. Nghiệm của (5-33) là phương trình sóng (5-31)

VII. Năng lượng sóng

Khi một sóng lan truyền đến thể tich ΔV sẽ làm cho các phần tử trong thể tích ΔV dao động. Ta biết năng lượng dao động của một phần tử khối lượng m là $E = ½ m\omega^2A^2$.

Khối lượng môi trường trong thể tích ΔV là m = ρΔV. Với ρ là khối lượng riêng của môi trường.

Người ta chứng minh được năng lượng sóng truyền đến thể tích ΔV có dạng:

$$\Delta E = \rho\Delta V\omega^2A^2 \sin^2(\omega t - x\,\omega/v) \qquad (5\text{-}34)$$

Suy ra mật độ năng lượng sóng:

$$w = \frac{\Delta E}{\Delta V} = \rho A^2\omega^2 \sin^2(\omega t - \frac{\omega x}{v}) \qquad (5\text{-}35)$$

Mật độ năng lượng trung bình sóng:

$$\overline{w} = \frac{1}{T} = \int_O^T w dt$$

$$\overline{w} = \frac{1}{2}\rho\omega^2A^2 \qquad (5\text{-}36)$$

VIII. Sóng âm

VIII.1. Sóng âm

Với nghĩa rộng sóng âm là sóng dọc lan truyền trong môi trường rắn, lỏng hay khí .

Với nghĩa thông thường sóng âm là sóng dọc lan truyền trong môi trường không khí mà tai người có thể nghe được với tần số nằm trong khoảng 20Hz đến 20.000Hz.

Sóng âm có tần số nhỏ hơn 20Hz được gọi là hạ âm.

Sóng âm có tần số lớn hơn 20.000Hz được gọi là siêu âm.

Vận tốc sóng âm lan truyền trong không khí ở 20^oC là v = 343m/s , trong nước thông thường ở 20^oC là v = 1482m/s còn trong thép là v = 5941m/s.

VIII.2. Hiệu ứng Dopler

Hiệu ứng Dopler là hiện tượng tần số âm mà máy thu ghi nhận được khác với tần số âm mà nguồn âm phát ra.

Để đơn giản ta xét trường hợp không khí dứng yên đối với mặt đất. Nguồn âm và máy thu cùng chuyển động trên cùng một đường thẳng.

Gọi v_o là vận tốc của âm đối với mặt đất . Nó không phụ thuộc vào trạng thái chuyển động của nguồn âm.

Gọi f_o là tần số của nguồn âm:

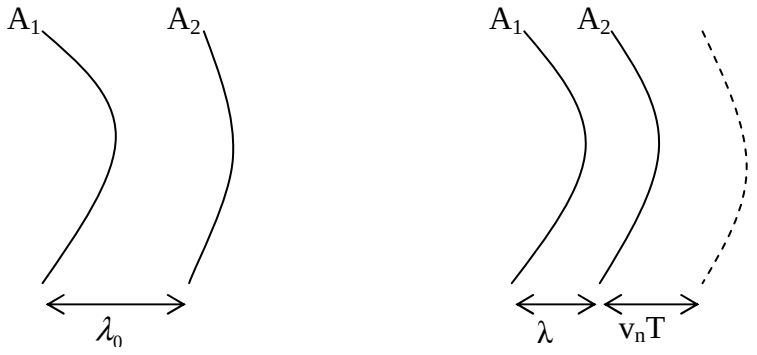
$$f_o = \frac{1}{T} = \frac{v_o}{Tv_o} = \frac{v_o}{\lambda_o} \qquad (5\text{-}37)$$

Với λ_o là bước sóng âm khi nguồn âm đứng yên.

Gọi f là tần số âm mà máy thu ghi nhận được:

$$f = \frac{v}{\lambda} \qquad (5\text{-}38)$$

Trong đó v là vận tốc âm đối với máy thu , λ là bước sóng âm khi nguồn âm chuyển động.



Dễ dàng thấy rằng:

$$\lambda = \lambda_o - v_nT \qquad (5\text{-}39)$$

Với v_n là vận tốc của nguồn âm đối với mặt đất, với qui ước:

$v_n > 0$: nếu nguồn âm chuyển động lại gần máy thu .

$v_n < 0$: nếu nguồn âm chuyển động ra xa máy thu .

Theo công thức tổng hợp vận tốc ta có :

$$v = v_o + v_t \qquad (5\text{-}40)$$

Trong đó v_t là vẫn tốc máy thu đối với mặt đất, với qui ước:

$v_t > 0$: nếu máy thu chuyển động lại gần nguồn âm.

$v_n < 0$: nếu máy thu chuyển động ra xa nguồn âm.

Vậy : $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v+v_t}{\lambda - v_n T} = \frac{v+v_t}{vT - v_n T} = \frac{v+v_t}{(v-v_n)}\frac{1}{T}$

$$f = \frac{v+v_t}{v-v_n} f_o \qquad (5\text{-}41)$$

Nếu nguồn âm và máy thu đứng yên: $f = f_o$

Nếu nguồn âm và máy thu chuyển động lại gần nhau: $f > f_o$

Nếu nguồn âm và máy thu chuyển động ra xa nhau: $f < f_o$

Hiệu ứng Dopler được ứng dụng để chế tạo súng đo tốc độ

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 5

1/ Phương trình dao động cơ điều hoà

$$x = A\cos(\omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}1)$$

2/ Chu kì và tần số của dao động cơ điều hoà

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad (5\text{-}2)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \qquad (5\text{-}3)$$

3/ Vận tốc của vật trong dao động điều hoà

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$$

$$v = -\omega A\sin(\omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}4)$$

4/ Gia tốc của vật trong dao động điều hoà

$$a = -\omega^2 x \qquad (5\text{-}5)$$

5/ Lực tác động trong dao động điều hoà

$$F = -kx \qquad (5\text{-}6)$$

$$k = m\omega^2 \qquad (5\text{-}7)$$

Với k là hệ số lực hồi phục

6/ Cơ năng của vật trong dao dộng điều hoà

$$W = \frac{1}{2}kA^2 = \text{const} \qquad (5\text{-}8)$$

7/ Thế năng của vật trong dao động điều hoà

$$W_t = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (5\text{-}9)$$

8/ Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương cùng tần số

a/ Biên độ dao động tổng hợp

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\Delta\varphi)} \qquad (5\text{-}10)$$

b/ Với $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)$ là hiệu pha của hai dao động

c/ Cùng pha

$$\Delta\varphi = 2k\pi \qquad (5\text{-}11)$$

Với: $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, ...$

d/ Ngược pha:

$$\Delta\varphi = (2k + 1)\pi \qquad (5\text{-}12)$$

9/ Dao động tắt dần

a/ phương trình của dao động tắt dần có dạng:

$$x = A e^{-\beta t} \cos(\Omega t + \varphi) \qquad (5\text{-}13)$$

b/Chu kì của dao động tắt dần

$$T = \frac{2\pi}{\Omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \beta^2}} \qquad (5\text{-}14)$$

c/Biên độ của dao động tắt dần

$$A = A_o e^{-\beta t} \qquad (5\text{-}15)$$

10/ Bước sóng

$$\lambda = v.T \qquad (5\text{-}16)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad (5\text{-}17)$$

11/ Hàm sóng

$$\psi = A\cos(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}) \qquad (5\text{-}18)$$

12/ Phương trình vi phân sóng

$$\frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2} = 0 \qquad (5\text{-}19)$$

13/ Mật độ năng lượng trung bình sóng

$$\overline{w} = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 \qquad (5\text{-}20)$$

14/ Hiệu ứng Dopler

$$f = \frac{v + v_t}{v - v_n} f_o \qquad (5\text{-}21)$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 5

Câu 1: Một vật dao động điều hòa có phương trình $x = 4\cos(\pi t + \pi/2)$ (cm) . Tần số dao động f của vật nhận giá trị nào sau :

a) f = 0,2 H_z

b) f = 0,3 H_z

c) f = 0,4 H_z

d) f = 0,5 H_z

Câu 2: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . Xác định khoảng thời gian t_o vật đi từ vị trí cân bằng ra vị trí biên.

a) t_o = 0,3 s

b) t_o = 0,4 s

c) t_o = 0,5 s

d) t_o = 0,6 s

Câu 3: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm) . Xác định khoảng thời gian t_a vật đi từ vị trí cân bằng O tới vị trí x = 2 cm theo chiều dương.

a) t_a = 1/6 s

b) t_a = 1/5 s

c) t_a = 1/4 s

d) t_a = 1/3 s

Câu 4: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4 cos (π t + π/2) (cm). Xác định khoảng thời gian t_c vật đi từ vị trí x = 2cm tới vị trí biên x = 4 cm theo chiều dương .

a) t_c = 1/6 s

b) t_c = 1/5 s

c) t_c = 1/4 s

d) t_c = 1/3 s

Câu 5: Một vật dao động điều hòa: x = 5 cos10t (cm). Vậy vận tốc của vật khi đi qua vị trí x = 4 cm theo chiều dương:

a) v = 15 cm/s

b) v = 20 cm/s

c) v = 25 cm/s

d) v = 30 cm/s

Câu 6: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4cos 10 t (cm). Tại vị trí động năng bằng thế năng vận tốc của vật có giá trị:

a) v = 10 cm/s

b) v = 20,8 cm/s

c) v = 28,28 cm/s

d) v = 40 cm/s

Câu 7: Một vật dao động điều hòa có phương trình x = 4cos 2 t (m). Tại vị trí biên gia tốc a của vật có giá trị :

a) a = 0

b) a = 8 m/s^2

c) a = 10 m/s^2

d) a = 16 m/s^2

Câu 8: Gọi W_o , W_A và W_B theo thứ tự lần lượt là năng lượng dao động điều hòa của vật tại vị trí cân bằng O, tại vị trí biên A và tại vị trí B là trung điểm của O và A . Hãy chọn phương án đúng:

a) $W_o = W_B = W_A$

b) $W_o < W_B < W_A$

c) $W_o > W_B > W_A$

d) $W_o = 0$ và $W_B < W_A$

Câu 9: Một vật có khối lượng m = 1 kg dao động điều hòa có phương trình : x = 4cos 2 t (m). Công của lực hồi phục khi vật đi từ vị trí cân bằng ra vị trí biên bằng:

a) A = - 32 J

b) A = - 16 J

c) A = 16 J

d) A = 32 J

Câu 10: Phương trình li độ và phương trình vận tốc của vật dao động điều hòa có độ lệch pha:

a) $\Delta\varphi = 0$

b) $\Delta\varphi = \pi/2$

c) $\Delta\varphi = \pi$

d) $\Delta\varphi = 3\pi/2$

Câu 11: Một chất điểm dao động điều hòa: x = 4 cos10t (cm). Chất điểm có động năng bằng thế năng tại vị trí:

a) x = 2 cm

b) x = 2,5 cm

c) x = 2,8 cm

d) x = 3,2 cm

Câu 12: Trong dao động điều hòa li độ x và gia tốc a của vật lệch pha nhau một góc $\Delta\varphi$:

a) $\Delta\varphi = 0$

b) $\Delta\varphi = \pi/2$

c) $\Delta\varphi = \pi$

d) $\Delta\varphi = 3\pi/2$

Câu 13: Biên độ dao động tổng hợp của hai dao động điều hòa cùng phương:

