

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Tài liệu tham khảo:

1. Physics Classical and modern

Frederick J. Keller, W. Edward Gettys,
Malcolm J. Skove

McGraw-Hill, Inc. International Edition 1993.

2. R. P. Feynmann

Lectures on introductory Physics

3. I. V. Savelyev

Physics. A general course, Mir Publishers 1981

4. Vật lý đại cương các nguyên lý và ứng dụng,
tập I, II, III. Do Trần ngọc Hối chủ biên

Các trang Web có liên quan:

<http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Physics/>

<http://nsdl.exploratorium.edu/>

Bài giảng có trong trang:

[*http://iep.hut.edu.vn*](http://iep.hut.edu.vn)

load bài giảng về in thành tài liệu cầm tay,
khi nghe giảng ghi thêm vào!

Bài mở đầu

- **Tài liệu học** : Vật lý đại cương: Dùng cho khối các trường ĐH kỹ thuật công nghiệp (LT&BT)
Tập I : Cơ, nhiệt học. *Tập II*: **Điện, Từ, Dao động & sóng**. *Tập III*: Quang, Lượng tử, VL nguyên tử, hạt nhân, chất rắn.
- Cách học: **Lên lớp LT**; mang theo tài liệu cầm tay, nghe giảng, ghi thêm vào tài liệu.
- **Về nhà**: Xem lại bài ghi, hiệu chỉnh lại cùng tài liệu -> Làm bài tập.
- Lên lớp BT **bắt đầu từ tuần 3** SV lên bảng, thầy **kiểm tra vở** làm bài ở nhà. -> Điểm QT hệ số 0,3.

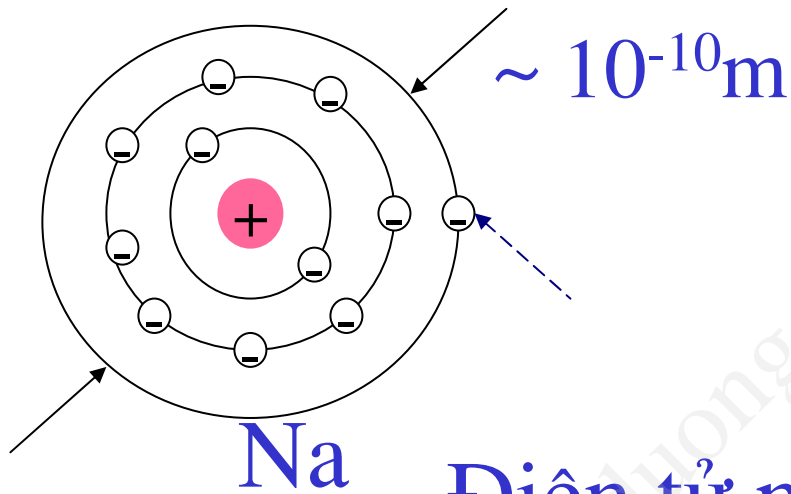
- Thí nghiệm: **Đọc tài liệu TN trước**, kiểm tra xong mới được vào phòng TN, Sau khi đo được số liệu phải trình thầy và được thầy chấp nhận.
- Làm đợt 1: Từ tuần É
- Tài liệu: Liên hệ BM VLDC tầng 2 nhà D3.
 - Hoàn chỉnh bài này mới được làm tiếp bài sau
- Cuối cùng phải **bảo vệ TN**
 - ' Nếu SV không qua được TN, không được dự thi.
- Thi: 15 câu trắc nghiệm (*máy tính chấm*) + 2 câu tự luận, **rọc phách** (*thầy ngẫu nhiên chấm*)
Mỗi người 1 đề . Điểm thi hs 0,7
- Điểm quá trình hệ số 0,3.

1. Đối tượng và phương pháp vật lý học

- Nghiên cứu các dạng vận động của thế giới vật chất, thế giới tự nhiên
- Ăng-ghen: vận động bao gồm mọi biến đổi xảy ra trong vũ trụ từ dịch chuyển đơn giản đến tư duy.
- Vật lý học là môn khoa học tự nhiên nghiên cứu **các dạng vận động** tổng quát nhất của thế giới vật chất: những **đặc trưng tổng quát**, các **quy luật tổng quát về cấu tạo và vận động của vật chất**

Cấu tạo vật chất:

Vi mô: phân tử, nguyên tử $\sim 10^{-10}\text{m}$.



Điện tử $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$,
 $-e = -1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$

Thế giới vi mô, vĩ mô;

Vật chất tồn tại: lỏng rắn khí & Trường

Các bước nghiên cứu:

1. Quan sát bằng giác quan hoặc máy móc.
2. Thí nghiệm định tính, định lượng.
3. Rút ra các định luật vật lý: thuộc tính, mối liên hệ.
4. Giải thích bằng giả thuyết.
5. Hệ thống các giả thuyết ->Thuyết vật lý
6. ứng dụng vào thực tiễn

==> Phương pháp qui nạp

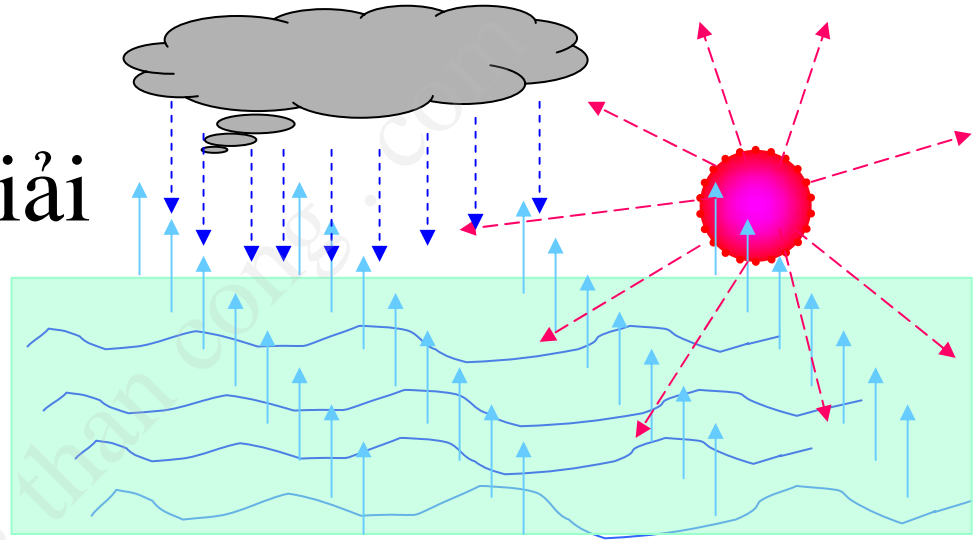
Phương pháp diễn dịch: các tiên đề -> mô hình->định lý, lý thuyết-> So sánh với kết quả thực nghiệm.

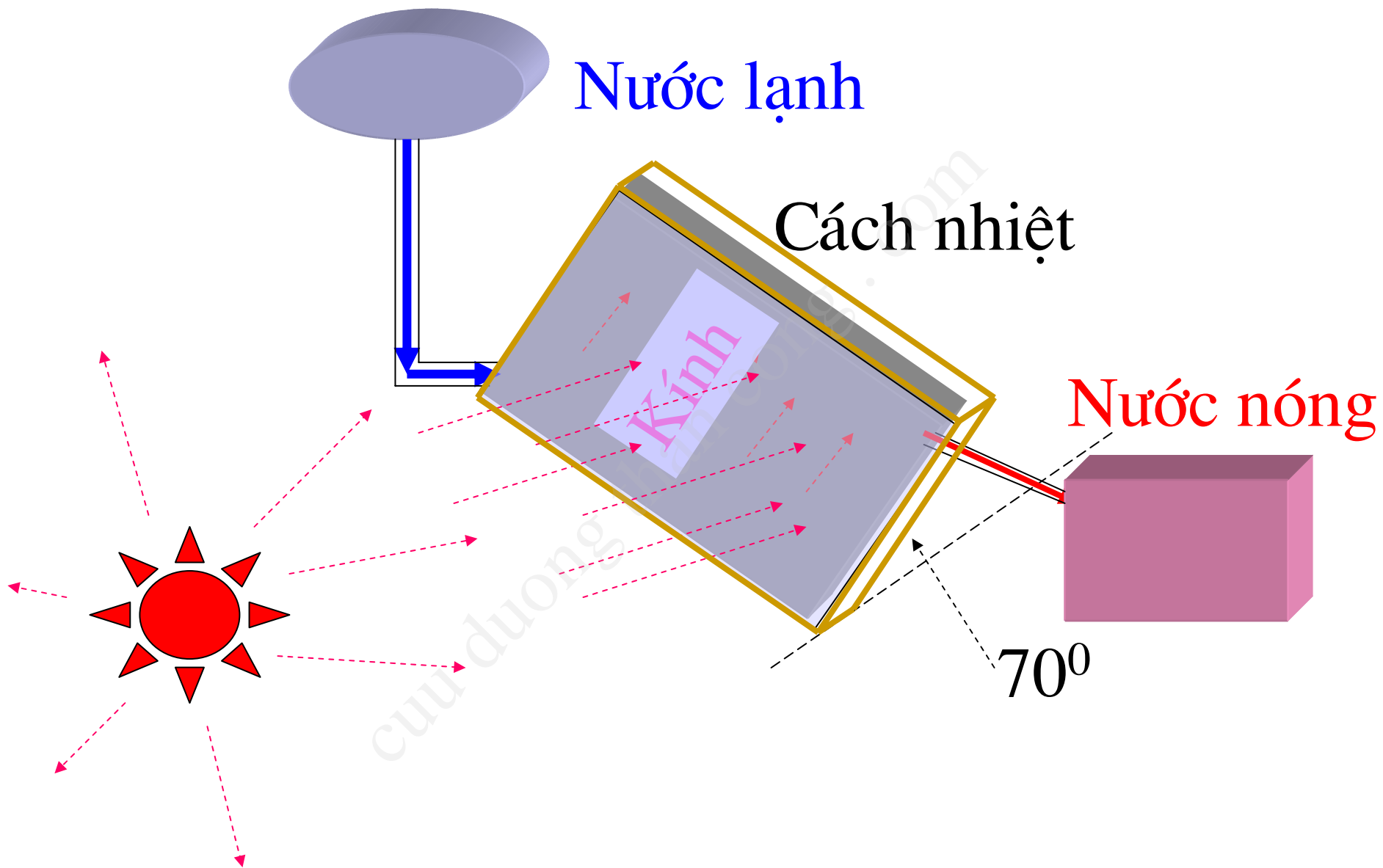
Vật lý là cơ sở cho các ngành khoa học khác.

Sự phát triển của các ngành khác tạo điều kiện cho VL phát triển

Những vấn đề cần giải quyết:

- Năng lượng
- Vật liệu mới
- Công nghệ mới
- Tin học phát triển xâm nhập và hỗ trợ các ngành khoa học khác





Mục đích học Vật lý:

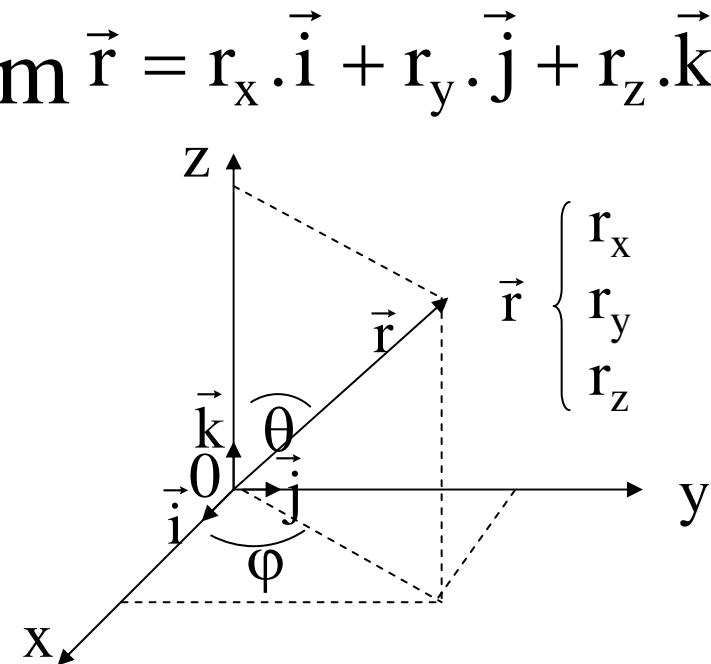
- Kiến thức cơ bản cho SV để học các môn khác
- Tư duy, suy luận khoa học
- Xây dựng thế giới quan khoa học

2. Các đại lượng vật lý: thuộc tính của một đối tượng VL

- đại lượng vô hướng: giá trị, âm dương
- Đại lượng hữu hướng: Điểm đặt, phương, chiều, độ lớn

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2}$$

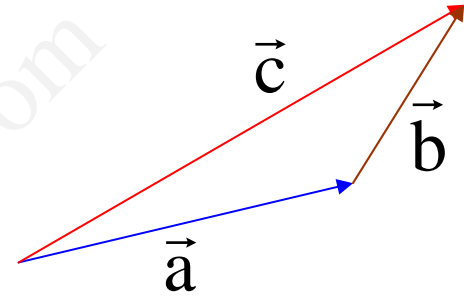
Toạ độ của véc tơ



Các phép tính đại lượng véc tơ: Hoàn toàn như trong giải tích véc tơ và đại số

Phép cộng

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



$$\vec{r} \begin{cases} r_x \\ r_y \\ r_z \end{cases}$$

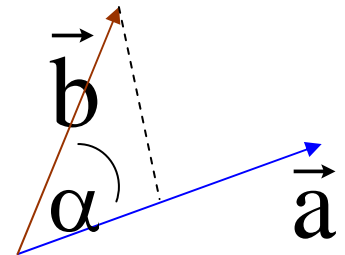
$$c_x = a_x + b_x$$

$$c_y = a_y + b_y$$

$$c_z = a_z + b_z$$

Tích vô hướng

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = ab \cos \alpha$$

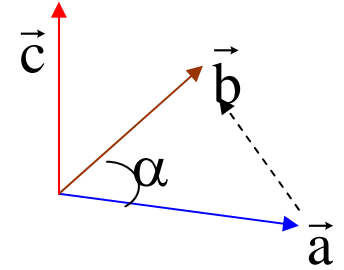
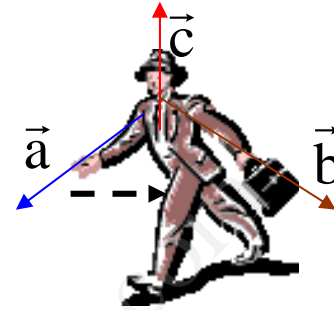


$$c = \sqrt{(\vec{a} + \vec{b})^2} = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \alpha}$$

Tích có hướng

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

$$c = |\vec{a} \times \vec{b}| = ab \sin \alpha$$



$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = \vec{b} \cdot (\vec{a} \cdot \vec{c}) - \vec{c} \cdot (\vec{a} \cdot \vec{b})$$

Quy tắc tam diện thuận

Các phép đạo hàm, vi phân, tích phân đối với các đại lượng biến thiên

Đại lượng vô hướng biến thiên theo thời gian:

$$\varphi = \varphi(t) \quad \varphi'(t) = \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \lim \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

Đại lượng véc tơ biến thiên theo thời gian

$$\vec{F} = \vec{F}(t)$$

$$\vec{F} \begin{cases} F_x = F_x(t) \\ F_y = F_y(t) \\ F_z = F_z(t) \end{cases}$$

$$\vec{F}'(t) = \frac{d\vec{F}}{dt} = \lim \frac{\Delta \vec{F}}{\Delta t}$$

$$\frac{d\vec{F}}{dt} = \frac{dF_x}{dt} \vec{i} + \frac{dF_y}{dt} \vec{j} + \frac{dF_z}{dt} \vec{k}$$

Đơn vị, thứ nguyên của các đại lượng vật

lý: Qui định 1 đại lượng cùng loại làm đơn
vị đo: Hệ SI (system international)