$x_1 = 2\cos(100\pi t + \pi/2)$ (cm) và $x_2 = 2\cos 100\pi t$ (cm)

a) a = 0

b) a = 2 cm

c) a = 2,8 cm

d) a = 4 cm

Câu 14: Chọn phát biểu đúng về chu kì T của dao động tắt dần.

a) T không phụ thuộc vào thời gian

b) T tăng theo thời gian

c) T giảm theo thời gian

d) T nhỏ hơn chu kì dao động điều hòa tương ứng của hệ

Câu 15: Sau thời gian 2s biên độ dao động điều hòa giảm đi 2 lần . Vậy sau thời gian 6s biên độ dao động điều hòa giảm đi mấy lần ?

a) 4 lần

b) 6 lần

c) 8 lần

d) 16 lần

Câu 16: Một dao động tắt dần có phương trình dao động : $x = A_o e^{-2t}\cos 2\pi t$. Chu kì T của dao động tắt dần nhận giá trị nào sau ?

a) T = 1s

b) T = 2s

c) T = 3s

d) T = 4s

Câu 17: Một dao động tắt dần có phương trình dao động : $x = A_o e^{-2t}\mathrm{Cos}2\pi t$. Khi biên độ dao động bằng $A_o e^{-6}$ hệ đã thực hiện mấy chu kì dao động từ thời điểm t = 0 .

a) 1 chu kì

b) 2 chu kì

c) 3 chu kì

d) 4 chu kì

Câu 18: Chọn phát biểu sai về dao động cưỡng bức .

a) dao động cưỡng bức là dao động điều hòa

b) tần số dao động cưỡng bức bằng tần số của ngoại lực tuần hoàn

c) biên độ dao động cưỡng bức phụ thuộc vào tần số của ngoại lực tuần hoàn

d) năng lượng dao động cưỡng bức không phụ thuộc vào tần số của ngoại lực tuần hoàn

Câu 19: Dao động tại hai điểm cách nhau một khoảng d = λ nằm theo phương truyền sóng có độ lệch pha Δφ bằng:

a) $\Delta\varphi = \pi/4$

b) $\Delta\varphi = \pi/2$

c) $\Delta\varphi = \pi$

d) $\Delta\varphi = 2\pi$

Câu 20: Sóng ngang là sóng có phương dao động của phần tử môi trường:

a) nằm ngang

b) thẳng đứng

c) vuông góc với phương truyền sóng

d) trùng với phương truyền sóng

Câu 21: Sóng ngang có thể lan truyền trong môi trường:

a) khí

b) lỏng

c) rắn

d) rắn, lỏng, khí

Câu 22: Sóng dọc là sóng có phương dao động của phần tử môi trường:

a) nằm ngang

b) thẳng đứng

c) vuông góc với phương truyền sóng

d) trùng với phương truyền sóng

Câu 23: Sóng dọc có thể lan truyền trong môi trường :

a) khí

b) lỏng

c) rắn

d) rắn, lỏng, khí

Câu 24: Tai người có thể nghe được sóng âm có tần số ở khoảng nào :

a) từ 20 H_z đến 200 H_z

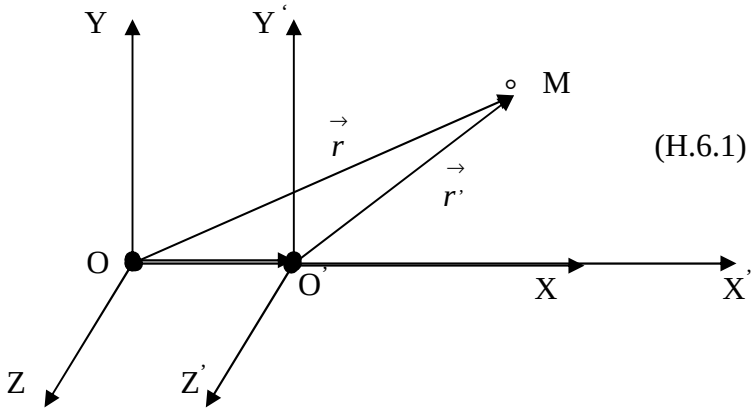
b) từ 20 H_z đến 2.000 H_z

c) từ 20 H_z đến 20.000 H_z

d) từ 20 H_z đến 200.000 H_z

CHƯƠNG 6: CƠ HỌC TƯƠNG ĐỐI EINSTEIN

I. Phép biến đổi Galilei



(H.6.1)

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:

$$\left.\begin{aligned} x &= x' + vt' \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t' \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

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

II. 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.

Tham khảo (đọc thêm)

1/ Chứng minh định luật bảo toàn động lượng trong va chạm đàn hồi giữ hai vật là bất biến qua phép biến đổi Galilei

Ta xét định luật bảo toàn động lượng của hệ hai vật m_1 và m_2 va chạm đàn hồi.

Đối với hệ qui chiếu quán tính O mặt đất ta có:

$$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 \qquad (1)$$

Trong đó:

- $\vec{u}_1$ và $\vec{u}_2$ *: là véctơ vận tốc của m_1 và m_2 đối với* ***hệ qui chiếu quán tính O trước va chạm***
- $\vec{V}_1$ và $\vec{V}_2$ *: là véctơ vận tốc của m_1 và m_2 đối với* ***hệ qui chiếu quán tính O sau va chạm***

Ta gọi :

- *Gọi :* $\vec{u}_1'$ và $\vec{u}_2'$ *: là véctơ vận tốc của m_1 và m_2 đối với* ***hệ qui chiếu quán tính O' trước va chạm.*** *Hệ qui chiếu quán tính O' chuyển động thẳng đều đối với O với véctơ vận tốc* $\vec{v}$
- $\vec{V}_1'$ và $\vec{V}_2'$ *: là véctơ vận tốc của m_1 và m_2 đối với* ***hệ qui chiếu quán tính O' sau va chạm.*** *Hệ qui chiếu quán tính O' chuyển động thẳng đều đối với O với véctơ vận tốc* $\vec{v}$

Theo phép biến đổi Galilei hay phép cộng véctơ vận tốc ta có :

- $\vec{u_1} = \vec{u_1'} + \vec{v}$ và $\vec{u_2} = \vec{u_2'} + \vec{v}$ *(2)*
- $\vec{V_1} = \vec{V_1'} + \vec{v}$ và $\vec{V_2} = \vec{V_2'} + \vec{v}$ *(3)*

Thế (2) và (3) vào (1) ta được:

$$m_1(\vec{u_1'} + \vec{v}) + m_2(\vec{u_2'} + \vec{v}) = m_1(\vec{V_1'} + \vec{v}) + m_2(\vec{V_2'} + \vec{v})$$

Triển khai ta được:

$$m_1\vec{u_1'} + m_2\vec{u_2'} = m_1\vec{V_1'} + m_2\vec{V_2'} \qquad (4)$$

Như vậy dạng toán học của định luật bảo toản động lượng trong hệ qui chiếu quán tính O (1) và dạng toán học của định luật bảo toàn động lượng trong hệ qui chiếu quán tính O' (4) giống nhau (bất biến qua phép biến đổi Galilei)

2/ Chứng minh phương trình sóng điện từ là không bất biến qua phép biến đổ Galilei

*Sinh viên tham khảo sách ở thư viện trường- **Vật lý hiện đại**- Ronald Gautreau - William Savin- Nhà xuất bản Giáo dục –Năm 1996-Bài tập 1.10 - trang 14.*

III. Thuyết tương đối hẹp của Einstein

III.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 dúng 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

III.2.Tiên đề 2

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.

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.

IV. 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/ $O'(x',y',z',t') \rightarrow O(x,y,z.t)$

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \qquad (6\text{-}1)$$

b/ $O(x,y,z.t) \rightarrow O'(x',y',z',t')$

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \qquad (6\text{-}2)$$

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.

Tham khảo (đọc thêm)

1. Xây dựng phép biến đổi Lorentz

Theo phép biến đổi Galilei thì phép biến đổi Lorentz có thể là :

$$x = \alpha(x' + vt') \qquad (a)$$

$y = y'$

$z = z'$

Hay: $x' = \beta(x - vt)$ *(b)*

$y' = y$

$z' = z$

Biểu thức (a) và (b) được viết theo quan điểm của người đứng trong hệ qui chiếu quán tính O đứng yên và hệ qui chiếu quán tính O' chuyển động với O với véctơ vận tốc $\vec{v}$.

Theo tiên đề 1 : Các định luật ***vật lý*** *xảy ra giống nhau trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau. Hai hệ qui chiếu quán tính O và O' tương đương nhau.*

Đối với người đứng trên hệ O' thì O' đứng yên thành O. Còn O chuyển động đối với O' với véctơ vận tốc ngược lại - $\vec{v}$ *và O thành O'.*

Cho nên đối với người đứng trên hệ O' thì hai biểu thức (a) và (b) được viết bằng cách thay $x \to x'$, $x' \to x$, $t \to t'$, $t' \to t$, $v \to -v$.