Đơn vị cơ bản	Kí hiệu	Đơn vị
Độ dài	L	mét (m)
Khối lượng	M	kg
Thời gian	t	s
Cường độ dòng điện	I	A
Độ sáng	Z	candela (Cd)
Nhiệt độ tuyệt đối	T	Kenvin (K)
Lượng chất	mol	mol
Đơn vị phụ:		
Góc phẳng	α	rad
Góc khối	Ω	steradian(sr)

Thứ nguyên: Qui luật nêu lên sự phụ thuộc đơn vị đo đại lượng đó vào các đơn vị cơ bản

$$\text{ThNg} = L^1 M^m t^\tau I^i Z^z T^p \text{mol}^k \alpha^q \Omega^s$$

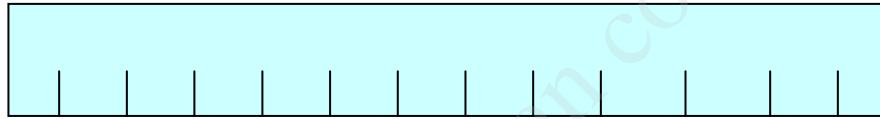
lực $\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow N = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

$$N = L^1 M^1 t^{-2} \cdot (\dots)^0$$

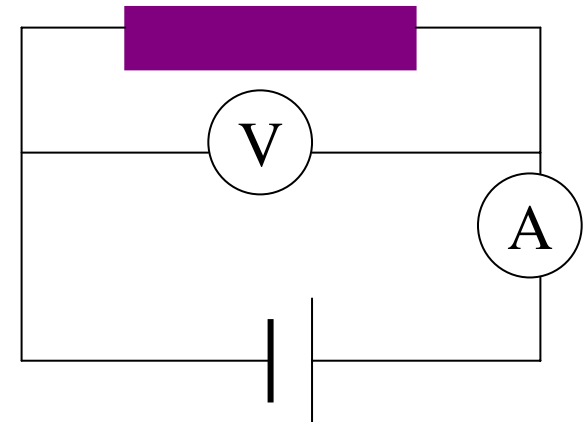
4. Phương pháp xác định sai số của các phép đo vật lý:

Phép đo: So sánh đại lượng này với đại lượng cùng loại được chọn làm đơn vị

Phép đo trực tiếp: Đọc kết quả ngay trên thang đo



Phép đo gián tiếp: Xác định đại lượng cần đo thông qua các phép đo trực tiếp các đại lượng liên quan trong các hàm với đại lượng cần đo.



$$R = \frac{U}{I}$$

Kết quả đo bao giờ cũng có sai số :

Sai số hệ thống: Luôn sai về một phía
--> chỉnh dụng cụ đo

Sai số ngẫu nhiên: Mỗi lần đo sai số khác nhau --> đo nhiều lần

Sai số dụng cụ: Độ chính xác của dụng cụ giới hạn

Sai số thô đại: Do người đo --> Nhiều người đo, loại các giá trị quá lệch

4.1. Cách xác định sai số của phép đo trực tiếp

A -đại lượng cần đo, Giá trị thực là a .

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ là các giá trị đo trong **n lần đo**

sai số: $\Delta a_1 = |a_1 - a|$, $\Delta a_2 = |a_2 - a|$, ..., $\Delta a_n = |a_n - a|$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i = \bar{a} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i$$

$$a - \bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i$$
$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i = 0 \Rightarrow a = \bar{a}$$

Sai số tuyệt đối của mỗi lần đo: $\Delta a_i = |\bar{a} - a_i|$

$$\Delta \bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i \quad |a - \bar{a}| \leq \Delta \bar{a}$$

$$|\bar{a} - \Delta \bar{a}| \leq a \leq \bar{a} + \Delta \bar{a}$$

$\Delta \bar{a}$ là sai số tuyệt đối trung bình

Nếu số lần đo đủ lớn $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i \approx 0 \Rightarrow a \approx \bar{a}$

Sai số tuyệt đối của phép đo: $\Delta a = \Delta \bar{a} + \Delta a_{dc}$

Δa_{dc} là sai số dụng cụ.

Sai số tương đối của phép đo: $\delta = \frac{\Delta a}{a} \%$

Ví dụ: Đo đường kính trụ

Lần đo	D(mm)	ΔD_i (mm)
1	21,5	0,02
2	21,4	0,08
3	21,4	0,08
4	21,6	0,12
5	21,5	0,02

Trung bình $\bar{D} = 21,48$ $\Delta \bar{D} = 0,064$

Sai số dụng cụ của thước $\Delta D_{dc} = 0,1\text{mm}$

Sai số tuyệt đối của phép đo :

$$\Delta D = 0,064 + 0,1 = 0,164\text{mm} \approx 0,16\text{mm}$$

$$D = \bar{D} \pm \Delta D = (21,48 \pm 0,16)\text{mm}$$

Sai số tương đối của phép đo :

$$\delta = \frac{\Delta D}{\bar{D}} \% = \frac{0,16}{21,48} = 0,00745 = 0,75\%$$

Qui tắc làm tròn sai số: Chỉ còn 2 chữ số có nghĩa. Phần bỏ đi $< 1/10$ gốc

Tất cả các chữ số đều có nghĩa trừ các số 0 bên trái số khác 0 đầu tiên:

0,230 và 0,0203 đều có 3 chữ số có nghĩa.

$$0,00745 \Rightarrow 0,0075 = 0,75\%.$$

$$\text{và } 0,0005 < 0,00745/10$$

Giá trị trung bình của của đại lượng cần đo phải viết qui tròn đến chữ số có nghĩa cùng bậc thập phân với chữ số có nghĩa cuối cùng của giá trị sai số đã qui tròn

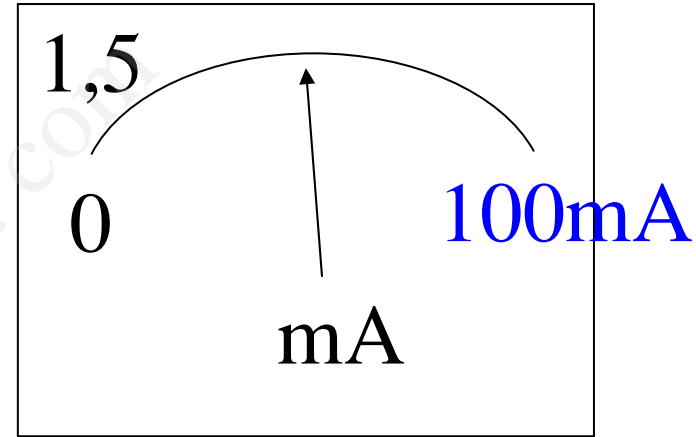
$$D = \overline{D} \pm \Delta D = (21,48 \pm 0,16)\text{mm}$$

Cách xác định sai số của dụng cụ đo điện:

δ - Cấp chính xác ghi trên thang đo;

a_{\max} Giá trị lớn nhất của thang đo

$$\Delta a_{\text{dc}} = \delta \cdot a_{\max}$$



$$\Delta a_{\text{dc}} = \delta \cdot a_{\max} = 1,5\% \cdot 100\text{mA} = 1,5\text{mA}$$

Đối với các điện trở mẫu và điện dung mẫu:

$$\Delta a_{\text{dc}} = \delta \cdot a$$

a là giá trị đo được trên dụng cụ, δ - cấp chính xác của thang đo lớn nhất đang được sử dụng.

Hộp điện trở mẫu $0 \div 9999,9 \Omega$

có $\delta=0,2$ đối với thang 1000Ω ;

Giá trị đo được $a=820,0 \Omega$

$$\Rightarrow \Delta a_{dc} = \delta \cdot a = 0,2\% \cdot 820,0 = 1,64 \Omega \approx 1,7 \Omega$$

Đối với các dụng cụ đo hiện số:

$$\Delta a_{dc} = \delta \cdot a + n \cdot \alpha$$

δ là cấp chính xác;

a là giá trị đo hiển thị;

α là độ phân giải;

n-phụ thuộc vào thang đo và dụng cụ đo nhà sản xuất qui định.

Đồng hồ 2000digit DT890 có $\delta=0,5$; $n=1$ cho dòng 1 chiều; $U_{\max}=19.99V$;

Độ phân giải:

$$\alpha=U_{\max}/2000=19,99/2000\approx 0,01V;$$

Số đo hiển thị $U=15,78V$

$$\Delta U_{dc} = \delta.a + n.\alpha =$$

$$0,5\%.15,78V + 1.0,01V = 0,0889V \approx 0,1V$$

4.2. Cách xác định sai số của phép đo gián tiếp: $F=F(x,y,z)$

F- đại lượng đo gián tiếp; x,y,z - đo trực tiếp

$$dF = \frac{\partial F}{\partial x} dx + \frac{\partial F}{\partial y} dy + \frac{\partial F}{\partial z} dz$$

$$\Rightarrow \Delta F = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial F}{\partial z} \Delta z$$

$$\Delta F = \left| \frac{\partial F}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial F}{\partial y} \right| \Delta y + \left| \frac{\partial F}{\partial z} \right| \Delta z$$

Cách xác định sai số tương đối của phép đo gián tiếp: $F=F(x,y,z)$

1. Lấy Ln hai vế:

$$\ln F = \ln F(x,y,z)$$

2. Lấy vi phân toàn phần:

$$d(\ln F) = dF/F$$

3. Rút gọn biểu thức

4. Lấy tổng giá trị tuyệt đối vi phân riêng phần và đổi $d \rightarrow \Delta$

$$F, x, y, z \rightarrow \bar{F}, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$$

Ví dụ: $F = \frac{x}{x+y} \Rightarrow \ln F = \ln x - \ln(x+y)$

$$\frac{dF}{F} = \frac{dx}{x} - \frac{d(x+y)}{x+y} = \frac{ydx}{x(x+y)} - \frac{dy}{x+y}$$

$$\rightarrow \frac{\Delta F}{\bar{F}} = \frac{\bar{y}\Delta x}{\bar{x}(\bar{x} + \bar{y})} + \frac{\Delta y}{\bar{x} + \bar{y}}$$

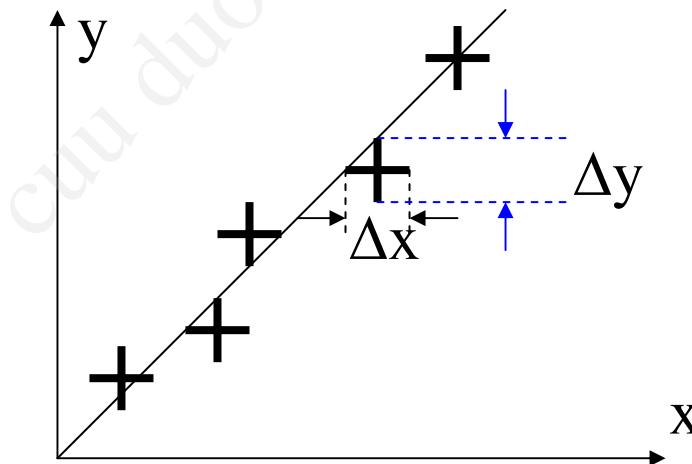
Sai số của các đại lượng cho trước lấy bằng 1 đơn vị của số có nghĩa cuối cùng.
Sai số của các hằng số π , g ... lấy đến nhỏ hơn 1/10 sai số tương đối của F

Đo điện trở: $R=U/I$

$$\ln R = \ln U - \ln I$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{dU}{U} - \frac{dI}{I} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta R}{\bar{R}} = \frac{\Delta U}{\bar{U}} + \frac{\Delta I}{\bar{I}}$$

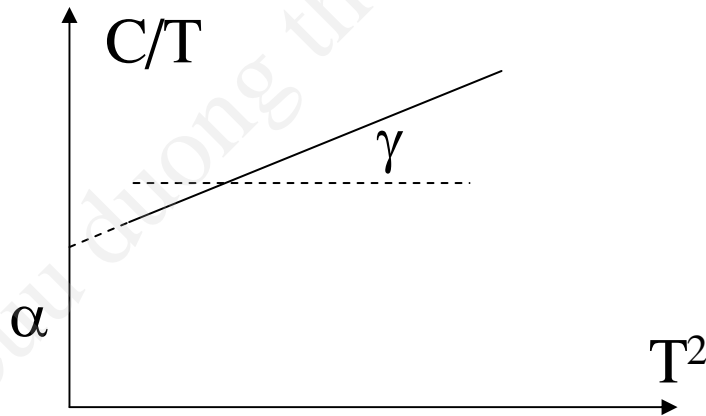
4.3. Biểu diễn kết quả bằng đồ thị: $y=f(x)$



Đưa đồ thị về **dạng tuyến tính: $y = ax + b$**

Phụ thuộc giữa nhiệt dung của kim loại vào nhiệt độ ở nhiệt độ thấp:

$$C_{KL} = \alpha T + \gamma T^3$$



- Bốn bước chiến lược khi giải bài tập:

1. Không tìm ngay cách tính đáp số cuối cùng.

Hãy chú ý đến điều kiện đầu bài.

2. Hãy nghĩ đến các công thức áp dụng và điều kiện của nó.

3. Quan sát kĩ hình vẽ, từng phần hình vẽ.

4. Hãy chắc chắn khi áp dụng các công thức.

- Công cụ giải bài tập:

1. Vẽ và suy nghĩ cẩn thận về lực, chọn trục tọa độ, nghĩ đến các góc.

2. Kiểm tra lại: véc tơ hay thành phần, Các yếu tố góc: Sin hay Cos, âm hay dương

Chương I

ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Động học: N/C các đặc trưng của chuyển động và những chuyển động khác nhau (không tính đến lực tác dụng)

Động lực học: N/C mối quan hệ giữa chuyển động với tương tác giữa các vật (có tính đến lực tác dụng)

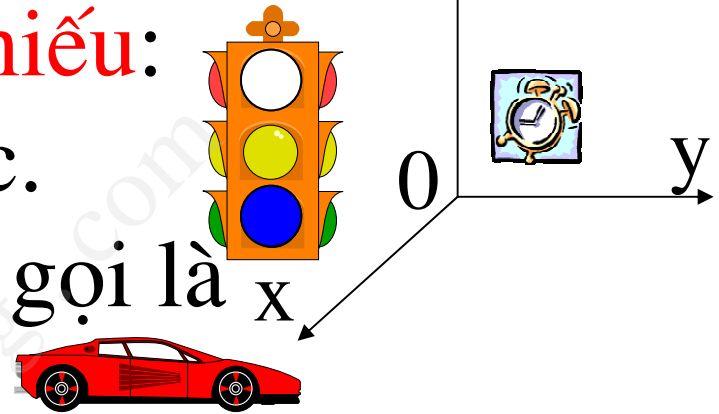
Tĩnh học là một phần của **Động lực học**
N/C trạng thái cân bằng của các vật

1. Những khái niệm mở đầu

1.1 Chuyển động và hệ qui chiếu:

Thay đổi vị trí so với vật khác.

Vật coi là đứng yên làm mốc gọi là
hệ qui chiếu

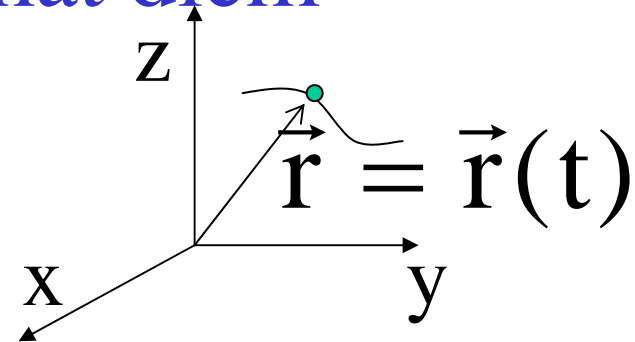


1.2. **Chất điểm:** Vật nhỏ so với khoảng cách nghiên cứu -> **Khối lượng vật tập trung ở khối tâm.** và hệ chất điểm:

Tập hợp nhiều chất điểm = Hệ chất điểm

1.3. Phương trình chuyển động của chất điểm

$$M \begin{cases} x=f_x(t) \\ y=f_y(t) \\ z=f_z(t) \end{cases}$$



1.4. Quỹ đạo: Đường tạo bởi tập hợp các vị trí của chất điểm trong không gian

F/t quỹ đạo: Khử tham số t trong f/t cũ:

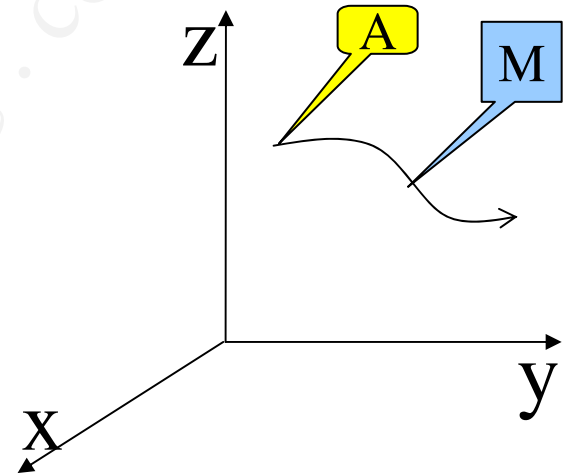
Ví dụ: F/t chuyển động:

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$y = a \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

F/t quỹ đạo:

$$x^2 + y^2 = a^2$$



1.5. Hoàng độ cong:

Vị trí chất điểm xác định bởi cung $AM = s$

Quãng đường s là hàm của thời gian $s = s(t)$

2. Vận tốc

2.1. Định nghĩa vận tốc:

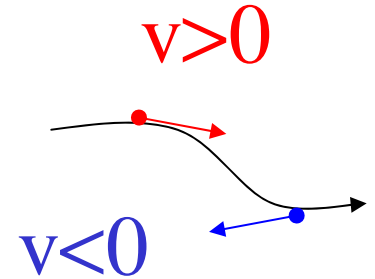
Tại thời điểm t chất điểm tại $A\tilde{M} = s$
tại thời điểm $t' = t + \Delta t \rightarrow$

$$A\tilde{M}' = s' = s + \Delta s$$

vận tốc trung bình $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

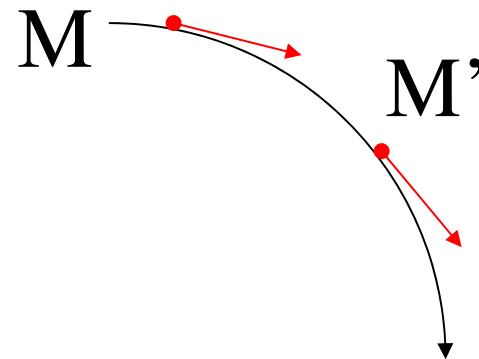
Vận tốc tức thời:

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



2.2. Véc tơ vận tốc

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt}$$

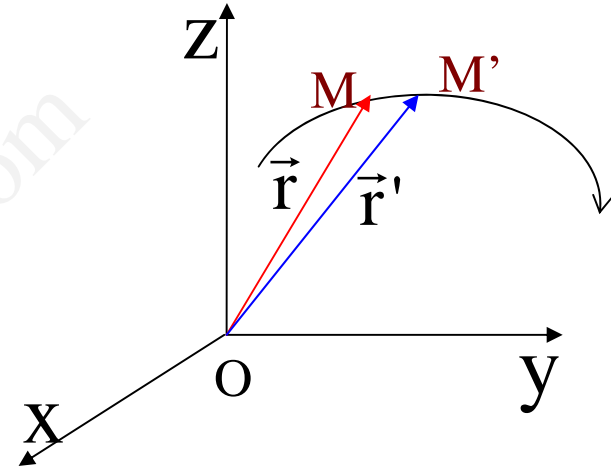


2.2. Véc tơ vận tốc trong hệ tọa độ đề các:

$$\overrightarrow{OM} = \vec{r} \quad \overrightarrow{OM'} = \vec{r}' = \vec{r} + d\vec{r}$$

$$\overrightarrow{MM'} = d\vec{r} \quad d\vec{s} = d\vec{r}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad \text{Đạo hàm vectơ tọa độ theo thời gian}$$



$$\vec{v} = \begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} \\ v_z = \frac{dz}{dt} \end{cases}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}$$

3. Gia tốc

3.1. Định nghĩa và biểu thức của véc tơ gia tốc:

Tại M: t, \vec{v}

Tại M': $t' = t + \Delta t, \vec{v}'$

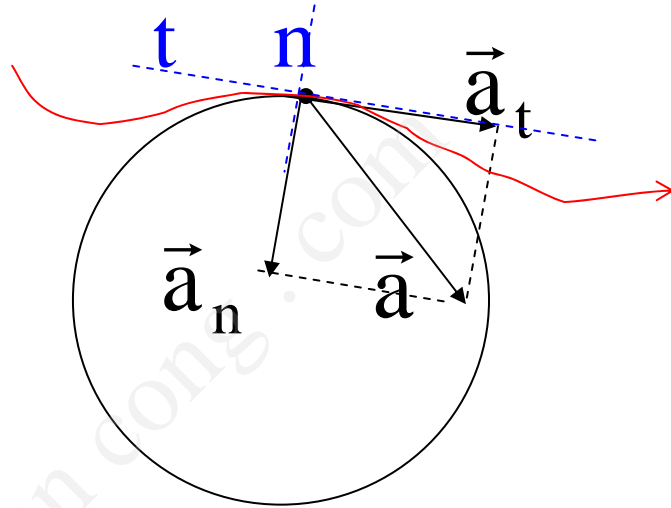
$$\Delta \vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$$

$$\vec{a}_{tb} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

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

$$\vec{a} \left\{ \begin{array}{l} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \end{array} \right. \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dt^2}\right)^2}$$

3.2 Gia tốc tiếp tuyến và gia tốc pháp tuyến



Chiếu véc tơ gia tốc lên tiếp tuyến và pháp tuyến của quỹ đạo

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

\vec{a}_t Gia tốc tiếp tuyến

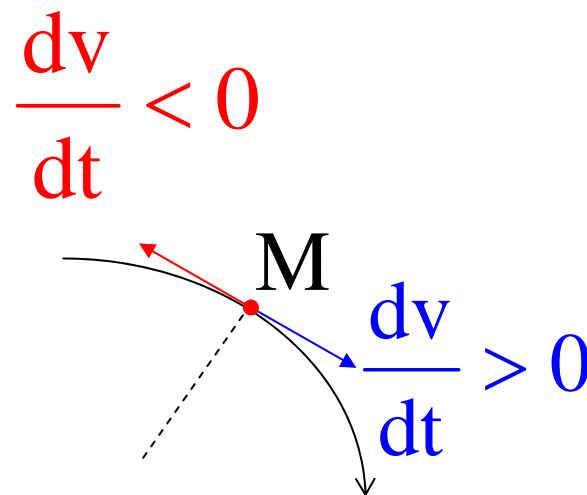
\vec{a}_n gia tốc pháp tuyến

➤ Gia tốc tiếp tuyến

- Có phương tiếp tuyến với quỹ đạo
- Cho thấy sự thay đổi giá trị của vận tốc

- Có giá trị $a_t = \lim_{t' \rightarrow t} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$

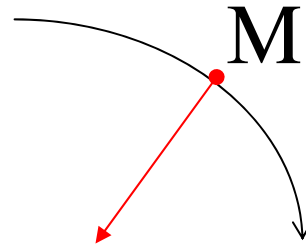
- Có chiều tùy theo giá trị âm, dương của dv/dt



➤ Gia tốc pháp tuyến

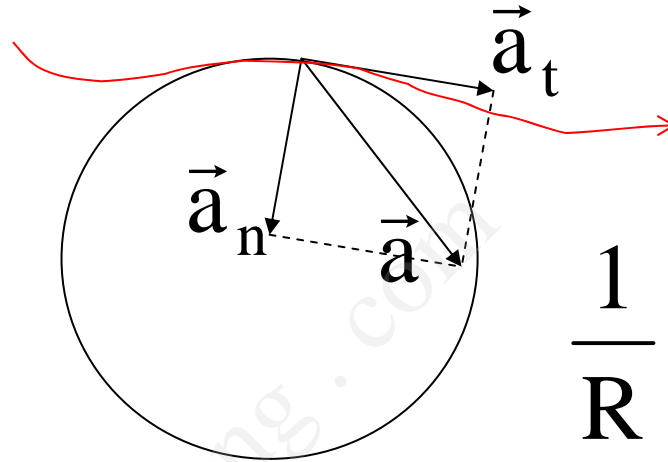
- Mức độ thay đổi phương của vận tốc
- Có phương trùng pháp tuyến của quỹ đạo
- Hướng về phía lõm của quỹ đạo
- Có giá trị

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$



Kết luận

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



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

$\frac{1}{R}$ độ cong
của quỹ
đạo

- $a_n=0$ -> chuyển động thẳng
- $a_t=0$ -> chuyển động cong đều
- $a=0$ -> chuyển động thẳng đều

4. Một số dạng chuyển động cơ đặc biệt

4.1. Chuyển động thẳng biến đổi đều:

$$\vec{a} = \overrightarrow{\text{const}} \quad a_n = 0$$

$$a = a_t = \frac{dv}{dt} = \text{const}$$

$$v = \frac{ds}{dt} = at + v_0 \Rightarrow s = \int (at + v_0) dt = \frac{at^2}{2} + v_0 t$$

$$v^2 - v_0^2 = 2as$$



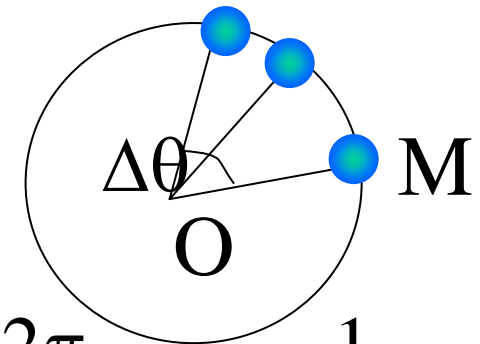
$$v = \int a dt = at + v_0$$

4.2. Chuyển động tròn

Tại M: t

Tại M': $t' = t + \Delta t \Rightarrow OM$ quét $\Delta\theta$

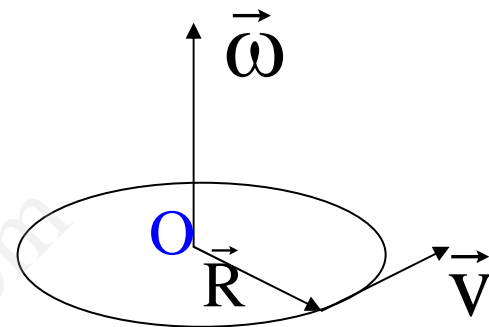
$$\overline{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad \omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}; \quad v = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$



Quan hệ giữa $\vec{\omega}$ và \vec{v}

$$MM' = \Delta s = R \cdot \Delta \theta$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R \cdot \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = R \cdot \omega$$



$$v = R \cdot \omega \Rightarrow \vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R} \quad \text{Quy tắc tam diện thuận}$$

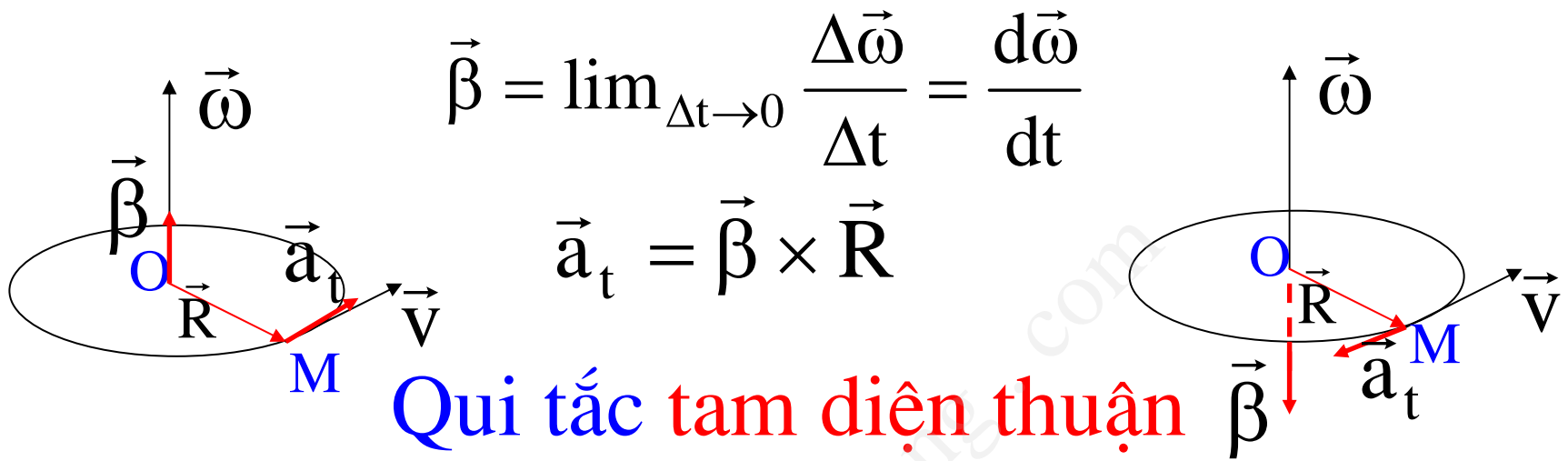
Hệ quả:

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(R\omega)^2}{R} = R\omega^2$$

Gia tốc góc: Tại t , $\vec{\omega}$

Tại M' : $t' = t + \Delta t$, $\vec{\omega}' = \vec{\omega} + \Delta \vec{\omega}$

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$



Tương tự như trong chuyển động thẳng:

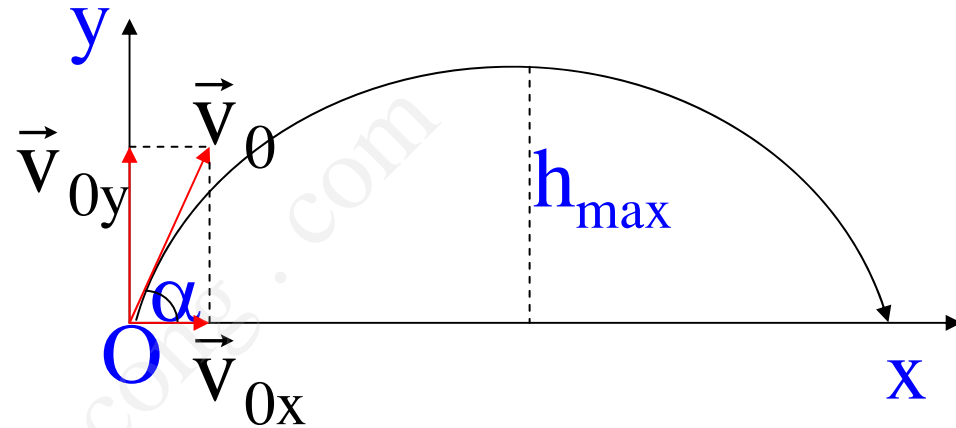
$$\omega = \beta t + \omega_0$$

$$\theta = \frac{\beta t^2}{2} + \omega_0 t$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\beta\theta$$

4.3. Chuyển động với gia tốc không đổi

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$$



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

$$\frac{dv_y}{dt} = -g$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha - gt$$

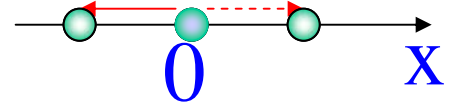
Phương trình chuyển động

$$M \begin{cases} x = v_0 \cos \alpha \cdot t \\ y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