Biểu thức (a) $\to$ $x' = \alpha(x - vt)$ *và (b)* $\to$ $x = \beta(x' + vt')$

Như vậy từ tiên đề 1 của lý thuyết tương đối ta suy ra : $\alpha = \beta$

Vậy: $x = \alpha(x' + vt')$ *(1)*

$y = y'$

$z = z'$

Hay: $x' = \alpha(x - vt)$ *(2)*

$y' = y$

$z' = z$

Theo tiêu đề 2 của lý thuyết tương đối ta có :

$x = ct$ *(3)*

$x' = ct'$ *(4)*

Vậy: $x.x' = c^2 tt'$ *(5)*

Nhân (1) và (2) theo vế:

$$x.x' = \alpha^2(x - vt).(x' + vt') = \alpha^2\left[x.x' + xvt - vtx' - v^2tt'\right] \qquad (6)$$

Thế (3), (4), và (5) vào (6) ta được:

$$c^2tt' = \alpha^2\left[c^2tt' + cvtt' - cvtt' - v^2tt'\right]$$

$$c^2 = \alpha^2\left[c^2 - v^2\right]$$

Suy ra: $$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (7)$$

Thế (7) vào (1) và (2) ta được:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (8)$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (9)$$

Thế (3) và (4) vào (8) ta suy ra:

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (10)$$

Thế (3) và (4) vào (9) ta suy ra:

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad (11)$$

2. Phương trình sóng điện từ là bất biến qua phép biến đổi Lorentz

*Sinh viên tham khảo sách ở thư viện trường- **Vật lý hiện đại**- Ronald Gautreau - William Savin- Nhà xuất bản Giáo dục –Năm 1996-Bài tập 6.23 - trang 55.*

V. Động học tương đối

V.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': $$v_y = \frac{v'_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1+\frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad \text{(b)}$$

Tương tự ta có: $$v_z = \frac{v'_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1+\frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad \text{(c)}$$

Như vậy từ phép biến đổi Lorentz (6-1) ta dẫn ra được công thức cộng vận tốc theo lí thuyết tương đối như sau:

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1+\frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad v_y = \frac{v'_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1+\frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad v_z = \frac{v'_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1+\frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad \text{(6-3)}$$

Tương tự từ phép biến đổi Lorentz (6-2) ta suy ra:

$$v'_x = \frac{v_x - v}{1-\frac{v.v_x}{c^2}} \qquad v'_y = \frac{v_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v.v_x}{c^2}} \qquad v'_z = \frac{v_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v.v_x}{c^2}} \qquad \text{(6-4)}$$

Chú ý:

Các biểu thức (6-3) 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 (6-4)

<u>Bài tập 6.1 :</u>

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 $v'_y = \frac{v_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v.v_x}{c^2}}$ $\quad v'_z = \frac{v_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1-\frac{v.v_x}{c^2}}$ ta suy ra: $v'_y = 0$, $v'_z = 0$

Theo $v_x^{'} = \dfrac{v_x - v}{1 - \dfrac{v.v_x}{c^2}} = \dfrac{c - v}{1 - \dfrac{v.c}{c^2}} = \dfrac{c - v}{1 - \dfrac{v}{c}} = \dfrac{c - v}{c - v} c = c$

Vậy vận tốc ánh sáng trong hệ O'

$$v^{'} = \sqrt{v_x^{'2} + v_y^{'2} + v_z^{'2}} = \sqrt{c^2 + 0 + 0} = c$$

$$v^{'} = c = 3.10^8\ m/s$$

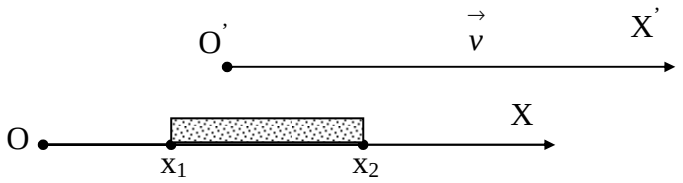
Như vậy vận tốc ánh sánh trên các hệ quán tính khác nhau là giống nhau.

Phép biến đổi Lorentz là phù hợp với tiên đề 2 của lí thuyết tương đối

<u>Bài tập 6.2</u>:

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.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 (6-1) ta có:

$$x_1 = \frac{x_1^{'} + vt^{'}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{(a)}$$

$$x_2 = \frac{x_2^{'} + vt^{'}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{(b)}$$

Từ (a) và (b) ta suy ra:

$$x_2 - x_1 = \frac{x_2^{'} - x_1^{'}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Hay: $$\ell^{'} = \ell\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (6\text{-}5)$$

Vì: $$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} < 1$$

Nên : $\ell^{'} < \ell$

Chiều dài của thanh đo được $\ell^{'}$ 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 (6-5) 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 $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 0,6$

<u>Bài tập 6.3</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 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 $\ell^{'}$ bằng bao nhiêu?

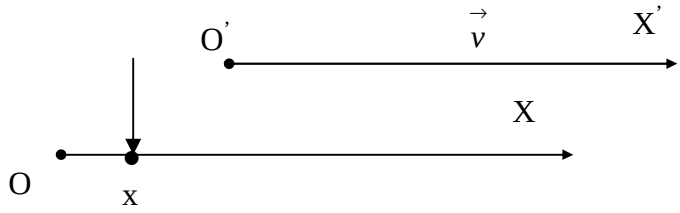
Đáp số: $\ell^{'}$ = 0,6 m

<u>Bài tập 6.4</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 = 0,6c. Một thanh đặt hợp với trục OX

một góc α = 45°. 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.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 (6-2) 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: $$\Delta t = \Delta t' \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad \text{(6-6)}$$

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 Δ t là nhỏ hơn khoảng thời gian Δ 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 xẩy 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 6.5</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.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 (6-2) 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 : $$t_A^{'} - t_B^{'} = \frac{(t_A - t_B) + (x_B - x_A)\,v/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (6\text{-}7)$$

Theo (6-7) 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 : $t_A^{'} \neq t_B^{'}$.

VI. Động lực học tương đối

VI.1.Khối lượng

Theo lý thuyết tương đối khối lượng quán tính m của một vật phụ thuộc vào vận tốc v:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (6\text{-}8)$$

Trong đó:

- m_o là khối lượmg khi v = 0 được gọi là khối lượng nghỉ của hạt.
- m là khối lượng động của hạt. Khối lượng động của hạt là hàm của vận tốc v. Khi vận tốc v tăng khối lượng động m tăng

Nhận xét:

Theo (6-8) nếu v > c thì khối lượng m là đại lượng ảo. Cho nên v > c không tồn tại trong tự nhiên.

Nếu khối lượng nghỉ của hạt $m_0 \neq 0$ thì vận tốc của hạt v < c = 3.10^8 m/s.

Câu hỏi:

Trong tự nhiên có hạt nào có vận tốc v = c =3.10^8 m/s không? Giải thích

<u>Bài tập 6.6</u>:

Tính vận tốc v của một hạt khi m = $2m_o$.

Đáp số: v = $2{,}59.10^8$ m/s

VI.2.Động lượng

Động lượng của vật theo lý thuyết tương đối:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_o \vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (6\text{-}9)$$

VI.3.Phương trình động lực học cơ bản của vật theo lý thuyết tương đối

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad (6\text{-}10)$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (6\text{-}11)$$

VII. Năng lượng theo lý thuyết tương đối

Theo định lý động năng ta có:

$$dA = \vec{F}\, d\vec{s} = dW_d$$

Suy ra : $dW_d = \vec{F}.d\vec{s} = \vec{F}.\vec{v}\, dt$ (1)

Mặt khác theo (6-11): $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$ (2)

Thế (2) vào (1) ta được:

$$dW_d = \vec{v}\,d(m\vec{v}) = \vec{v}(dm.\vec{v} + md\vec{v}) = \vec{v}.\vec{v}\,dm + m\vec{v}\,d\vec{v}$$

$$dW_d = v^2 dm + m\vec{v}\,d\vec{v} \qquad (3)$$

Theo toán học: $\vec{v}.d\vec{v} = v.dv$ (4)

Thế (4) vào (3) ta được:

$$dW_d = v^2 dm + mvdv \qquad (5)$$

Theo (6-8) ta có:

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \Rightarrow \quad m^2 = \frac{m_o^2}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

Hay : $c^2m^2 - v^2m^2 = m_oc^2 = \text{const}$ (6)

Lấy vi phân (6) ta được:

$$2\,c^2m.dm - 2\,m^2v.dv - 2\,v^2m.dm = 0$$

$$\Rightarrow \quad mvdv = \left(c^2 - v^2\right) dm \qquad (7)$$

Thế (7) vào (5) ta được:

$$dW_d = c^2dm \qquad (8)$$

Khi vận tốc v = 0 thì khối lượng chất điểm m_o và động năng $W_đ = 0$. Khi vận tốc của vật bằng v thì khối lượng chất điểm m và động năng $W_đ$.

Lấy tích phân (8): $\int_0^{W_đ} dW_d = c^2 \int_{m_o}^{m} dm$

Ta được động năng theo lý thuyết tương đối:

$$W_d = \left(m - m_o\right) c^2 \qquad (6\text{-}12)$$

Hay : $$W_d = m_oc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1\right) \qquad (6\text{-}13)$$

Theo (6-12) ta có: $W_d = mc^2 - m_oc^2$

Hay: $mc^2 = W_đ + m_oc^2$

Ta đặt: $E = mc^2$

Vậy: $E = W_đ + E_o$

Khi vật đứng yên : $W_đ = 0$

Suy ra: $E = E_o = m_oc^2$ (6-14)

Với E_o được gọi là năng lượng nghỉ của vật.

Khi vật chuyển động năng lượng của vật cộng thêm động năng vào năng lượng nghỉ được gọi là năng lượng toàn phần E

Vậy ta có năng lượng toàn phần của vật theo lí thuyết tương đối

$$E = W_đ + E_o = mc^2 = \frac{m_o c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (6\text{-}15)$$

Câu hỏi:

Hãy chứng minh khi v << c thì từ biểu thức động năng theo lí thuyết tương đối $W_d = m_0 c^2 (\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1)$.

Ta sẽ dẫn ra được biểu thức động năng cổ điển: $W_d = \frac{1}{2} m_o v^2$

<u>Bài tập 6.7</u>:

Một hạt nhân nguyên tử A đứng yên có khối lượng nghỉ m_{oA}, phát ra tia phóng xạ α có khối lượng nghỉ $m_{o\alpha}$ và vận tốc v_α. Sau phóng xạ hạt nhân A biến thành hạt nhân B có khối lượng nghỉ m_{oB} và vận tốc v_B.

Hãy chứng minh theo lí thuyết tương đối: $m_{oA} > m_{o\alpha} + m_{oB}$

<u>Bài tập 6.8</u>:

Tính vận tốc v của hạt khi động năng W_d bằng năng lượng nghỉ E_o

Đáp số: $v = 2{,}59.10^8$

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 6

1/ Phép biến đổi Lorentz

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= \frac{t + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c}}} \end{aligned}\right\} \quad (6\text{-}1) \qquad \left.\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \quad (6\text{-}2)$$

2/ Công thức cộng vận tốc

$$v_x = \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad v_y = \frac{v'_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad v_z = \frac{v'_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v.v'_x}{c^2}} \qquad (6\text{-}3)$$

$$v_x^{'} = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} \qquad v_y^{'} = \frac{v_y\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} \qquad v_z^{'} = \frac{v_z\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{1 - \frac{v.v_x}{c^2}} \qquad (6\text{-}4)$$

3/ Tính tương đối của khoảng không gian

$$\ell = \ell_o\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (6\text{-}5)$$

4/ Tính tương đối của khoảng thời gian

$$\Delta t_o = \Delta t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (6\text{-}6)$$

5/ Tính tương đối của sự đồng thời

$$t_A^{'} - t_B^{'} = \frac{(t_A - t_B) + (x_B - x_A)\, v/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \qquad (6\text{-}7)$$

6/ Khối lượng tương đối

$$m = \frac{m_o}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (6\text{-}8)$$

7/Động lượng tương đối

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_o\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (6\text{-}9)$$

8/ Phương trình động lực học cơ bản

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \qquad (6\text{-}10)$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\frac{d\vec{v}}{dt} \qquad (6\text{-}11)$$

9/Năng lượng theo lí thuyết tương đối

a/ Động năng:

$$W_d = c^2(m - m_o) \qquad (6\text{-}12)$$

b/ Năng lượng nghỉ:

$$E_o = m_o c^2 \qquad (6\text{-}13)$$

c/ Năng lượng toàn phần:

$$E = W_đ + E_o = mc^2 \qquad (6\text{-}14)$$

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 6

Câu 1: Nhà Bác học Einetein đã đưa ra lí thuyết tương đối hẹp vào năm nào?

a) 1900

b) 1905

c) 1910

d) 1915

Câu 2: Gọi N là cơ học Newton và E là cơ học tương đối. Hãy chọn phát biểu đúng nhất:

a) E và N hoàn toàn độc lập nhau

b) E phủ định N

c) E chính xác hơn N

d) E bao hàm cả N

Câu 3: Gọi G là nguyên lí tương đối Galilei và E là nguyên lí tương đối Einstein. Hãy chọn phát biểu đúng nhất:

a) E và G hoàn toàn độc lập nhau

b) E phủ định G

c) E chính xác hơn G

d) E bao hàm cả G

Câu 4: Gọi G là phép biến đổi Galilei và L là phép biến đổi Lorentz. Hãy chọn phát biểu đúng nhất:

a) L và G hoàn toàn độc lập nhau

b) L phủ định G

c) L chính xác hơn G

d) L bao hàm cả G

Câu 5: Cho hai mệnh đề (MĐ):

MĐ1: "Các định luật vật lý giống nhau trên mọi hệ qui chiếu quán tính"

MĐ2: "Các hệ qui chiếu quán tính tương đương nhau"

a) MĐ1 sai MĐ2 đúng và có tương quan

b) MĐ1 đúng MĐ2 đúng và không có tương quan

c) MĐ1 đúng MĐ2 đúng và có tương quan

d) MĐ1 sai MĐ2 sai và không có tương quan

Câu 6: Cho hai mệnh đề (MĐ):

MĐ1: "Vận tốc ánh sáng giống nhau trên mọi hệ qui chiếu quán tính"

MĐ2: "Thời gian trên các hệ qui chiếu quán tính khác nhau là khác nhau"

a) MĐ1 sai MĐ2 đúng và có tương quan

b) MĐ1 đúng MĐ2 sai và không có tương quan

c) MĐ1 đúng MĐ2 đúng và có tương quan

d) MĐ1 đúng MĐ2 đúng và không có tương quan

Câu 7 : Theo cơ học tương đối Einstein đại lượng nào sau đây không phụ thuộc vào hệ qui chiếu quán tính:

a) Khối lượng m

b) Thời gian t

c) Vận tốc ánh sáng c

d) Động năng W_d

Câu 8 : Đối với hệ qui chiếu gắn liền với hạt Mezon μ thì thời gian sống của hạt là $T_o = 2,4.10^{-6}$ s. Hạt Mezon μ chuyển động đối với mặt đất với vận tốc v = 0,8 c, với $c = 3.10^8$ m/s. Vậy khoảng đường d mà hạt Mezon μ đi được đối với mặt đất đến khi phân rã là:

a) d = 576 m

b) d = 960 m

c) d = 470 m

d) d = 1.000 m

Câu 9: Một hạt có khối lượng nghỉ $m_o = 6.10^{-14}$ kg , chuyển động với vận tốc v = 0,8 c, với $c = 3.10^8$ m/s. Vậy động năng W_d của hạt bằng:

a) W_d = 36 J

b) W_d = 360 J

c) W_d = 3.600 J

d) W_d = 36.000 J

Câu 10: Một hạt có khối lượng nghỉ $m_o = 6.10^{-14}$ kg , chuyển động với vận tốc v = 0,8 c, với $c = 3.10^8$ m/s. Vậy năng lượng toàn phần của hạt bằng:

a) E = 9J

b) E = 90 J

c) E = 900J

d) E = 9000 J

CHƯƠNG 7: NHIỆT 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: $T = \beta\overline{W_{\mathrm{d}}} = \beta\frac{1}{2}m\overline{v^2}$.

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.

$$T = t + 273{,}15 \qquad (7\text{-}1)$$

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.

$$p = \frac{F_n}{S} \qquad (7\text{–}2)$$

Trong hệ đơn vị Quốc tế (S.I) 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 (S.I) :

$$1\ \text{mmHg} = 133{,}322\ N/m^2 = 1\ \text{Tor (Torricelli)}$$

$$1\text{atm} = 10{,}1325.10^4\ N/m^2 = 760\ \text{mmHg}.$$

$$1\text{at} = 9{,}81.10^4\ N/m^2 = 736\ \text{mmHg}.$$

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?

Tham khảo (đọc thêm)

Torricelli (1608-1647) - Người Ý

Evangelista Torricelli, người được xem là đã phát minh ra áp kế, đã xây dựng áp kế thủy ngân đầu tiên vào năm 1643

Sau khi đạt được kết quả tối ưu ở trường dòng Faenza, Torricelli đến Roma để theo học các môn khoa học ở trường đại học Sapienza. Tại đây, ông là học trò của Galileo Galilei, ông đã biên soạn một tiểu luận cho rằng: quỹ đạo chuyển động của một vật ném xiên là một đường cong parabol.

Năm 1641, ông tới Florence được nhận làm thư ký kiêm trợ lý cho Galilei lúc bấy giờ đã bị mù. Sau cái chết của Galilei, Torricelli được bổ nhiệm làm Giáo sư toán ở Florence. Năm 1644, ông lấy ống thuỷ tinh có bịt kín một đầu, dài 1 mét, sau khi đổ đầy thuỷ ngân (Hg), dùng ngón tay bịt chặt đầu hở ống, cho vào chậu chứa đầy thuỷ ngân. Cột thuỷ ngân trong ống cao khoảng 760 milimet tính từ mặt thuỷ ngân trong chậu .

1 atm = 760 mmHg là áp suất của cột khí quyển ngang mặt nước biển

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 ?

II. Phương trình trạng thái khí lí tưởng

II.1. 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.2. 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.

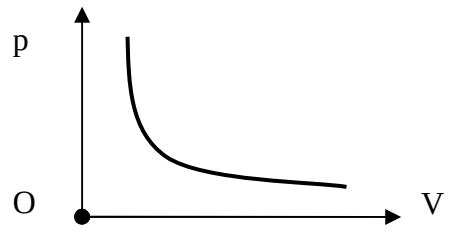
Quá trình đẳng nhiệt là quá trình nén hay dãn khối khí và giữ nhiệt độ không đổi (T = const).

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:

$$pV = const \qquad (7-3)$$

Biểu thức (7-3) 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:

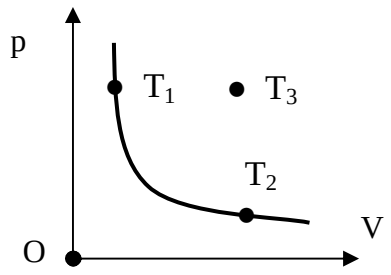
1) Trong quá trình đẳng nhiệt thể tích V và áp suất p của khối khí tỉ lệ nghịch.Trong quá trình nén đẳng nhiệt khí lí tưởng. Nếu thể tích V giảm đi 2 lần thì áp suất p tăng lên 2 lần.Trong quá trình dãn đẳng nhiệt khí lí tưởng. Nếu thể tích V tăng lên 2 lần thì áp suất p giảm xuống 2 lần.
2) Bất cứ chất khí nào chứa trong bình: H_2, N_2, O_2 ….mà tuân theo định luật Boyle – Mariotte (7-3) 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 (7-3) 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.3. 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).

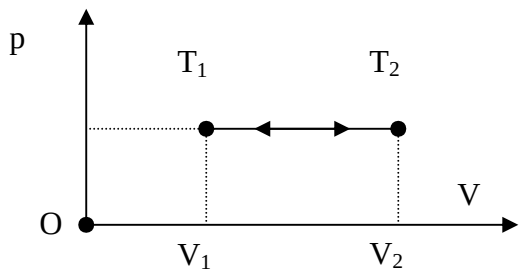
Phát biểu:

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:

$$\frac{V}{T} = const \qquad (7-4)$$

Biểu thức (7-4) 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.4. 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).

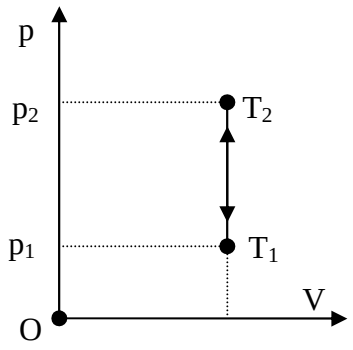
Phát biểu:

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:

$$\frac{p}{T} = const \qquad (7-5)$$

Biểu thức (7-5) 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.



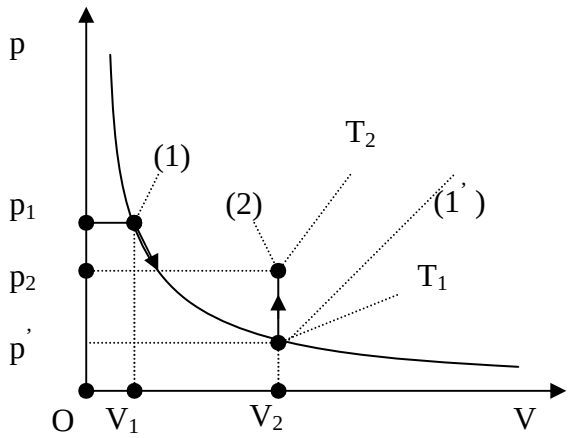
Nhận xét:

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.5. 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 (S.I), đối với một kmol khí lí tưởng, ta xác định được.

$$R = 8{,}31.10^3 \text{ J/kmol.K}$$

Suy ra: $$pV = RT \qquad (7-6)$$

Biểu thức (7-6) 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.

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \qquad (7-7)$$

Trong đó μ là khối lượng của 1 kmol khí

Đặt: $$R = k\,N_a \qquad (7-8)$$

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 (7-7) được viết lại:

$$pV = n\,k\,T \qquad (7-9)$$

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 (7-9) sẽ có cùng số phân tử khí n.