Phương trình quỹ đạo

$$y = x \tan \alpha - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}$$

4.4. Dao động thẳng điều hoà phương trình dao động



$$x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

Tuần hoàn theo thời gian: $x(t) = x(t + nT)$

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

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

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

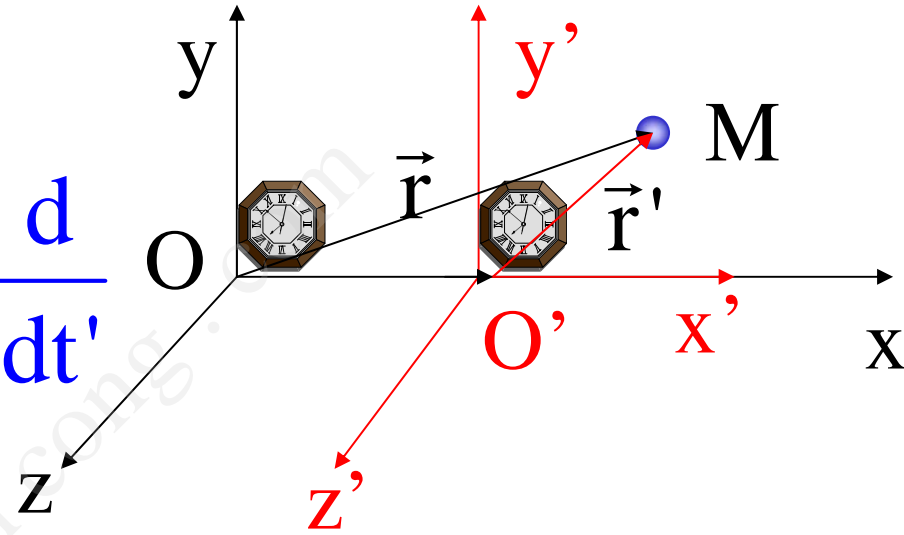
5. Tổng hợp vận tốc và gia tốc

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

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

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{dt'}$$

$$\Rightarrow \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$$



\vec{v}' Vtơ vtốc trong hqc O'

\vec{V} Vtơ vtốc trong hqc O

\vec{V} Vtơ vtốc O' đối với O

Véc tơ vận tốc của chất điểm đối với hệ qchiếu O bằng tổng hợp véc tơ vtốc của chất điểm đó đối với hệ qc O' chđộng tịnh tiến đvới hệ qc O và vtơ vtốc tịnh tiến của hệ qc O' đối với hệ qc O

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{V}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

\vec{a} Vtơ gia tốc M trong hqc O

\vec{a}' Vtơ gia tốc M trong hqc O'

\vec{A} Vtơ gia tốc O' đối với hqc O

Véc tơ gia tốc của chất điểm đối với một hệ qchiếu O bằng tổng hợp véc tơ gia tốc của chất điểm đó đối với hệ qc O' chuyển động tịnh tiến đối với hệ qc O và vtơ gia tốc tịnh tiến của hệ qc O' đối với hệ qc O

Chương II

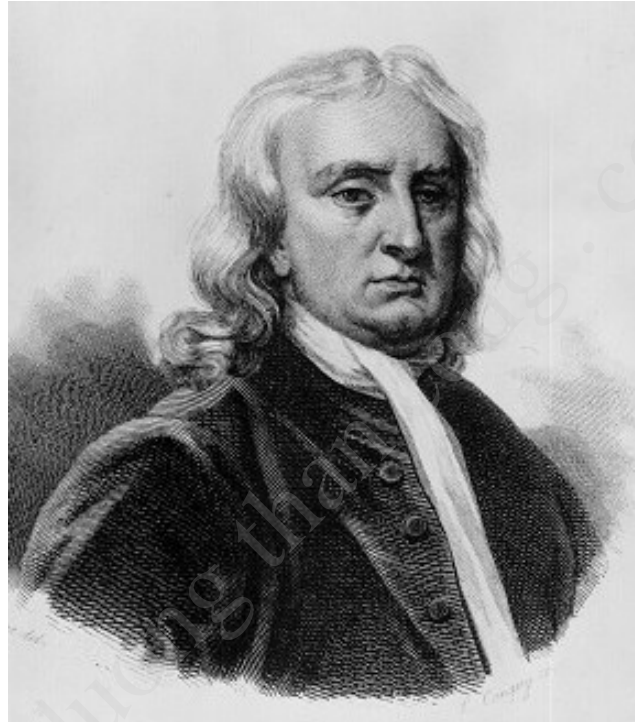
ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

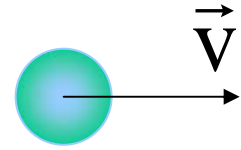


Isaac Newton

1. Các định luật Niuton

1.1 Định luật Niuton thứ nhất:

Chất điểm cô lập $\vec{v} = \text{const}$



Không chịu một tác dụng nào từ bên ngoài, chuyển động của nó được bảo toàn

-> định luật quán tính

1.2. Định luật Niuton thứ hai: Chuyển động của chất điểm chịu tổng hợp lực $F \neq 0$ là chuyển động có gia tốc

Gia tốc của chất điểm $\sim F$ và \sim nghịch với m

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\vec{F} \neq 0 \rightarrow \vec{a} \neq 0$$

Trong hệ SI $k=1$

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

• Phương trình cơ bản của cơ học chất điểm:

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

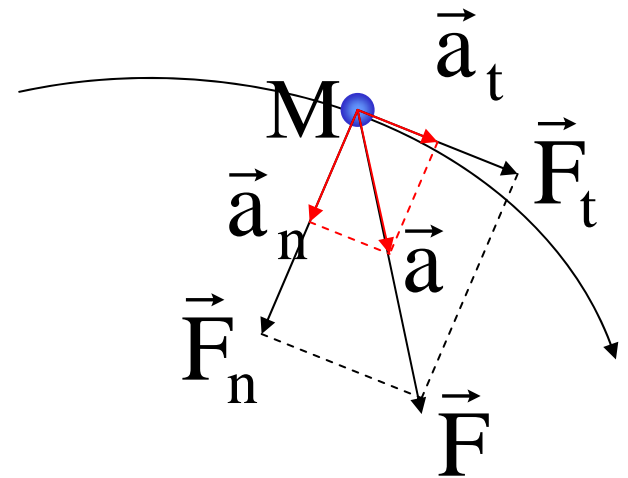
• Hệ qui chiếu quán tính:

Nghiệm đúng Phương trình

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

1.3. Lực tác dụng lên chất điểm trong chuyển động cong

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \vec{a}_t + \vec{a}_n \\ m\vec{a} &= m\vec{a}_t + m\vec{a}_n \\ \vec{F} &= \vec{F}_t + \vec{F}_n\end{aligned}$$



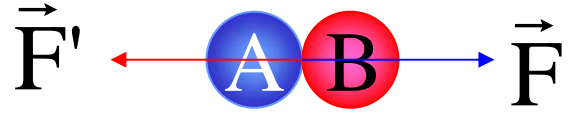
Lực tiếp
tuyến

$$F_t = m \frac{dv}{dt}$$

Lực pháp
tuyến

$$F_n = m \frac{v^2}{R}$$

1.4. Định luật Niuton thứ ba



$$\vec{F} + \vec{F}' = 0$$

Tổng nội lực trong hệ = 0

\vec{F}'

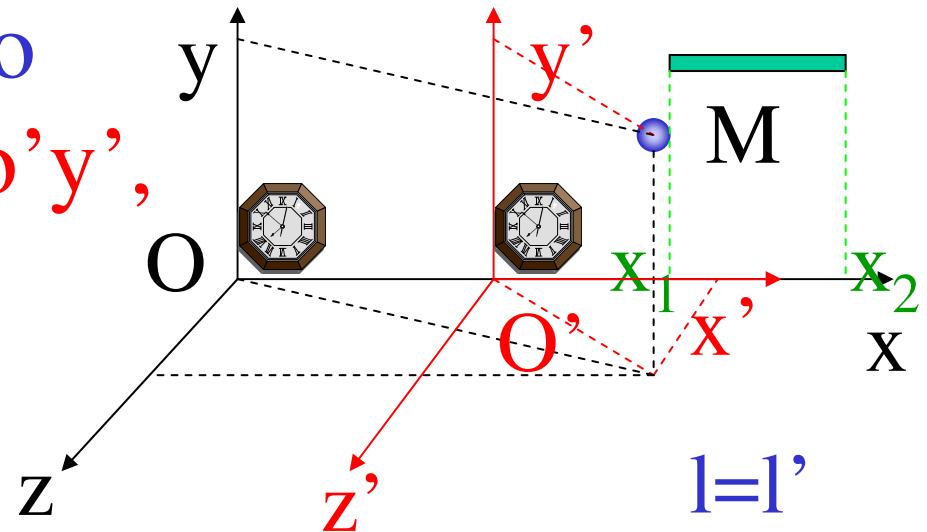


2. Chuyển động tương đối và nguyên lý Galilê

O' chuyển động dọc theo
ox với vận tốc \vec{V} , $oy // o'y'$,
 $oz // o'z'$

Thời gian là tuyệt đối:

$$t = t'$$



Không gian là tương đối:

$$x = x' + vt'$$

$y = y'; z = z' \Rightarrow$ chuyển động là tương đối.

Khoảng không gian là tuyệt đối: $l = l'$

$$x_1 = x'_1 + vt' ; x_2 = x'_2 + vt' \Rightarrow l = x_2 - x_1 = x'_2 - x'_1 = l'$$

2.1. Phép biến đổi Galilê:

$$x = x' + vt'; y = y'; z = z'; t = t'$$

và ngược lại $x' = x - vt; y' = y; z' = z; t' = t$

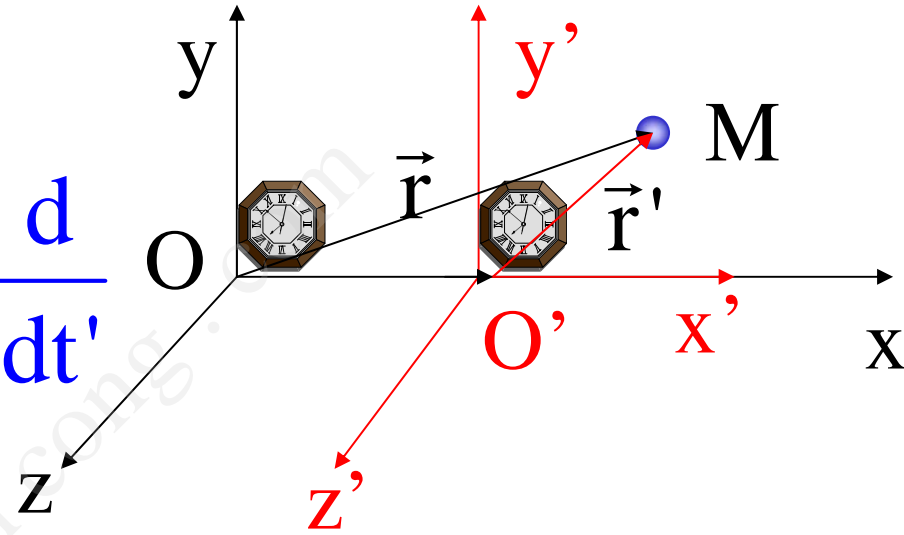
2.2. Tổng hợp vận tốc và gia tốc

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

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

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{dt'}$$

$$\Rightarrow \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$$



\vec{v}' Vtơ vtốc trong hqc O'

\vec{V} Vtơ vtốc trong hqc O

\vec{V} Vtơ vtốc O' đối với O

Véc tơ vận tốc của chất điểm đối với hệ qchiếu O bằng tổng hợp véc tơ vtốc của chất điểm đó đối với hệ qc O' chđộng tịnh tiến đvới hệ qc O và vtơ vtốc tịnh tiến của hệ qc O' đối với hệ qc O

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{V}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

\vec{a} Vtơ gia tốc M trong hqo O

\vec{a}' Vtơ gia tốc M trong hqo O'

\vec{A} Vtơ gia tốc O' đối với hqo O

Véc tơ gia tốc của chất điểm đối với một hệ qchiếu O bằng tổng hợp véc tơ gia tốc của chất điểm đó đối với hệ qo O' chuyển động tịnh tiến đối với hệ qo O và vtơ gia tốc tịnh tiến của hệ qo O' đối với hệ qo O

2.3. Nguyên lý tương đối Galilê

Hệ qui chiếu quán tính: $\vec{m}\vec{a} = \vec{F}$

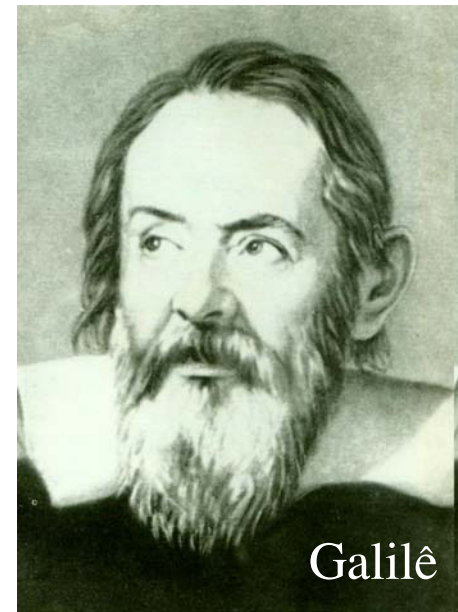
Nếu O' chuyển động thẳng đều đối với O thì $A=0$ $\vec{m}\vec{a} = \vec{m}\vec{a}'$

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

O' cũng là hqc quán tính

Mọi hệ qui chiếu chuyển động thẳng đều với hqc quán tính cũng là hqc quán tính.

Các định luật Niu tơn nghiệm đúng trong mọi hệ qui chiếu chuyển động thẳng đều đối với hqc quán tính



Các phương trình động lực học trong các hệ qui chiếu quán tính có dạng như nhau.

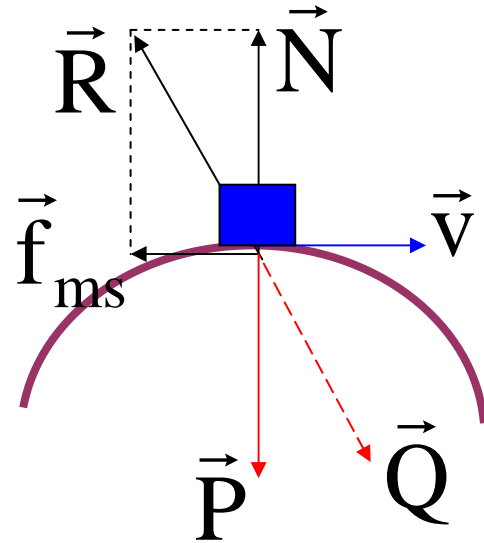
Các phương trình cơ học bất biến đối với phép biến đổi Galilê

3. Một số loại lực cơ học:

3.1. Phản lực và lực ma sát

$$\vec{R} = \vec{N} + \vec{f}_{ms}$$

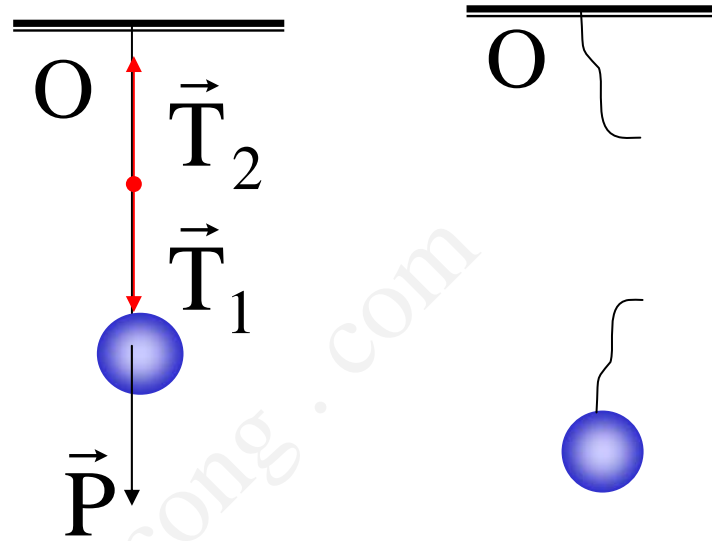
$$f_{ms} = k.N$$



k - Hệ số ma sát phụ thuộc vào trạng thái hai mặt tiếp xúc. $k < 1$.