Chú ý:

1) Trong biểu thức (7-7)
   - 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 (7-9) sinh viên hay sai: gọi n là số mol.

Câu hỏi:

Hãy trình bày cách dẫn từ biểu thức (7-7) ra biểu thức (7-9).

<u>Bài tập 7.1</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

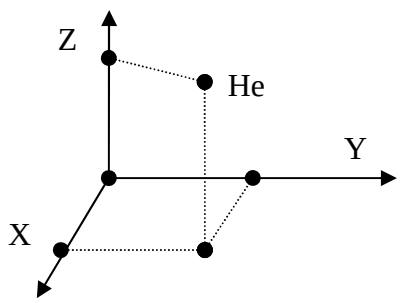
III.2.1. Định nghĩa

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: $i = i_{tt} = 3$

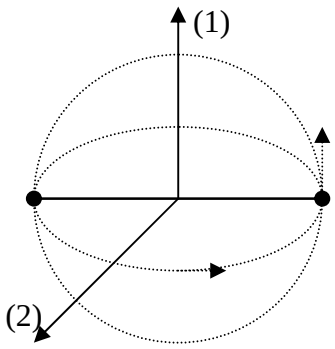


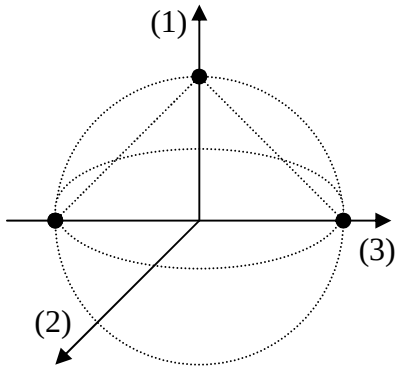
III.2.3. Phân tử hai nguyên tử: H_2, N_2, O_2...

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:

$$\overline{W_i} = \frac{i}{2}kT \qquad (7–10)$$

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 (7-10) 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: $$U = \frac{i}{2}RT \qquad (7\text{-}11)$$

Dễ dàng suy ra nội năng đối với một khối khí bất kì có khối lượng m:

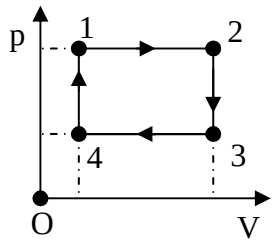
$$U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RT \qquad (7–12)$$

Đơn vị của nội năng là Joule (J)

Nội năng khí lí tưởng còn gọi là nhiệt năng.

<u>Bài tập 7.2</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
4→1 :Quá trình đẳng tích

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

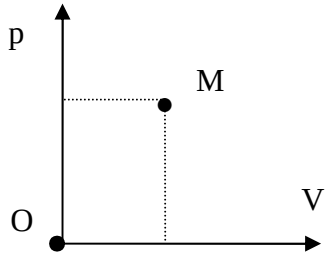
IV.1. Hệ nhiệt động

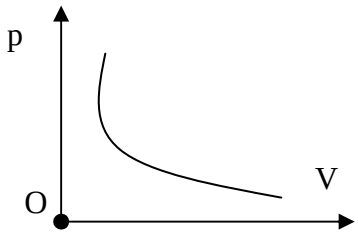
Hệ nhiệt động là một tập hợp chất được giới hạn trong một khoảng không gian nhất định. Ví dụ: một khối khí lí tưởng chứa trong một bình có thể tích V.

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). 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: $$\int_{(c)} dU = 0 \qquad (7-13)$$

Biểu thức (7–13) 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

V.2.1. Công vi phân

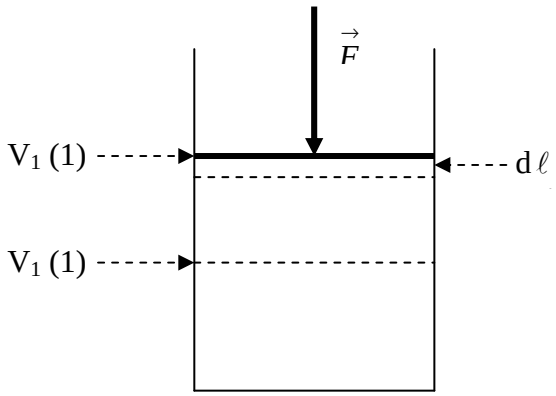
Công A là phương thức mà hệ trao đổi năng lượng với bên ngoài thông qua sự nén hay dãn piston.

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: $\delta A = -\,pdV$ (7 – 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:

$$\int_{(c)} \delta A \neq 0$$

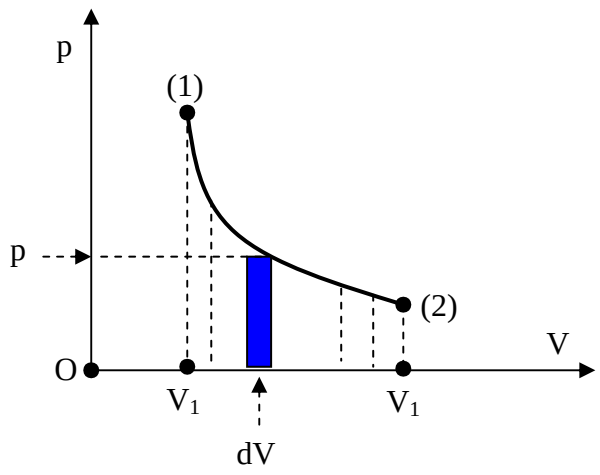
V.2.2 Công trong quá trình cân bằng

Nếu piston dịch chuyển một doạn dài từ (1) đến (2) thì công trong quá trìng cân bằng (1→ 2) được tính theo:

$$A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV \qquad (7 - 15)$$

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).

$$S = \int_{V_1}^{V_2} pdV \qquad \text{(a)}$$

So sánh (a) với (7-15) 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).

$$A = -A' \qquad (7-16)$$

V.2.4.Chứng minh công là hàm quá trình

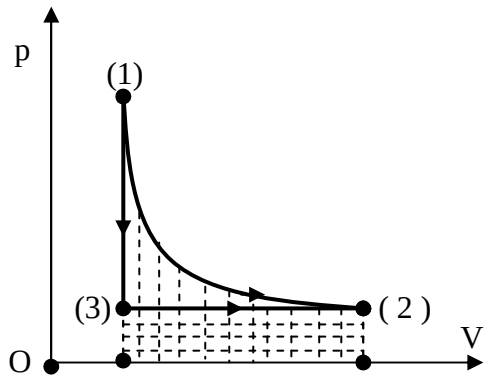
Dễ dàng chứng minh được **công là hàm quá trình**

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.

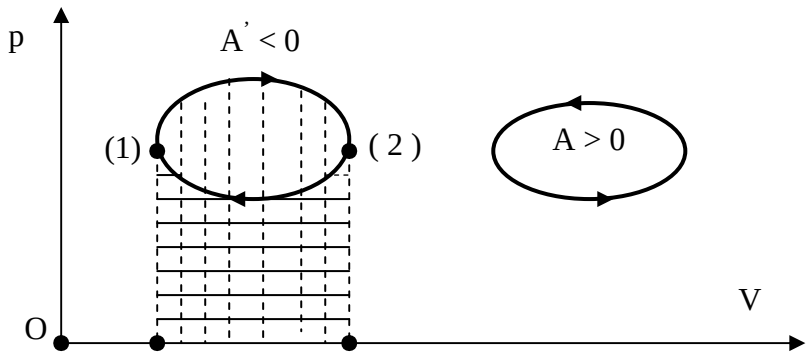
Nếu hệ đi từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) theo quá trình đẳng tích (1-3) và quá trình đẳng áp (3-2) thì công A_{132} được diễn tả bằng diện tích phần gạch ngang.

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:

$|A_{121}| = |A_{12}| - |A_{21}|$ = 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 (S.I) 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:

$$c = \frac{\delta Q}{m dT} \qquad (7–17)$$

Hay: $$Q = c\, m\, dT \qquad (7– 18)$$

Nhiệt lượng cung cấp cho 1kmol chất tăng lên 1K được gọi là nhiệt dung phân tử.

$$C = \mu c \qquad (7 - 19)$$

Trong đó μ khối lượng của 1kmol chất .

Vậy: $$\delta Q = C\frac{m}{\mu}dT \qquad (7 – 20)$$

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.

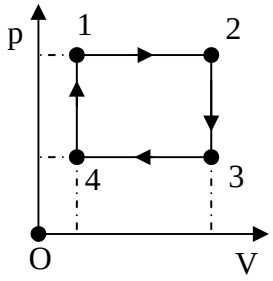
$$\Delta U = A + Q \qquad (7 – 21)$$

Trong quá trình vi phân:

$$dU = \delta A + \delta Q \qquad (7 – 22)$$

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 tập7.3</u>: Một hệ nhiệt động là một khối khí lí tưởng thực hiện theo một chu trính (12341) như hình vẽ



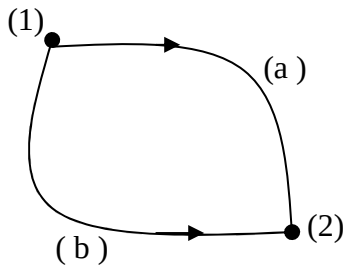
Quá trình đẳng áp 1→2 có áp suất $p_2 = 4.10^3$ N/m^2
Quá trình đẳng tích 2→3 có thể tích $V_2 = 6$ lít
Quá trình đẳng áp 3→4 có áp suất $p_1 = 2.10^3$ N/m^2
Quá trình đẳng tích 4→1 có thể tích $V_1 = 3$ lít
Hãy tính nhiệt trong chu trình (12341)

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):

$\Delta U = U_2 - U_1 = A_a + Q_a$

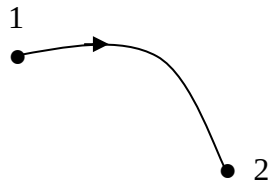
Áp dụng nguyên lí thứ nhất cho quá trình (1 b 2):

$\Delta U = U_2 - U_1 = A_b + Q_b$

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 dấu

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 $Q = -A$ (7-23a)

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 $Q = -A$ (7-23b)

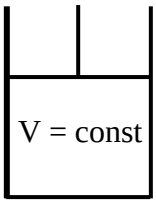
Công nhận vào bằng nhiệt tỏa ra hay nhiệt nhận vào bằng công sinh ra.

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 bằnh không.

3/ Nhiệt trong quá trình đẳng tích

Theo nguyên lí thứ nhất (7-21) ta có nhiệt Q trong quá trình đẳng tích .

$$\Delta U = A + Q$$

Vì trong quá trình đẳng tích công $A = 0$

Nên: $Q = \Delta U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\Delta T$ (7- 24)

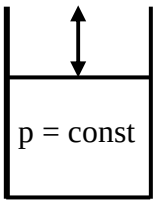
Suy ra nhiệt dung đẳng tích:

$$C_V = \frac{i}{2}R \qquad (7\text{-}25)$$

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.

$$A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV = -p\int_{(V_1)}^{(V_2)} dV = p(V_1 - V_2)$$

$$A_{12} = p(V_1 - V_2) \qquad (7\text{-}26)$$

$$A_{12} = -p\Delta V \qquad (7\text{–}27)$$

3/ Nhiệt trong quá trình đẳng áp

Từ nguyên lí thứ nhất ta có nhiệt Q trong quá trình đẳng áp:

$$Q = \Delta U - A = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RdT + p\Delta V \qquad (1)$$

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:

$$Q = \frac{m}{\mu}\left(\frac{i}{2}+1\right)R\Delta T \qquad (7\text{-}28)$$

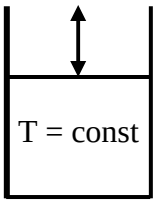
Suy ra nhiệt dung đẳng áp:

$$C_p = \left(\frac{i}{2}+1\right)R \qquad (7\text{-}29)$$

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:

$$A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV \qquad (1)$$

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:

$$A_{12} = \frac{m}{\mu}RT\,\ell n\frac{V_1}{V_2} \qquad (7-30)$$

Theo định luật Boyle – Mariotte: $V_1p_1 = V_2p_2$

Vậy: $$A_{12} = \frac{m}{\mu}RT\,\ell n\frac{p_2}{p_1} \qquad (8-31)$$

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:

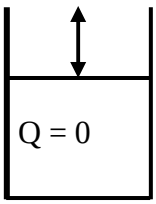
$$\Delta U = A + Q = 0$$

Suy ra nhiệt trong quá trình đẳng nhiệt.

$$Q = -A = \frac{m}{\mu}RT\,\ell n\frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu}RT\,\ell n\frac{p_1}{p_2} \qquad (8-32)$$

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 :

$$A = \Delta U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\Delta T \qquad (8-33)$$

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 (7 –14) và (7 – 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: $$TV^{(\gamma-1)} = const \qquad (7-34)$$

Biểu thức (7-34) là phương trình đoạn nhiệt.

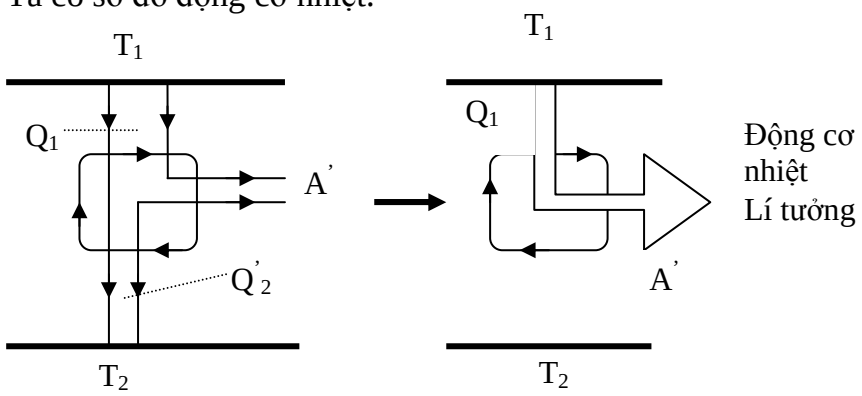
<u>Bài tập 7.4</u> : Một bình cách nhiệt được chia ra làm hai phần bằng một vách ngăn. Phần 1 có thể tích V_1 chứa khí lí tưởng, ở nhiệt độ T_1. Phần 2 có thể tích V_2 ở trạng thái chân không. Tạo một lỗ nhỏ trên vách ngăn, khí lí tưởng sẽ dãn nở từ phần 1 sang phần 2. Xác định nhiệt độ T của khối khí 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.



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.

$$\eta = \frac{|A'|}{|Q_1|} \qquad (7-35)$$

Theo nguyên lí thứ nhất của nhiệt động học : $|A'| = |Q_1| - |Q'_2|$. Suy ra:

$$\eta = 1 - \frac{|Q'_2|}{|Q_1|} \qquad (7-36)$$

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.

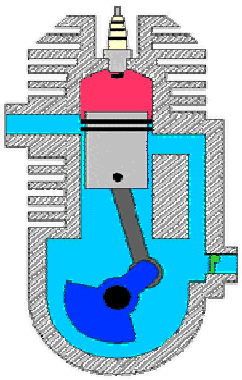
Động cơ lí tưởng có hiệu suất $\eta = 1$.

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: $\eta < 1$



Tham khảo:

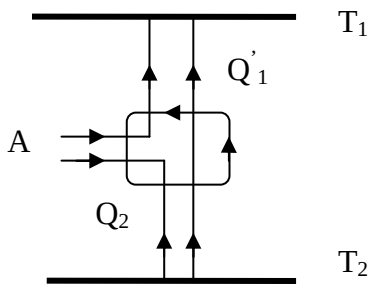
Động cơ nhiệt *là những động cơ trong đó một phần nhiệt lượng của nhiên liệu bị đốt cháy chuyển hóa thành công.*

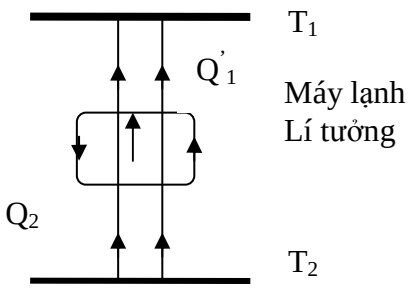
Các động cơ nhiệt đầu tiên là máy hơi nước, chúng có đặc điểm chung là nhiên liệu (củi, than, dầu ...) được đốt cháy ở bên ngoài xi lanh của động cơ.

Hằng trăm năm sau khi máy hơi nước ra đời mới xuất hiện động cơ đốt trong, là động cơ nhiệt mà nhiên liệu được đốt cháy ngay ở bên trong xi lanh.

Động cơ nhiệt được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay, bao gồm từ những động cơ chạy bằng xăng hoặc dầu ma dút của xe máy, ô tô, máy bay, tàu hỏa, tàu thủy ...

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:

$$e = \frac{|Q_2|}{|A|} \qquad (7–37)$$

Với: $|A| = |Q'_1| - |Q_2|$

Vậy: $$e = \frac{|Q_2|}{|Q_1^{'}| - |Q_2|} \qquad (7–38)$$

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

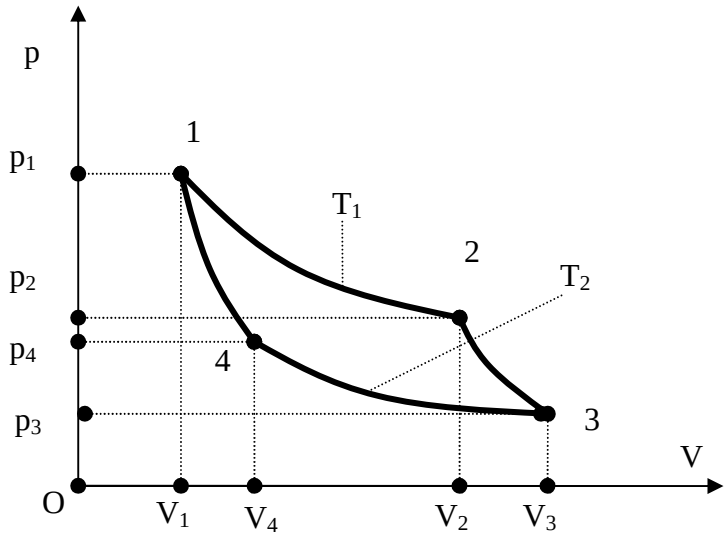
VIII.1. Chu trình Carnot

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 (7-36) ta có hiệu suất động cơ nhiệt:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2^{'}|}{|Q_1|} \qquad (1)$$

Trong quá trình đẳnh nhiệt (1→ 2) theo (7-32) 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 (7-34) 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:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (7-39)$$

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 (7-38):

$$e = \frac{|Q_2|}{|Q'_1| - |Q_2|} \qquad (1)$$

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:

$$e = \frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1} \qquad (7\text{-}40)$$

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

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.

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

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:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (7\text{-}41)$$

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.

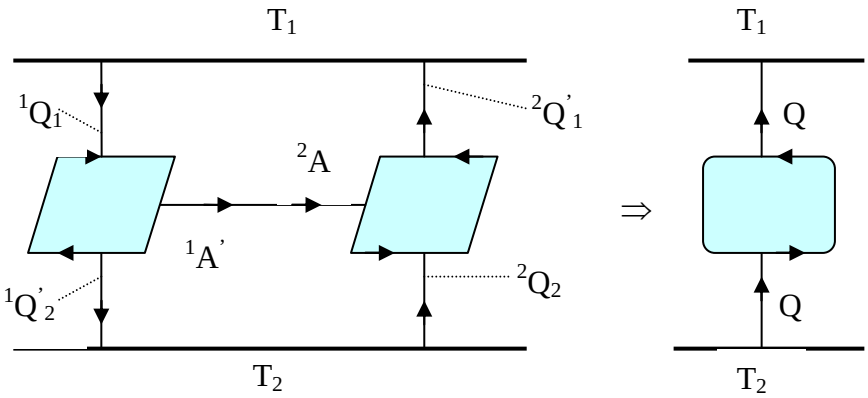
$$\eta \le \eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (7\text{-}42)$$

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

Tham khảo (đọc thêm)

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:

$$\eta_1 = \frac{|{}^1A'|}{|{}^1Q_1|}$$

Hiệu suất của động cơ 2:

$$\eta_2 = \frac{|{}^2A'|}{|{}^2Q_1|}$$

**** 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:

$$\left|{}^1Q_1\right| \langle \left|{}^2Q_1\right| = \left|{}^2Q_1^{'}\right| \qquad (3)$$

Từ (2) và (3) suy ra:

$$\left|{}^1Q_1\right| - \left|{}^1Q_2^{'}\right| = \left|{}^2Q_1^{'}\right| - \left|{}^2Q_2\right|$$

Hay: $\left|{}^2Q_2\right| - \left|{}^1Q_2^{'}\right| = \left|{}^2Q_1^{'}\right| - \left|{}^1Q_1\right| = Q \rangle 0$

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 nhuồn 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 tạ.

**** 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 họ. 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 tưởn.

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.

$$\eta \le 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

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.