3.2. Lực căng

Trên toàn sợi dây



3.3. Lực quán tính

Nếu hệ qui chiếu O' chuyển động có gia tốc đối với hệ qui chiếu O

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

\vec{a} Vtơ gia tốc của chất điểm trong hqc O

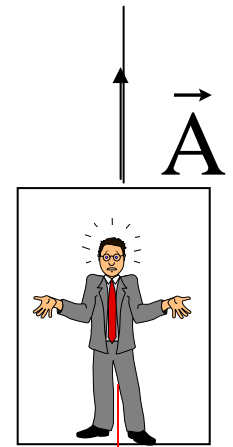
\vec{a}' Vtơ gia tốc của chất điểm trong hqc O'

\vec{A} Vtơ gia tốc O' đối với hqc O

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

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{QT}$$

$$\vec{F}_{QT} = -m\vec{A}$$



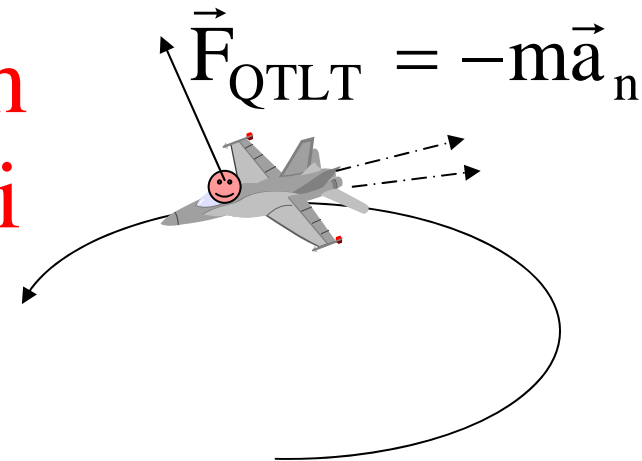
$$\vec{F}_{QT} = -m\vec{A}$$

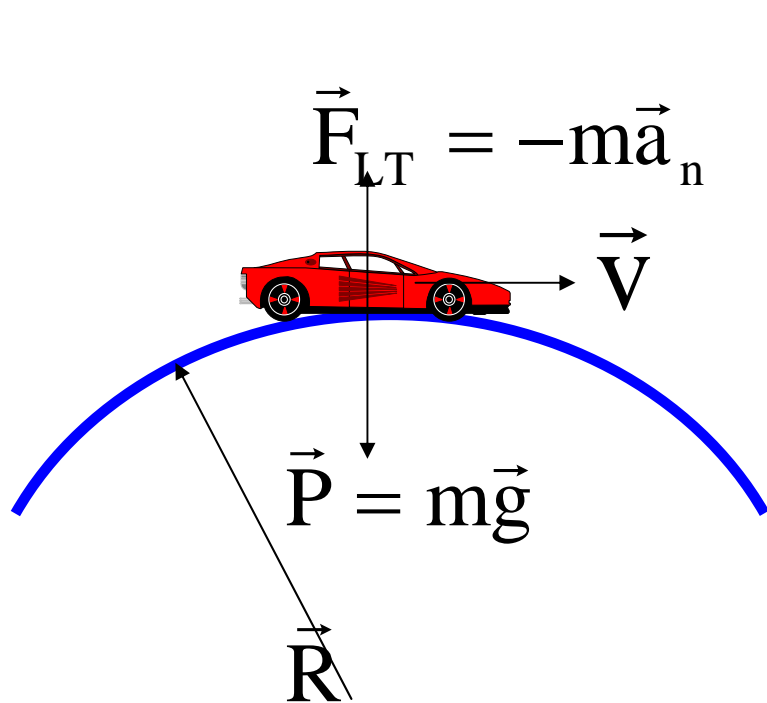
Lực quán tính

Hệ O' gọi là hệ quy chiếu không quán tính

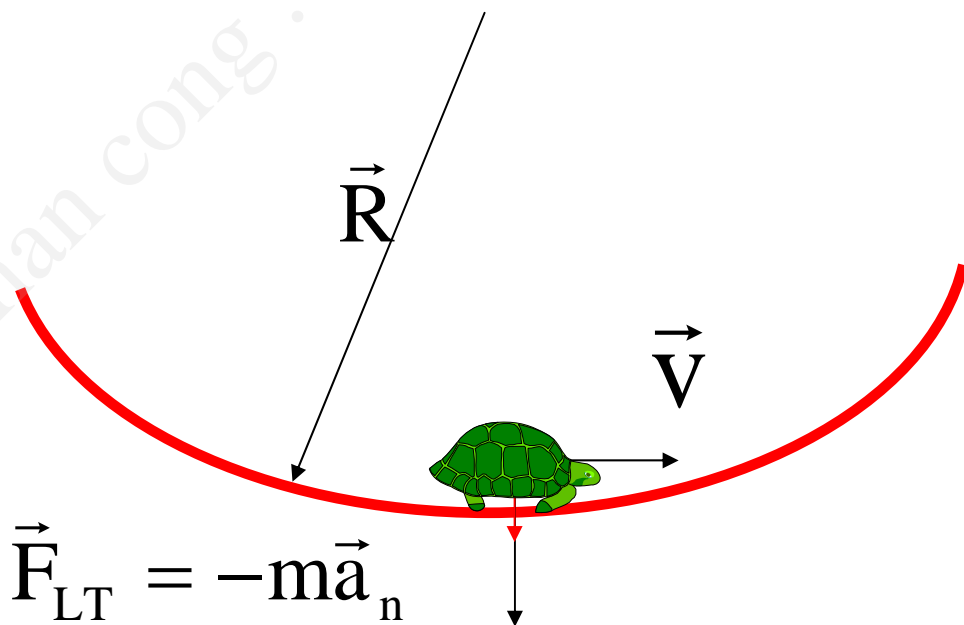
✓ Lực quán tính li tâm xuất hiện khi O' chuyển động cong so với O

$$F_{QTLT} = m \frac{v^2}{R}$$





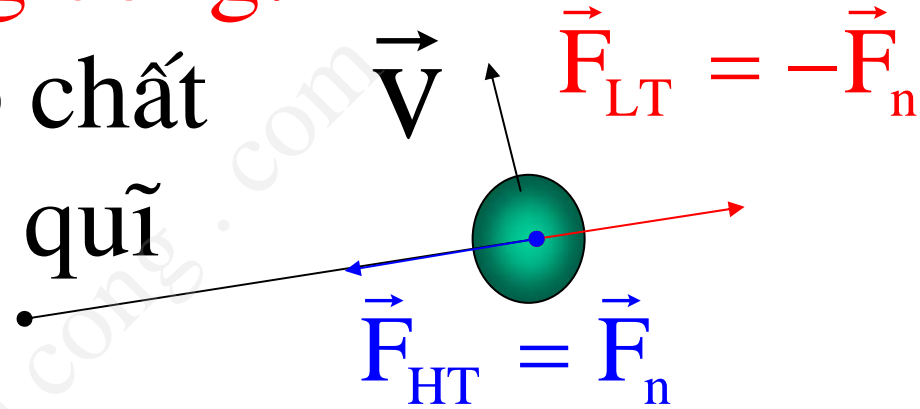
$$F = P - F_{LT} = m\left(g - \frac{v^2}{R}\right)$$



$$F = P + F_{LT} = m\left(g + \frac{v^2}{R}\right)$$

3.4. Lực hướng tâm, lực li tâm xuất hiện khi chất điểm chuyển động cong:

- **Lực hướng tâm:** kéo chất điểm về phía lõm của quỹ đạo:



$F_{HT} = T$ lực căng của sợi dây

- **Lực li tâm:** làm chất điểm văng về phía lồi của quỹ đạo cân bằng với lực hướng tâm

$$F_{HT} = F_{LT} = m \frac{v^2}{R}$$

4. Động lượng của chất điểm

4.1. Các định lý về động lượng

Định lý I $\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}$ $\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \frac{m d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$

$\vec{K} = m\vec{v}$ là véc tơ động lượng $\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}$

Định lý II $\Delta\vec{K} = \vec{K}_2 - \vec{K}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$ $d\vec{K} = \vec{F} dt$

Độ biến thiên động lượng =
Xung lượng của lực

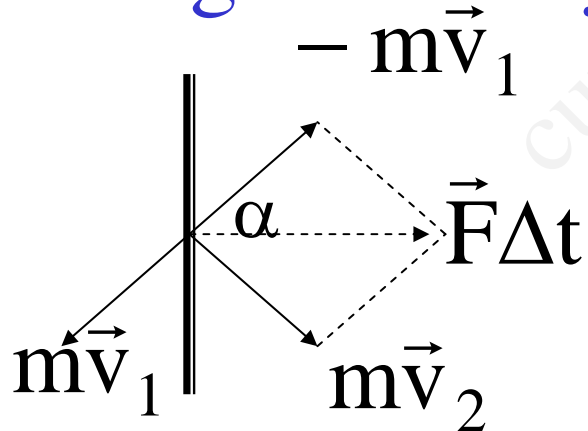
$$\int_{(1)}^{(2)} d\vec{K} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

Hệ quả:

$\frac{\Delta\vec{K}}{\Delta t} = \vec{F}$ Độ biến thiên động lượng/đvị thời gian=Lực tác dụng

4.2. Ý nghĩa của động lượng và xung lượng

- Cả khối lượng và vận tốc đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực học
- Động lượng đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động trong va chạm
- **Ý nghĩa của xung lượng:** Tác dụng của lực không chỉ phụ thuộc vào cường độ, mà cả vào thời gian tác dụng



$$\Delta \vec{K} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}\Delta t$$

$$F = \frac{2mv \cos \alpha}{\Delta t}$$

5. Định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm

5.1. Định luật

Hệ chất điểm	M_1, M_2, \dots, M_n
có khối lượng	m_1, m_2, \dots, m_n
Chịu tác dụng lực	$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$
Có gia tốc	$\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$

$$m_i \vec{a}_i = \vec{F}_i$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}$$

$$\frac{d(\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i)}{dt} = \vec{F} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \overrightarrow{\text{const}}$$

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = \overrightarrow{\text{const}}$$

Tổng động lượng hệ cô lập bảo toàn

$$\vec{V}_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \overrightarrow{\text{const}}$$

Khối tâm hệ cô lập hoặc đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều

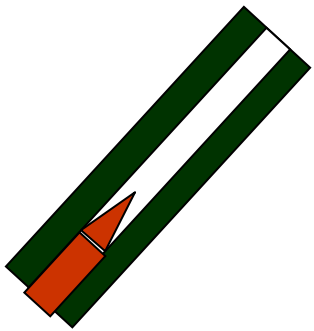
5.2. Bảo toàn động lượng theo phương:

Chiếu $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = \overrightarrow{\text{const}}$ lên trục x được:

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} + \dots + m_n v_{nx} = \text{const}$$

Hình chiếu của tổng động lượng của hệ cô lập lên một phương x được bảo toàn

5.3. Ứng dụng ❖ Súng giật



Súng: M, \vec{V}

Đạn: m, \vec{v}

$$M \cdot \vec{V} + m \cdot \vec{v} = 0$$

$$\vec{V} = -\frac{m\vec{v}}{M}$$

Súng giật về phía sau

❖ Chuyển động phản lực:

Tên lửa + thuốc: $\vec{K}_1 = M\vec{v}$

Thuốc phụt: phụt dM_1 và vận tốc \vec{u}

$$\vec{K}_{\text{thuốc phụt ra}} = dM_1(\vec{u} + \vec{v}) = -dM(\vec{u} + \vec{v})$$

Tên lửa sau khi phụt dM thuốc:

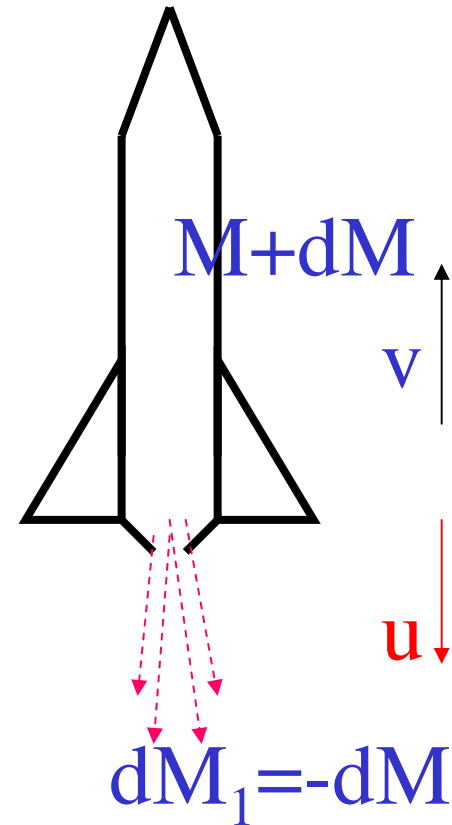
$$\vec{K}_{\text{tên lửa}} = (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v})$$

$$\vec{K}_2 = \vec{K}_{\text{thuốc phụt ra}} + \vec{K}_{\text{tên lửa}} \quad \vec{K}_2 = \vec{K}_1$$

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

$$Md\vec{v} = \vec{u}dM \quad Mdv = -udM$$

$$\text{Công thức Xiônkôpxki: } v = u \ln \frac{M_0}{M}$$



Tại thời điểm t : Hệ quy chiếu O
 chuyển động với vận tốc v cùng tên
 lửa và thuốc.

Tên lửa phụt dM thuốc với vận tốc u
 so với O :

$$\rightarrow K_{\text{thuốc}} = dM \cdot u$$

Vận tốc tên lửa tăng lên dv so với O

$$\rightarrow K_{\text{Tên lửa}} = (M - dM)dv$$

So với hệ quy chiếu O :

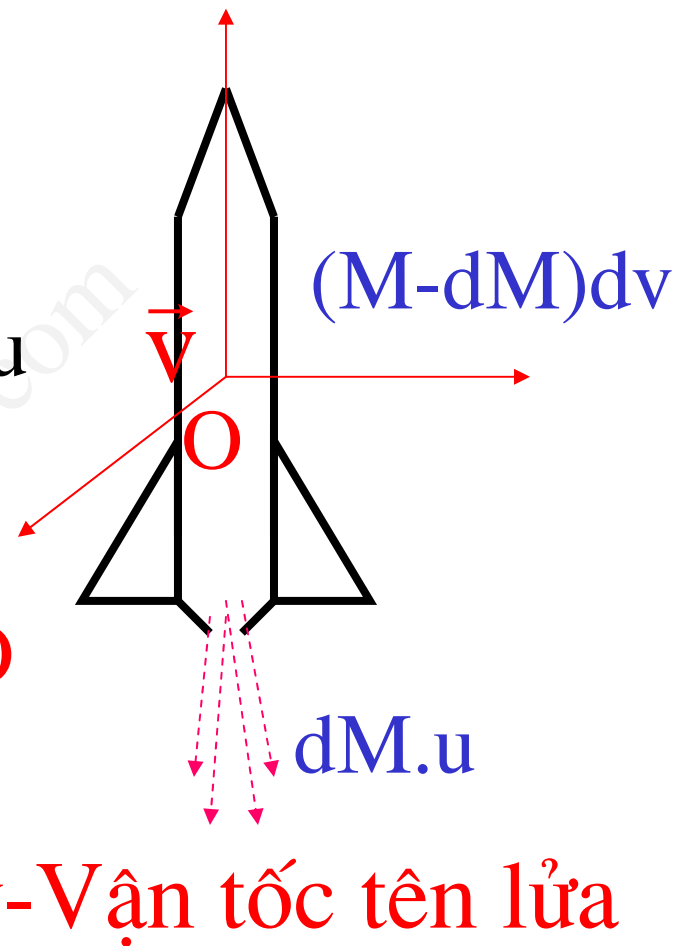
$$K_{\text{Tên lửa}} + K_{\text{thuốc}} = 0$$

$$(M - dM)dv + dMu = 0$$

$$Mdv = -u dM$$

Công thức Xiônkôpxki:

$$v = u \ln \frac{M_0}{M}$$



5. Ứng dụng phương trình cơ bản của cơ học để khảo sát chuyển động của các vật

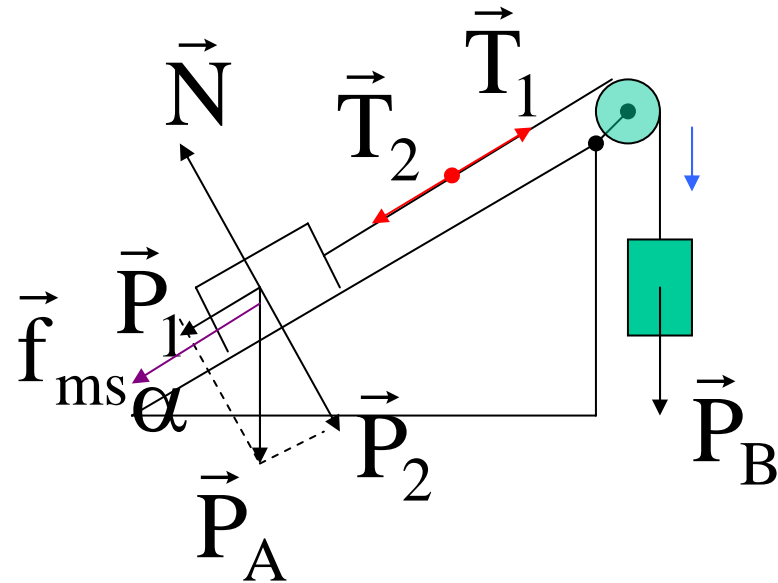
$m\vec{a} = \vec{F}$ F là tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm = Lực phát động - Lực cản