<u>Bài tập 7.5</u>:

Bạn là một nhà đầu tư. Một nhà sáng chế đưa cho bạn một bản thiết kế chế tạo một động cơ nhiệt có cách thông số sau:

- Trong một chu trình nó lấy từ nguồn nóng T_1 = 415K một nhiệt lượng Q_1 = 110.10^3 kJ
- Trong một chu trình nó tỏa cho nguồn lạnh T_2 = 212K một nhiệt lượng $Q_2^{'}$ = 50.10^3 kJ

- Trong một chu trình nó sinh một công $A' = 16,7$ kWh (1kWh = 3600 kJ)

  Bạn có đầu tư chế tạo động cơ nhiệt này không? Giải thích

IX.3. Biểu thức định lượng của nguyên lí thứ hai

Ta có hiệu suất của động cơ nhiệt:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2'|}{|Q_1|}$$

Theo định lí Carnot:

$$\eta \le \eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Ta suy ra: $1 - \frac{|Q_2'|}{|Q_1|} \le 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Với $Q_2 = -Q_2'$ là nhiệt lượng hệ nhận vào từ nguồn nhiệt T_2 .

Vậy: $1 + \frac{Q_2}{Q_1} \le 1 - \frac{T_2}{T_1}$

Hay: $\frac{Q_2}{Q_1} \le -\frac{T_2}{T_1}$

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} \le 0 \qquad (7-43)$$

Suy rộng ra nếu trong một chu trình hệ tiếp xúc với n nguồn nhiệt.

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{T_i} \le 0 \qquad (7-44)$$

Suy rộng ra nếu trong một chu trình hệ tiếp xúc với nhiều nguồn nhiệt biến thiên liên tục.

$$\int_{(c)} \frac{\delta Q}{T} \le 0 \qquad (7-45)$$

Trong đó (=) ứng với chu trình thuận nghịch và (<) ứng với chu trình không thuận nghịch.

Các biểu thức (7 – 43) , (7- 44) và (7- 45) là biểu thức toán học định lượng của nguyên lí thứ hai.

IX.4. Hàm Entropi S

Đối với chu trình thuận nghịch ta có biểu thức định lượng của nguyên lí thứ hai nhiệt động lực học:

$$\int_{(c)} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

Ta đặt: $dS = \frac{\delta Q}{T}$ (7 – 46)

Ta viết lại: $$\int_{(c)} dS = 0 \qquad (1)$$

Theo tính chất của hàm trạng thái trong biểu thức (1) đại lượng S là một hàm trạng thái, được gọi là hàm Entropi.

Đơn vị của hàm Entropi S là J/K

Lấy tích phân (7 – 46) đối với **quá trình thuận nghịch** (1 → 2):

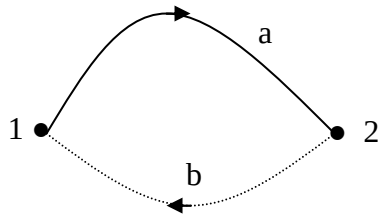
$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \qquad (2)$$

Vì hàm Entropi S là hàm trạng thái, nên ΔS chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu (1) và trạng thái cuối (2) mà không phụ thuộc vào đường cong quá trình (1 → 2).

Đối với chu trình **không thuận nghịch** theo (7-45) ta có:

$$\int_{(c)} dS < 0 \qquad (3)$$

Giả sử ta có một chu trình không thuận nghịch (1a2b1) gồm hai quá trình: (1a2) thuận nghịch và (2b1) không thuận nghịch.



Theo (3) ta có :

$$\int_{(1a2)} dS + \int_{(2b1)} dS < 0$$

Hay: $$\int_{(2b1)} dS < -\int_{(1a2)} dS = \int_{(2a1)} dS = \Delta S$$

Như vậy đối với quá trình **không thuận nghịch** (1 → 2) ta có:

$$\Delta S > \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \qquad (4)$$

Kết kợp (2) và (4) ta được:

$$\Delta S \geq \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} \qquad (7-47)$$

Đối với quá trình vi phân:

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \qquad (7\text{-}48)$$

Trong đó:

- Dấu bằng (=) ứng với quá trình thuận nghịch
- Dấu lớn hơn (>) ứng với quá trình không thuận nghịch

Các biểu thức (7 – 47) và (7 – 48) là biểu thức toán học định lượng của nguyên lí thứ hai nhiệt động học theo hàm Entropi S.

IX.5. Phát biểu nguyên lí thứ hai của nhiệt động học theo Entropi

Đối với hệ cô lập ($\delta Q = 0$) theo (7-48): dS $\geq \frac{\delta Q}{T}$ ta có: $dS \geq 0$. Do các quá trình thực xảy ra trong thực tế là quá trình không thuận nghịch, nên:dS > 0. Vậy:

Entropi của một hệ cô lập luôn luôn tăng, khi hệ ở trạng thái cân bằng thì Entropi dạt giá trị cực đại và không đổi.

Như vậy chiều diễn biến của các quá trình xảy ra trong thực tế theo chiều tăng của Entropi .

Đối với **hệ không cô lập**:

- Nếu hệ nhận nhiệt Entropi tăng.
- Nếu hệ toả nhiệt Entropi giảm.
- Trong quá trình đoạn nhiệt Entropi không đổi.

Câu hỏi:

1) Trong quá trình đoạn nhiệt Entropi của hệ tăng, giảm hay không đổi. Giải thích
2) Trong quá trình nén đẳng nhiệt Entropi của hệ tăng, giảm hay không đổi. Giải thích
3) Trong quá trình dãn đẳng nhiệt Entropi của hệ tăng, giảm hay không đổi. Giải thích
4) Trong quá trình dãn đẳng áp Entropi của hệ tăng, giảm hay không đổi. Giải thích
5) Trong quá trình nén đẳng áp Entropi của hệ tăng, giảm hay không đổi. Giải thích

X. Ý nghĩa thống kê của Entropi

X.1. Trạng thái vĩ mô của hệ

Trạng thái vĩ mô của hệ là trạng thái được xác định bởi các thông số vĩ mô: thể tích V, áp suất p, nhiệt độ T …, mà không quan tâm đến chi tiết của từng phân tử.

X.2. Trạng thái vi mô của hệ

Trạng thái vi mô của hệ là trạng thái được xác định bởi sự phân bố khác nhau của các phân tử trong không gian, tức quan tâm đến chi tiết từng phân tử.

X.3. Trọng số thống kê

a b c d		
I	II	W
	a b c d	1
a b c d	b c d a c d a b d a b c	4
a b a c a d b c b d c d	c d b d b c a d a c a b	6

Trọng số thống kê W là số trạng thái vi mô ứng với một trạng thái vĩ mô. Giả sử trong một bình có chứa 4 phân tử: a, b, c ,d.

Ta chia tưởng tượng bình làm hai phần, phần (I) bên trái và phần (II) bên phải.

- Ở trạng thái vĩ mô: (0 – 4) có W =1
- Ở trạng thái vĩ mô: (1 – 3) có W = 4
- Ở trạng thái vĩ mô: (2 – 2) có W = 6
- Tương tự ở trạng thái vĩ mô:
- Ở trạng thái vĩ mô: (3 – 1) có W = 4
- Ở trạng thái vĩ mô: (4 – 0) có W = 1

Như vậy ở trạng thái cân bằng (2 – 2) có trọng số thống kê cực đại W = 6

X.4. Ý nghĩa thống kê của Entropi:

Entropi S là một hàm trạng thái đặc trưng cho **mức độ hỗn loạn của phân tử**, được Boltzmann định nghĩa:

$$S = k \ln W \qquad (7 – 49)$$

Trong đó:

- $k = 1,38 .10^{-23}$ J/K là hằng số Boltzmann
- W là trọng số thống kê không có đơn vị
- Khi W = 1 thì S = 0 . Điều này tương ứng với trường hợp các phân tử hoàn toàn đứng yên và nhiệt độ T = 0K. Trường hợp này không bao giờ xảy ra trong thực tế

CÔNG THỨC VẬT LÝ CHƯƠNG 7

1/ Khí lí tưởng

a/ Nhiệt độ: $T(K) = t(^0C) + 273,15$ (7-1)

b/Phương trình trạng thái khí lí tưởng

- $pV = \frac{m}{\mu}RT$ (7 – 2)
- Hằng số khí lí tưởng : $R = 8,31.10^3$ J/kmol.K
- $pV = n\,k\,T$ (7– 3)

c/ Năng lượng chuyển động nhiệt trung bình của các phân tử

- $\overline{W_i} = \frac{i}{2}kT$ (7– 4)
- Hằng số Boltzmann: $k = 1,38.10^{-23}$ J/K

d/ Nội năng khí lí tưởng:

- $U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}RT$ (7– 5)
- $U = \frac{i}{2}pV$ (7-6)

2/ Công A

a/ Công vi phân: $\delta A = -pdV$ (7 – 7)

b/ Công tích phân: $A_{12} = -\int_{(V_1)}^{(V_2)} pdV$ (7 – 8)

3/ Nguyên lí thứ nhất nhiệt động học

a/ Biểu thức toán học của nguyên lí thứ nhất

$$\Delta U = A + Q \quad (7-9)$$

Trong quá trình vi phân

$$dU = \delta A + \delta Q \quad (7-10)$$

b/ Công và nhiệt trong quá trình đẳng tích: V = const

- Công: $A = 0$
- Nhiệt: $Q = \Delta U = \frac{m}{\mu}\frac{i}{2}R\Delta T$ (7- 11)

c/ Công và nhiệt trong quá trình đẳng áp: p = const

- Công: $A_{12} = -p\Delta V$ (7 – 12)
- Nhiệt: $Q = \frac{m}{\mu}(\frac{i}{2}+1)R\Delta T$ (7- 13)

d/ Công và nhiệt trong quá trình đẳng nhiệt: T= const

- Công: $A_{12} = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{V_1}{V_2}$ (7 – 14)

- Nhiệt: $Q = \frac{m}{\mu} RT \ell n \frac{V_2}{V_1}$ (7 – 15)

e/ Công và nhiệt trong quá trình đoạn nhiệt-Đẳng Entropi : S = const

- Công: $A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$ (7 – 16)

- Nhiệt: Q = 0

4/ Động cơ nhiệt và máy lạnh

a/Hiệu suất động cơ nhiệt:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_2^{'}|}{|Q_1|} \quad (7\text{-}17)$$

b/ Hiệu suất máy lạnh:

$$e = \frac{|Q_2|}{|Q_1^{'}| - |Q_2|} \quad (7 - 18)$$

c/ Định lí Carnot

Hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (7\text{-}19)$$

- Hiệu suất động cơ nhiệt chạy theo chu trình Carnot thuận nghịch là giới hạn lí thuyết lớn nhất của mọi động cơ nhiệt.

$$\eta \le \eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (7\text{-}20)$$

- Trong đó (=) ứng với quá trình thuận nghịch và (<) ứng với quá trình không thuận nghịch.

5/ Nguyên lí thứ hai của nhiệt động học

a/ Biểu thức toán học của nguyên lí thứ hai theo hàm Entropi

$$dS \ge \frac{\delta Q}{T} \quad (7\text{-}21)$$

Trong đó:

- Dấu bằng (=) ứng với quá trình thuận nghịch .
- Dấu lớn hơn (>) ứng với quá trình không thuận nghịch .

b/ Ý nghĩa thống kê của Entropi**:** Entropi S là một hàm trạng thái đặc trưng cho mức độ hỗn loạn của phân tử, được Boltzmann định nghĩa:

$$S = k \ln W \quad (7 - 22)$$

Trong đó:

- $k = 1,38 .10^{-23}$ J/K là hằng số Boltzmann
- W là trọng số thống kê không có đơn vị

CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM CHƯƠNG 7

Câu 1: Khi nhiệt độ khối khí tăng lên hai lần thì áp suất tăng lên hai lần. Vậy khối khí đang thực hiện quá trình nào?

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 2: Khi nhiệt độ khối khí tăng lên hai lần thì thể tích tăng lên hai lần. Vậy khối khí đang thực hiện quá trình nào?

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 3: Khi thể tích khối khí tăng lên hai lần thì áp suất giảm hai lần. Vậy khối khí đang thực hiện quá trình nào?

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 4: Đường đẳng nhiệt là đường:

a) thẳng

b) cong

c) parabol

d) hyperbol

Câu 5: Đường đẳng áp là đường:

a) thẳng

b) cong

c) parabol

d) hyperbol

Câu 6: Có 28 kg khí N_2 chứa trong bình thể tích $V = 1\ m^3$, nhiệt độ $t = 27\ ^oC$. Khối khí có áp suất p bằng :

a) $p = 2493\ N/m^2$

b) $p = 24930\ N/m^2$

c) $p = 2493.10^2\ N/m^2$

d) $p = 2493.10^3\ N/m^2$

Câu 7: Một khối khí chứa trong bình thể tích v = 3 lít , áp suất $p = 138\ .10^3\ N/m^2$, ở nhiệt độ $t = 27\ ^oC$. Vậy số phân tử khí ở trong bình là n nhận giá trị nào sau :

a) $n = 10^{20}$

b) $n = 10^{23}$

c) $n = 10^{24}$

d) $n = 10^{25}$

Câu 8: Một Kmol khí có thể tích V = 3 lít, áp suất $p = 831\times10^6\ N/m^2$. Cho dãn nở đẳng áp thể tích tăng lên hai lần . Vậy nhiệt độ của khối khí sau dãn nở:

a) T = 300 K

b) T = 400 K

c) T = 500 K

d) T = 600 K

Câu 9: Tỉ số động năng chuyển động quay trên động năng chuyển động nhiệt trung bình của phân tử N_2 là:

a) 1/2

b) 2/5

c) 2/3

d) 3/4

Câu 10: Tỉ số động năng chuyển động tịnh tiến trên động năng chuyển động nhiệt trung bình của phân tử N_2 là:

a) ½

b) 3/5

c) 2/3

d) 3/4

Câu 11: Tỉ số động năng chuyển động quay trên động năng chuyển động tịnh tiến trung bình của phân tử N_2 là:

a) ½

b) 2/5

c) 2/3

d) 3/4

Câu 12: Năng lượng chuyển động nhiệt tịnh tiến chiếm bao nhiêu phần trăm trong năng lượng chuyển động nhiệt của phân tử CO_2:

a) 20%

b) 30%

c) 40%

d) 50%

Câu 13: Chọn biểu thức sai đối với một kmol khí lí tưởng:

a) $pV = RT$

b) $pV = kN_AT$

c) $U = \frac{i}{2}pV$

d) $U = \frac{i}{2}kT$

Câu 14: Một khối khí O_2 có thể tích V = 4 lít và áp suất $p = 3.10^3$ N/m^2. Khối khí có nội năng U:

a) U = 15 J

b) U = 20 J

c) U = 30 J

d) U = 35 J

Câu 15: Trong quá trình đẳng tích nội năng U của khối khí lí tưởng:

a) Không đổi

b) Tăng

c) giảm

d) có thể tăng hay giảm tùy theo áp suất p

Câu 16: Trong quá trình dãn đẳng áp nội năng của khối khí:

a) không đổi

b) tăng

c) giảm

d) có thể tăng hay giảm

Câu 17: Một hệ khi công A nhận vào bằng nhiệt Q' tỏa ra. Vậy hệ đang thực hiện quá trình nào:

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 18: Một hệ khi nhiệt nhận vào Q bằng công sinh ra A' . Vậy hệ đang thực hiện quá trình nào:

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 19: Một hệ nhiệt động thực hiện theo một chu trình kín thì:

a) công bằng không

b) nội năng tăng

c) nội năng giảm

d) công nhận vào bằng nhiệt tỏa ra

Câu 20: Một hệ khi nhiệt Q nhận vào bằng độ tăng nội năng ΔU của hệ. Vậy hệ thực hiện quá trình nào ?

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 21: Một hệ khi nhiệt Q' tỏa ra bằng độ giảm nội năng của hệ . Vậy hệ thực hiện quá trình nào ?

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 22: Một hệ khi nhiệt nhận vào làm tăng nội năng và sinh công. Vậy hệ thực hiện quá trình nào ?

a) đẳng nhiệt

b) đẳng áp

c) đẳng tích

d) đoạn nhiệt

Câu 23: Trọng số thống kê W của hệ đặc trưng gì cho hệ ?

a) năng lượng chuyển động nhiệt của hệ

b) trạng thái vi mô của hệ

c) số trạng thái vi mô của hệ

d) số trạng thái vi mô của hệ ứng với một trạng thái vĩ mô

Câu 24: Hàm Entropi S đặc trưng gì cho hệ ?

a) trang thái vi mô của hệ

b) số trạng thái vi mô

c) năng lượng chuyển động nhiệt hỗn loạn của hệ

d) mức độ hỗn loạn của hệ

Câu 25: Nếu hàm Entrôpi S = 0 thì trọng số thống kê W bằng:

a) W = 0
b) W = 1
c) W = 10
d) W = 100

Câu 26: Trong một hệ cô lập Entropi S của hệ ?

a) S cực tiểu
b) S không đổi
c) S có thể tăng hay giảm
d) S tăng , khi hệ cân bằng đạt giá trị cực đại và không đổi

Câu 27: Gọi S và W lần lượt là Entropi và trọng số thống kê của một hệ cô lập ở trạng thái cân bằng. Phương án nào sau đúng ?

a) S và W cực đại
b) S và W cực tiểu
c) S cực đại và W cực tiểu
d) S cực tiểu và W cực đại

Câu 28: Trong quá trình nén cách nhiệt một chất khí Entrôpi S của hệ ?

a) không đổi
b) tăng
c) giảm
d) có thể tăng hay giảm tùy theo chất khí

Câu 29: Trong quá trình dãn đẳng nhiệt Entrôpi S của khối khí ?

a) có thể tăng hay giảm tùy theo chất khí
b) không đổi
c) tăng
d) giảm

Câu 30: Khi một khối khí nhận nhiệt thì phương án nào sau luôn luôn đúng:

a) nhiệt độ tăng
b) thể tích tăng
c) áp suất tăng
d) Entrôpi tăng

ĐÁP ÁN CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 1

1-a	2-d	3-d	4-a	5-c	6-a
7-d	8-c	9-d	10-c	11-b	12-d
13-c	14-a	15-a	16-c	17-d	18-c

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 2

1-d	2-a	3-d	4-a	5-c	6-c	7-c
8-a	9-a	10-d	11-d	12-c	13-b	14-b

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 3

1-c	2-b	3-c	4-b	5-d	6-b
7-b	8-c	9-b	10-c	11-a	12-d

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 4

1-c	2-c	3-c	4-a	5-b	6-a	7-a	8-b
9-c	10-b	11-b	12-b	13-d	14-a	15-a	16a

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 5

1-d	2-c	3-a	4-d	5-d	6-c
7-d	8-a	9-a	10-b	11-c	12-c
13-c	14-a	15-c	16-a	17-c	18-d
19-d	20-c	21-c	22-d	23-d	24-c

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 6

1-b	2-d	3-d	4-d	5-c
6-c	7-c	8-b	9-c	10-d

Đáp án câu hỏi trắc nghiệm Chương 7

1-c	2-b	3-a	4-d	5-a	6-d	7-b	8-a	9-b	10-b
11-c	12-d	13-d	14-c	15-d	16-b	17-a	18-a	19-d	20-c
21-b	22-b	23-d	24-d	25-b	26-d	27-a	28-a	29-c	30-d

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. A.X.Kompanheetx, Giáo trình vật lý lí thuyết, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1981.
2. Bùi Trọng Tuân, Vật lý phân tử và nhiệt học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1999.
3. Cao Long Vân,Vật lý đại cương, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2008.
4. David Halliday, Cơ Sở vật lý (6 tập), Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1998.
5. Đào Văn Phúc, Lịch sử Vật lý học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1999.
6. Đặng Hùng, Vật lý kỹ thuật, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2005.
7. H.Wichmann, Vật lý lượng tử, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1981.
8. I.V.Xavaliev, Giáo trình Vật lý đại cương, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1988.
9. Lê Nguyên Long, Vật lý-Công nghệ-Đời sống, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2003.
10. Lương Duyên Bình, Vật lý đại cương (3 tập), Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2003.
11. Jean-Marie Brébec, Điện Từ học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2001.
12. Nguyễn Hữu Xí, Cơ học, Nhà xuất bản Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Năm 1985.
13. Nguyễn Hữu Mình, Cơ Học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1998..
14. Nguyễn Xuân Chánh, Vật lý ứng dụng trong đời sống hiện đại, Nhà xuất bản Trẻ, Năm 2009.
15. Nguyễn Xuân Chánh, Vật lý với khoa học và công nghệ hiện đại, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2003.
16. Nguyễn Tứ, Sự tiến triển của công nghệ, Nhà xuất bản Trẻ, Năm 2007.
17. Nguyễn Đình Thắng, Giáo trình vật liệu điện, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 2007.
18. Nguyễn Hữu Đức, Vật liệu từ cấu trúc nano và điện tử học spin, Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia Hà Nội. Năm 2003.
19. Ronald Gautreau, Vật lý hiện đại, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1997.
20. Stephen Hawking, Lược sử thời gian, Nhà xuất bản Trẻ, Năm 2007.
21. Vũ Thanh Khiết, Điện học, Nhà xuất bản Giáo dục, Năm 1992.