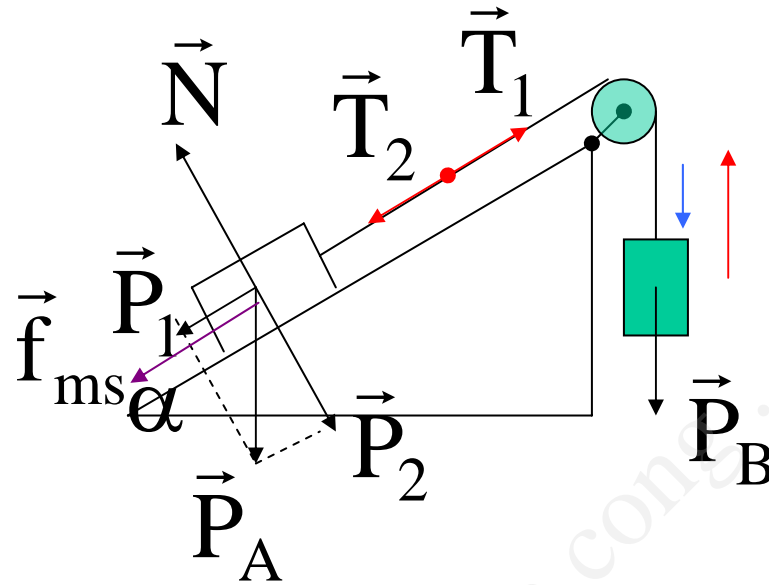
Ví dụ: Hệ gồm m_A , m_B , hệ số ma sát k , dây không giãn, ròng rọc không ma sát và khối lượng

Lực phát động: P_B

Lực cản $P_1 + f_{ms}$

Lực tổng hợp: $P_B - P_1 - f_{ms}$





$$(m_A + m_B)a = m_B g - m_A g(\sin \alpha + k \cos \alpha)$$

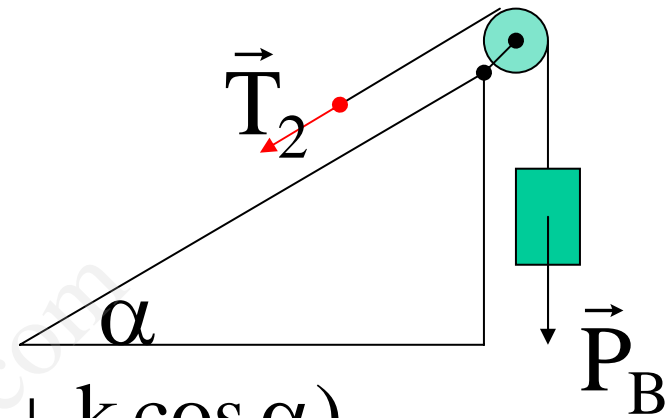
$$a = \frac{m_B g - m_A g(\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)}$$

$a > 0$ đúng

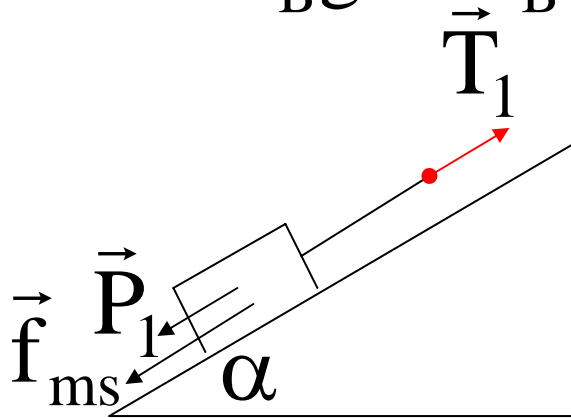
$a < 0$ giả thiết chiều chuyển động lại và tính lại từ đầu

$$m_B \cdot a = P_B - T_2$$

$$T = T_1 = T_2 = P_B - m_B a$$



$$T = m_B g - m_B \frac{m_B g - m_A g (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)}$$



$$m_A a = T_1 - P_1 - f_{ms}$$

$$T = T_2 = T_1 = m_A a + P_1 + f_{ms}$$

$$T = m_A \frac{m_B g - m_A g (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)} + m_A g \cdot \sin \alpha + m_A g k \cos \alpha$$

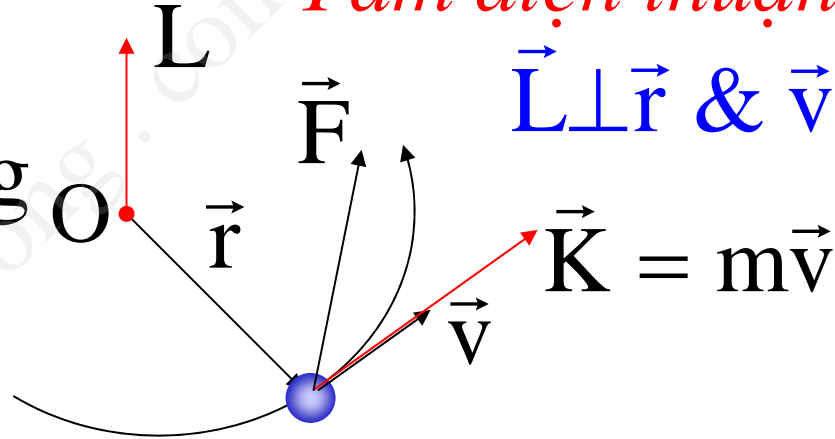
$$T = m_A m_B g \cdot \frac{1 + (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)}$$

6. Mômen động lượng

6.1. Định nghĩa mômen động lượng của chất điểm chuyển động so với 1 điểm *Tam diện thuận*

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{K} = \vec{r} \times m\vec{v}$$

6.2. Định lý về mômen động lượng



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

$$\frac{d(\vec{r} \times m\vec{v})}{dt} = \frac{d\vec{r}}{dt} \times m\vec{v} + \vec{r} \times \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{r} \times \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

$$\boxed{= 0} \quad \vec{r} \times \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{r} \times \vec{F} \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu}_{/o}(\vec{F})$$

$$\vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = \vec{r} \times \vec{F} \quad \text{mômen của lực } \vec{F} \text{ đối với } O$$

Hệ quả: Định luật bảo toàn mômen động lượng của chất điểm

$$\vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$$

➤ Chất điểm chuyển động trên mặt phẳng cố định

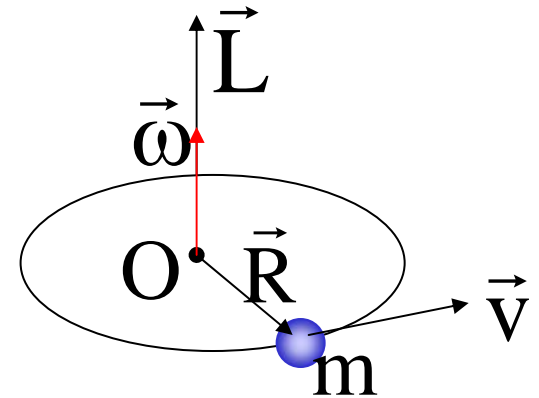
Trường hợp chuyển động tròn

$$|\vec{L}| = R \times mv = mR^2\omega$$

$$L = I\omega$$

$mR^2 = I$ mômen quán tính của chất điểm

$\vec{L} = I\vec{\omega}$ đối với O



$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_n \quad \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}_n) = 0 \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}_t)$$

Chương III

ĐỘNG LỰC HỌC HỆ CHẤT ĐIỂM, ĐỘNG LỰC HỌC VẬT RẮN

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

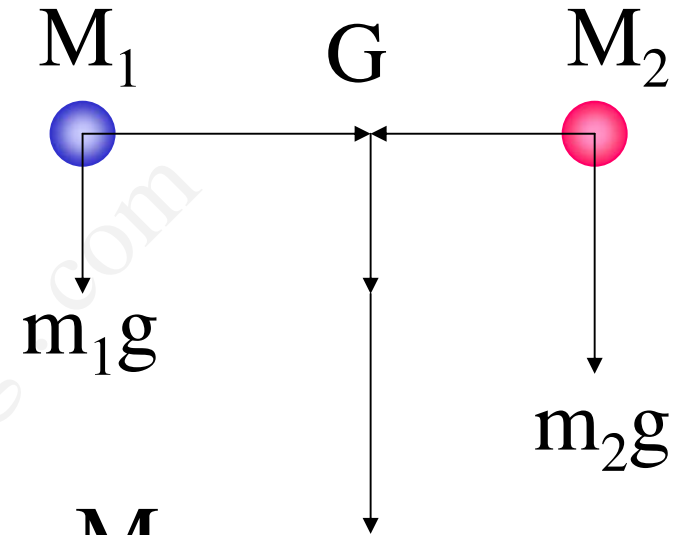
Trường ĐH Bách khoa Hà nội

1. Khối tâm: G

1.1. Định nghĩa

$$m_1 g \overrightarrow{M_1 G} = -m_2 g \overrightarrow{M_2 G}$$

$$m_1 \overrightarrow{M_1 G} + m_2 \overrightarrow{M_2 G} = 0$$



Khối tâm của hệ chất điểm $M_1, M_2, (m_1+m_2)g$,
..., M_n lần lượt có khối lượng $m_1, m_2,$
..., m_n là điểm G xác định bởi đẳng

thức: $m_1 \overrightarrow{M_1 G} + m_2 \overrightarrow{M_2 G} + \dots + m_n \overrightarrow{M_n G} = 0$

$$\sum_{i=1}^n m_i \overrightarrow{M_i G} = 0$$

1.2. Toạ độ khối tâm

Đối với một gốc O

$$\vec{R}_G = \vec{r}_i + \overrightarrow{M_i G}$$

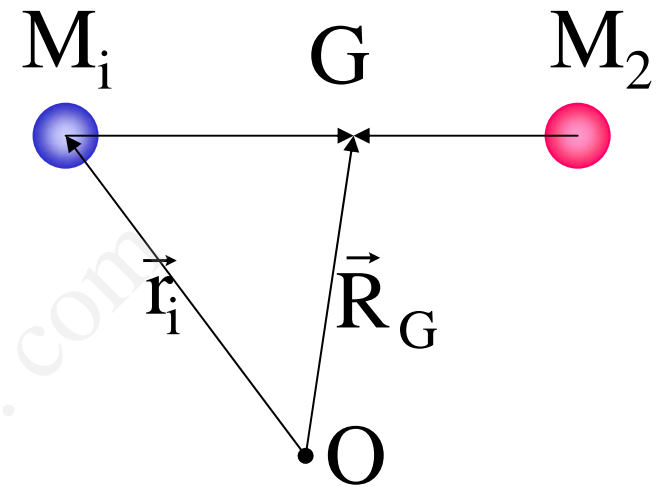
$$m_i \vec{R}_G = m_i \vec{r}_i + m_i \overrightarrow{M_i G}$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{R}_G = \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i + \sum_{i=1}^n m_i \overrightarrow{M_i G}$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{R}_G = \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i$$

$$M_i(x_i, y_i, z_i)$$

$$R_G(X_G, Y_G, Z_G)$$



$$\Rightarrow \vec{R}_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$\Rightarrow X_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

1.3. Vận tốc khối tâm

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

Tổng động
lượng của cả hệ

$$\vec{K} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i \Rightarrow \vec{K} = \left(\sum_{i=1}^n m_i \right) \cdot \vec{V}_G$$

Tổng động lượng của cả hệ = động lượng của một chất điểm đặt tại khối tâm, có khối lượng bằng tổng khối lượng cả hệ, có vận tốc bằng vận tốc của khối tâm của hệ

1.4. Phương trình chuyển động của khối tâm

Hệ chất điểm M_1, M_2, \dots, M_n

có khối lượng m_1, m_2, \dots, m_n

Chịu tác dụng lực $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$

Có gia tốc $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$

Đối với chất điểm thứ i : Lấy tổng cho cả hệ:

$$m_i \vec{a}_i = \vec{F}_i$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}$$

$$\vec{V}_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$\frac{d\vec{V}_G}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$\vec{A}_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\vec{F}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

$$\left(\sum_{i=1}^n m_i\right) \cdot \vec{A}_G = \vec{F}$$

Khối tâm của hệ chuyển động như chất điểm có khối lượng bằng khối lượng của hệ và chịu tác dụng của một lực bằng tổng hợp ngoại lực tác dụng lên hệ.

2. Chuyển động của vật rắn

Vật rắn là hệ chất điểm mà vị trí tương đối giữa các chất điểm đó không thay đổi

2.1. Chuyển động tịnh tiến: Tại mỗi thời điểm tất cả các chất điểm của vật rắn có cùng véc tơ vận tốc và véc tơ gia tốc.

Hệ chất điểm	M_1, M_2, \dots, M_n	$m_1 \vec{a} = \vec{F}_1$
có khối lượng	m_1, m_2, \dots, m_n	$m_2 \vec{a} = \vec{F}_2$
Chịu tác dụng lực	$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$
Có gia tốc	$\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = \dots = \vec{a}_n = \vec{a}$	$m_n \vec{a} = \vec{F}_n$

Chỉ cần khảo sát chuyển động của khối tâm của vật rắn

$$\left(\sum_{i=1}^n m_i \right) \cdot \vec{a} = \vec{F}$$

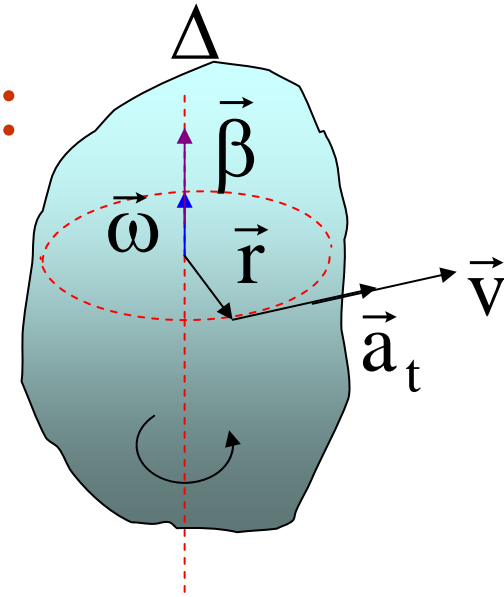
2.2. Chuyển động quay

Động học vật rắn quay quanh 1 trục:

Mọi điểm có quỹ đạo tròn cùng trục Δ

Trong cùng khoảng thời gian mọi điểm **cùng** quay đi góc θ

Mọi điểm có **cùng** vận tốc góc
 $\omega = d\theta/dt$ và gia tốc góc $\beta = d\omega/dt = d^2\theta/dt^2$



Tại mọi thời điểm \vec{v} và \vec{a}_t
của một điểm được xác định

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$$\vec{a}_t = \vec{\beta} \times \vec{r}$$

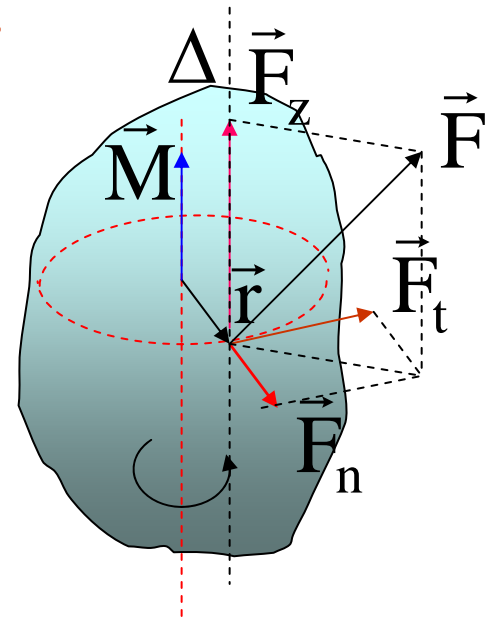
3. Phương trình cơ bản của chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định:

3.1. Tác dụng của lực

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

\vec{F}_n và \vec{F}_z đồng phẳng với trục quay không gây quay vì

$\vec{F}_z \parallel \Delta$ \vec{F}_n xuyên tâm



Trong chuyển động quay của vật rắn quanh một trục chỉ có thành phần \vec{F}_t tiếp tuyến với quỹ đạo của điểm đặt mới có tác dụng thực sự

Mômen của lực $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}_t$ $M = r.F_t.\sin \alpha = r.F_t$

Mômen của lực đối với trục quay chính là mômen của lực \vec{F}_t đối với O - giao điểm của trục với mặt phẳng của quỹ đạo điểm đặt lực

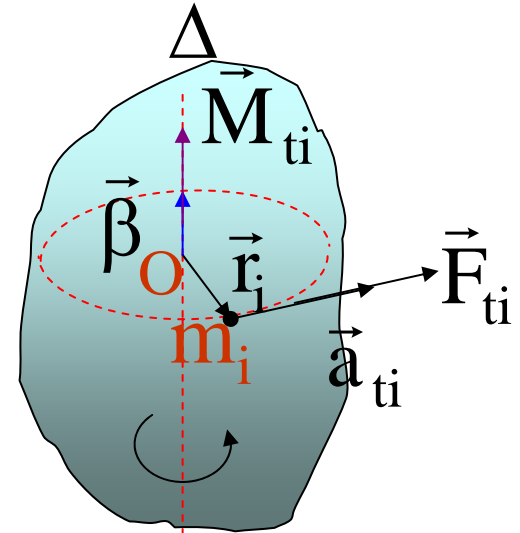
3.2. Phương trình cơ bản của chuyển động quay

Chất điểm thứ i $m_i \vec{a}_{ti} = \vec{F}_{ti}$

$$m_i \vec{r}_i \times \vec{a}_{ti} = \vec{r}_i \times \vec{F}_{ti}$$

$$\vec{r}_i \times \vec{a}_{ti} = \vec{r}_i \times (\vec{\beta} \times \vec{r}_i) = \vec{\beta} \cdot (\vec{r}_i \cdot \vec{r}_i) - \vec{r}_i (\vec{r}_i \cdot \vec{\beta}) \quad \vec{r}_i (\vec{r}_i \cdot \vec{\beta}) = 0$$

$$m_i r_i^2 \cdot \vec{\beta} = \vec{r}_i \times \vec{F}_{ti} = \vec{M}_{ti} \quad \left(\sum m_i r_i^2 \right) \cdot \vec{\beta} = \sum \vec{M}_{ti}$$



$$I \vec{\beta} = \vec{M}$$

$I \vec{\beta} = \vec{M} \quad (\sum m_i r_i^2) = I$ Mômen quán tính của vật đối với trục quay

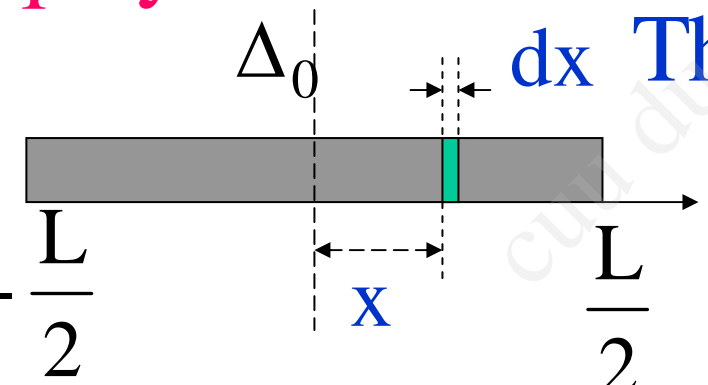
$\sum \vec{M}_{ti} = \vec{M}$ Tổng hợp mômen của các lực gây quay

Gia tốc góc $\sim M$ và \sim nghịch với I

$I \leftrightarrow m$ và $M \leftrightarrow F$

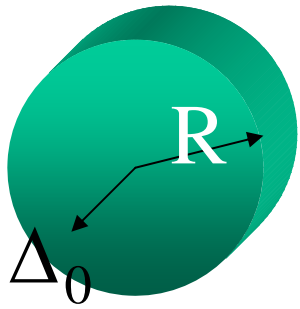
3.3. Tính mômen quán tính của vật đối với trục quay:

Δ_0 dx Thanh đều: Khối lượng M , dài L

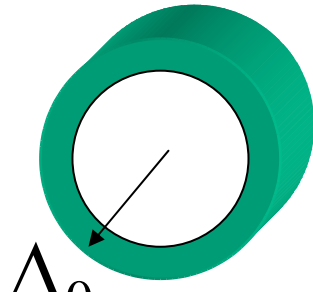


$$dI = x^2 \cdot \frac{M}{L} dx$$

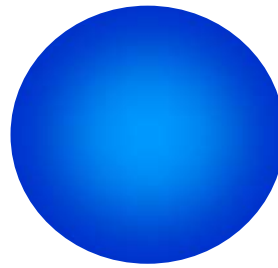
$$I_0 = \int_{-L/2}^{L/2} x^2 \cdot \frac{M}{L} dx = \frac{M}{L} \int_{-L/2}^{L/2} x^2 \cdot dx = \frac{ML^2}{12}$$



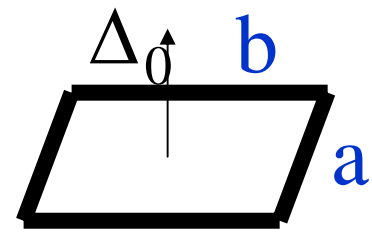
$$I_0 = \frac{MR^2}{2}$$



$$I_0 = MR^2$$



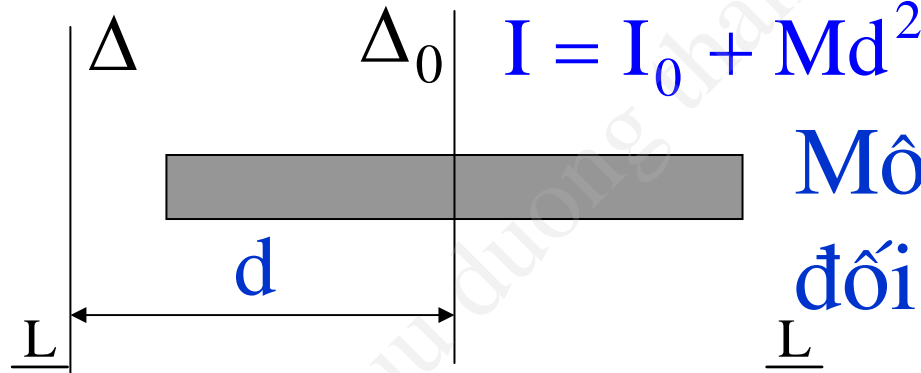
$$I_0 = \frac{2}{5}MR^2$$



$$I_0 = \frac{M}{12}(a^2 + b^2)$$

Định lý Steiner-Huyghen:

Mômen QT của vật rắn đối với trục bất kỳ =...



$$I_{\Delta} = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} (d + x)^2 \cdot \frac{M}{L} dx = \frac{M}{L} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} (d + x)^2 \cdot dx = \frac{ML^2}{12} + Md^2$$

4. Mômen động lượng của hệ chất điểm

4.1. Mômen động lượng của hệ chất điểm đối với gốc O

Hệ chất điểm M_1, M_2, \dots, M_n

có khối lượng m_1, m_2, \dots, m_n

Vị trí đối với gốc O $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_n$

Có vận tốc $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n$

Mômen động lượng của hệ đối với O

$$\vec{L} = \sum \vec{L}_i = \sum \vec{r}_i \times m_i \vec{v}_i$$

Mômen động lượng của hệ chất điểm quay quanh trục Δ

$$\vec{L} = \sum \vec{L}_i = \sum_i I_i \vec{\omega}_i$$

Mômen động lượng của hệ
là vật rắn quay quanh trục Δ

$$\vec{L} = \sum \vec{L}_i = \sum_i I_i \vec{\omega}_i$$

$$\vec{\omega}_1 = \vec{\omega}_2 = \dots = \vec{\omega}_n = \vec{\omega}$$

$$\vec{L} = \left(\sum_i I_i \right) \cdot \vec{\omega} = I \vec{\omega}$$

$$I = \sum_i I_i = \sum_i m_i r_i^2$$

4.2. Định lý về mômen động lượng của hệ chất
điểm

Một chất điểm $\frac{d\vec{L}_i}{dt} = \vec{\mu}_{/0}(\vec{F}_i) \Rightarrow \sum_i \frac{d\vec{L}_i}{dt} = \sum_i \vec{\mu}_{/0}(\vec{F}_i)$

$$\sum_i \frac{d\vec{L}_i}{dt} = \frac{d}{dt} \sum_i \vec{L}_i = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$$

$$\sum_i \vec{\mu}_{/0}(\vec{F}_i) = \vec{M}$$

Đạo hàm theo thời gian mômen động
lượng của hệ = tổng hợp các mômen
ngoại lực tđụng lên hệ đối với gốc O

Trường hợp hệ là vật
rắn quay quanh trục Δ

$$\vec{L} = \left(\sum_i I_i \right) \cdot \vec{\omega} = I \vec{\omega}$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = \vec{M} \Rightarrow \Delta\vec{L} = \vec{L}_2 - \vec{L}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{M} dt$$

$$\vec{M} = \overrightarrow{\text{const}} \Rightarrow \Delta\vec{L} = \vec{M} \Delta t$$

Độ biến thiên của mômen động lượng trong
khoảng thời gian Δt bằng xung lượng của
mômen lực trong khoảng thời gian đó

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

$$I = \text{const}$$

5. Định luật bảo toàn mômen động lượng

5.1. Thiết lập: Hệ chất điểm chịu tác dụng ngoại lực với mômen đối với gốc O bằng 0

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$$

Hệ cô lập, $M_{/O}=0$
-> $L=\text{const}$

5.2. Hệ quay quanh một trục cố định

$$\frac{d}{dt} (I_1 \vec{\omega}_1 + I_2 \vec{\omega}_2 + \dots + I_n \vec{\omega}_n) = \vec{M} = 0$$

$$I_1 \vec{\omega}_1 + I_2 \vec{\omega}_2 + \dots + I_n \vec{\omega}_n = \overrightarrow{\text{const}}$$

5.3. Ứng dụng: Hệ quay quanh một trục cố định với vận tốc góc không đổi

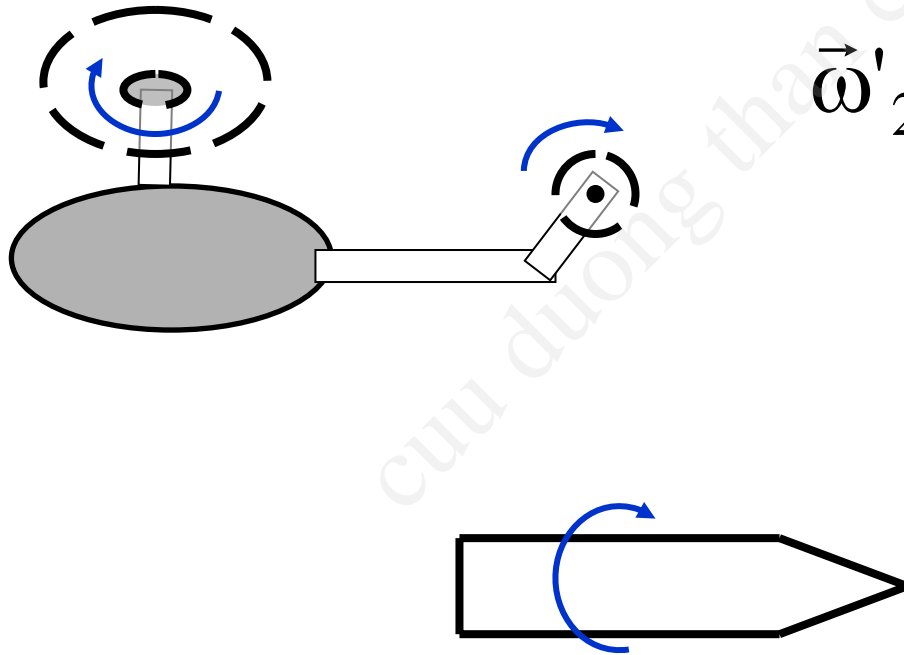
$$I \cdot \omega = \text{const}$$

Ghế Giukốpki quay quanh một trục cố định

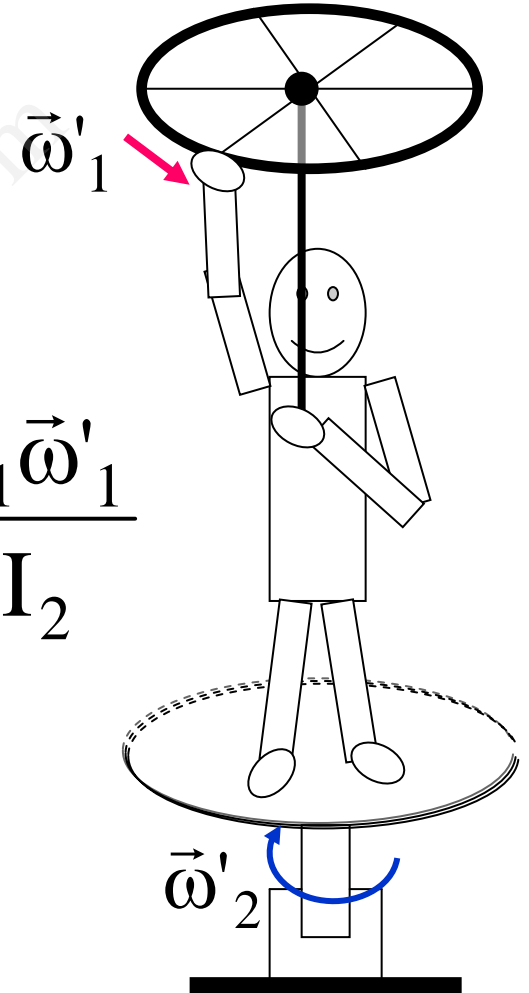
$$I_1 \vec{\omega}_1 + I_2 \vec{\omega}_2 = \overrightarrow{\text{const}} = 0$$

$I_1 \vec{\omega}_1$ của bánh xe

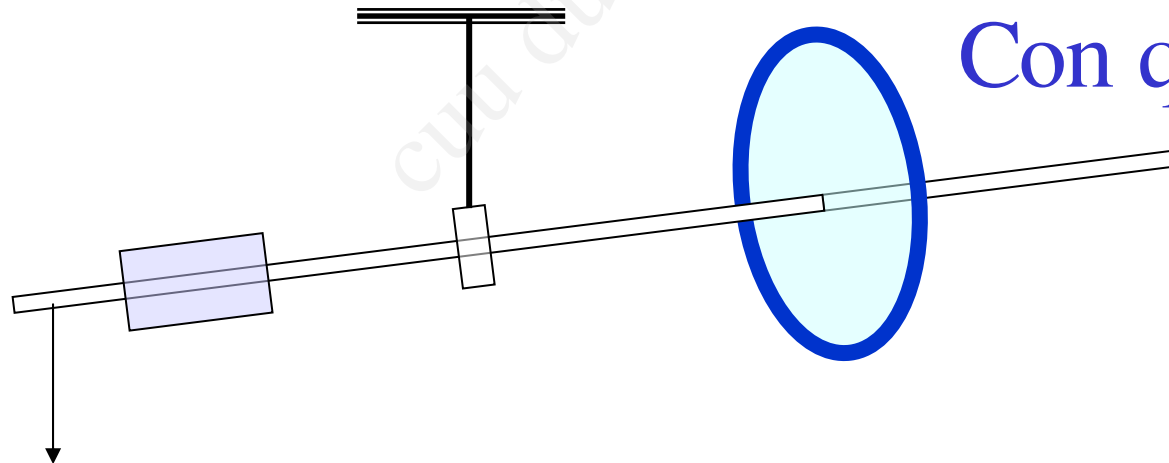
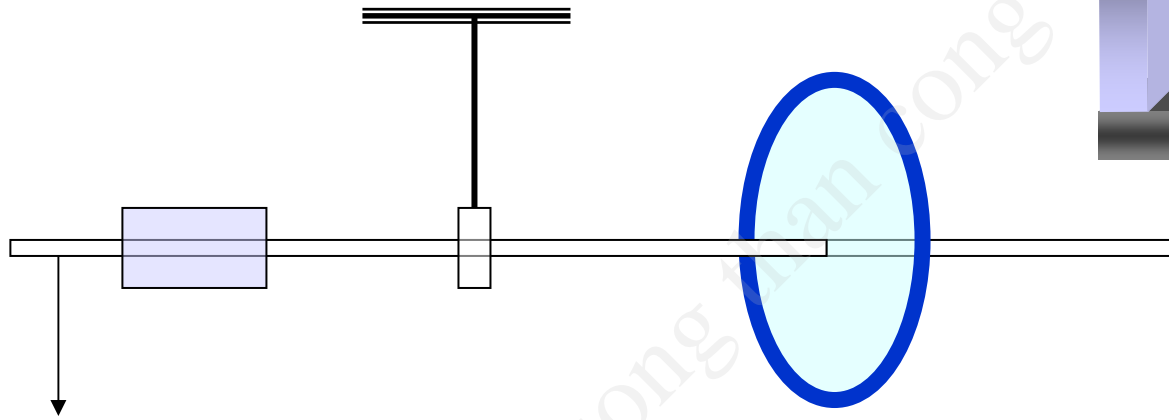
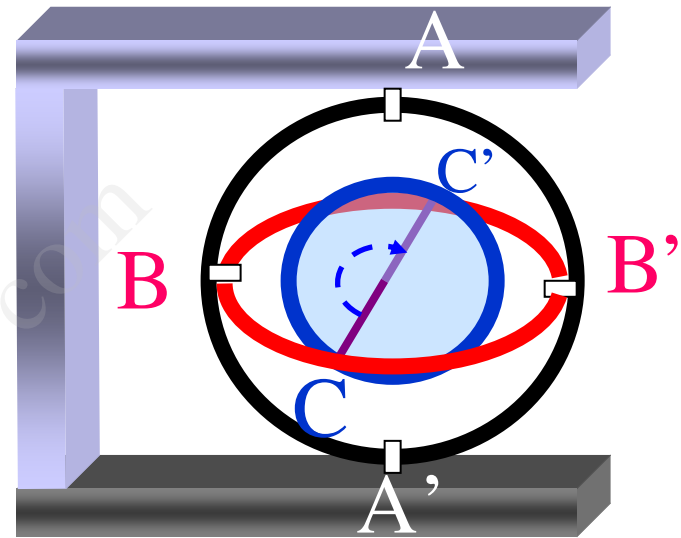
$I_2 \vec{\omega}_2$ của người & ghế



$$\vec{\omega}'_2 = -\frac{I_1 \vec{\omega}'_1}{I_2}$$

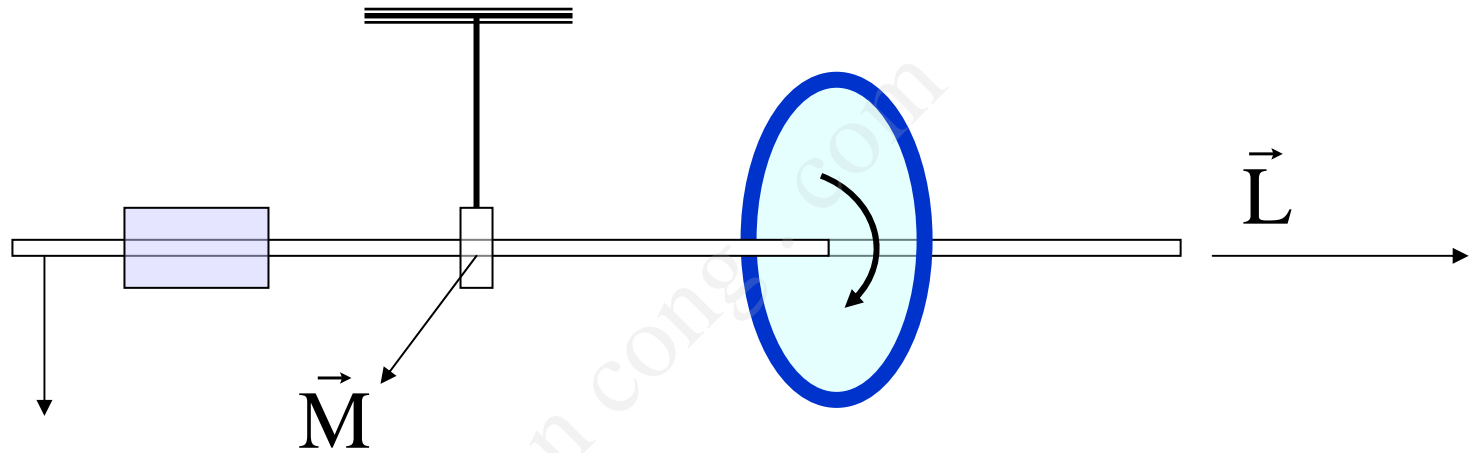


6. Con quay trục quay tự do

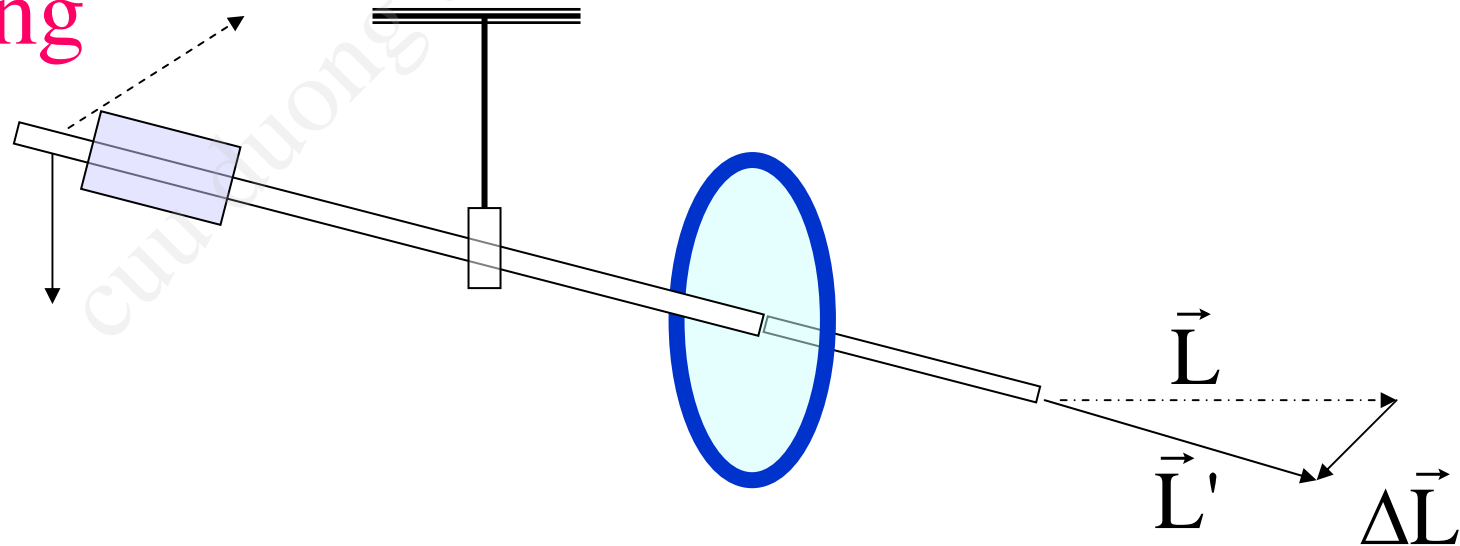


Con quay Các đẳng

Con quay đang quay



quay ngang



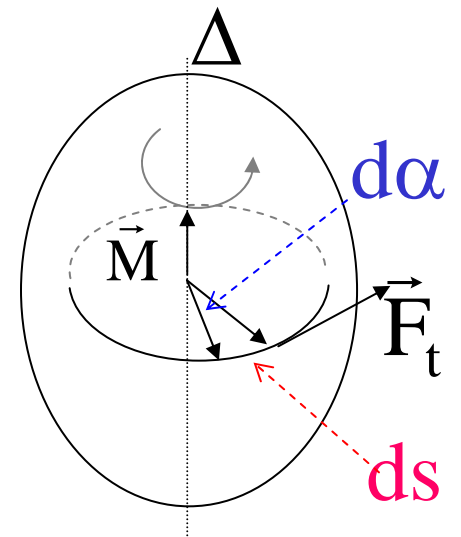
7. Công và động năng của vật rắn

7.1. Công và công suất của lực tác dụng trong chuyển động quay của vật rắn

$$dA = F_t \cdot ds \quad ds = r \cdot d\alpha$$

$$dA = r \cdot F_t \cdot d\alpha = M \cdot d\alpha$$

$$P = \frac{dA}{dt} = M \cdot \frac{d\alpha}{dt} = M\omega$$



$$P = \vec{M} \cdot \vec{\omega}$$

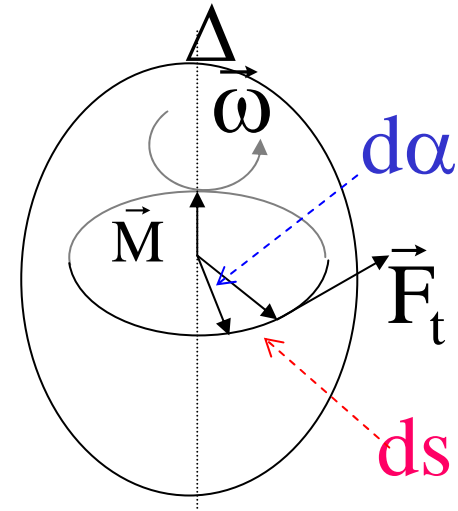
7.2. Động năng trong trường hợp vật rắn quay

$$\mathbf{P} = \mathbf{\vec{M}} \cdot \mathbf{\vec{\omega}} \quad dA = P \cdot dt = \mathbf{\vec{M}} \mathbf{\vec{\omega}} dt$$

$$dA = I \beta \omega dt = I \omega d\omega$$

$$A_{1,2} = \frac{I \omega_2^2}{2} - \frac{I \omega_1^2}{2}$$

$$W_{\text{đ}} = \frac{I \omega^2}{2}$$



Động năng vật rắn lăn không trượt = Động năng chuyển động tịnh tiến + Động năng chuyển động quay:

$$W_{\text{đ}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2}$$

Chương IV

CƠ NĂNG & TRƯỜNG LỰC THỂ

Bài giảng Vật lý đại cương

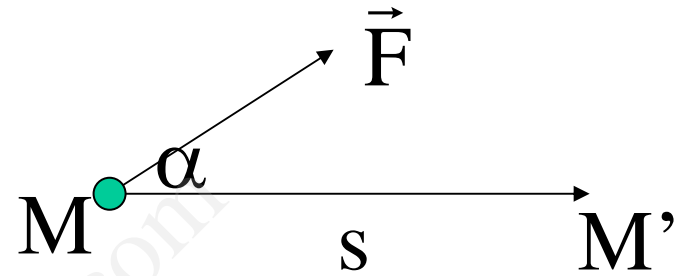
Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

1. Công và công suất

1.1. Định nghĩa: $A = \vec{F} \cdot \vec{s}$



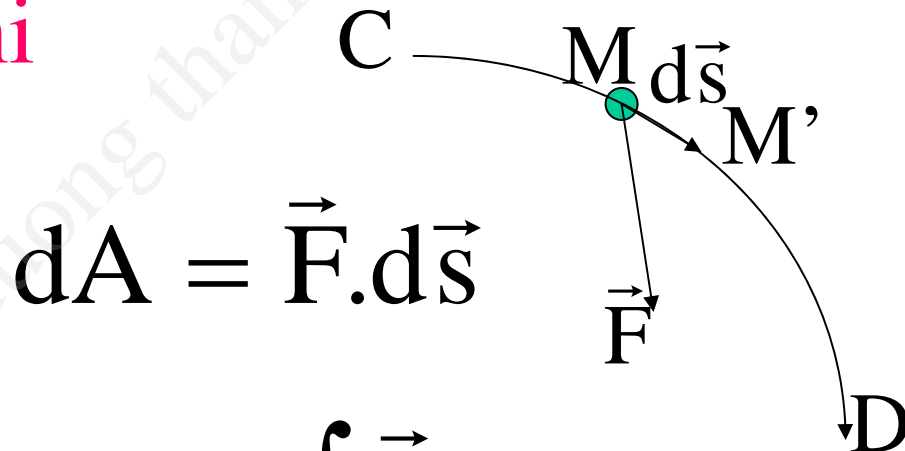
$$A = F \cdot MM' \cdot \cos \alpha$$

$\cos \alpha > 0$ Lực phát động

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$\cos \alpha < 0$ Lực cản

Lực sinh công khi
điểm đặt của nó
chuyển dời



$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

$$A = \int_{\overset{\curvearrowright}{CD}} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

1.2. Công suất

Trong khoảng thời gian Δt lực sinh công $\Delta A \rightarrow$ công suất trung bình: $\bar{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$

Công suất tức thời $P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}$

Công suất có giá trị = đạo hàm của công theo thời gian $dA = \vec{F} \cdot d\vec{s}$

$$P = \vec{F} \frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Công suất bằng tích vô hướng của lực tác dụng với véc tơ vận tốc của chuyển dời

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

2. Năng lượng

Một vật ở trạng thái xác định có năng lượng xác định.

Năng lượng là hàm của trạng thái.

Hệ thực hiện một công năng lượng thay đổi:

$$W_2 - W_1 = A$$

Độ biến thiên năng lượng của một hệ trong một quá trình = công mà hệ nhận được trong qtrình đó

$A > 0$ hệ nhận công; $A < 0$ hệ sinh công

Nếu $A = 0$, năng lượng hệ không đổi: $W_2 = W_1 = \text{const}$

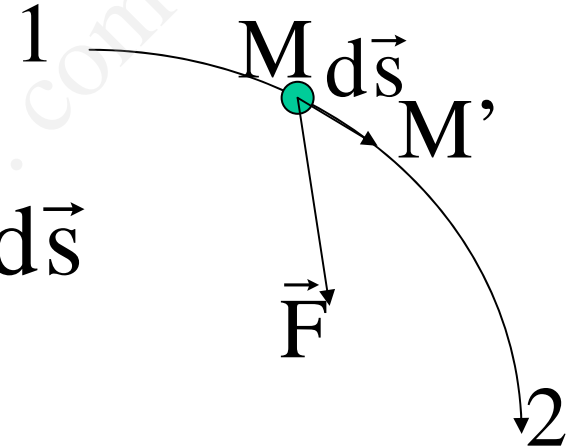
ĐL bảo toàn năng lượng: Năng lượng của hệ cô lập được bảo toàn

Công là hàm của quá trình; Hệ sinh công năng lượng giảm \rightarrow không thể sinh công mãi mãi mà không nhận năng lượng từ bên ngoài.

3. **Động năng:** Phần năng lượng ứng với chuyển động của vật

3.1. **Định lý** về động năng

$$\begin{aligned} A &= \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_{(1)}^{(2)} m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{s} \\ \vec{F} &= m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \\ A_{1,2} &= \int_{(1)}^{(2)} m \vec{v} d\vec{v} = \int_{(1)}^{(2)} d\left(\frac{m\vec{v}^2}{2}\right) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \\ W_{đ2} &= \frac{mv_2^2}{2} \quad W_{đ1} = \frac{mv_1^2}{2} \end{aligned}$$



Độ biến thiên động năng của chất điểm trong quỹ đạo nào đó có giá trị bằng công của ngoại lực tác dụng lên chất điểm trong quỹ đạo đó

$$A_{12} = W_{đ2} - W_{đ1} \quad W_{đ} = \frac{mv^2}{2}$$

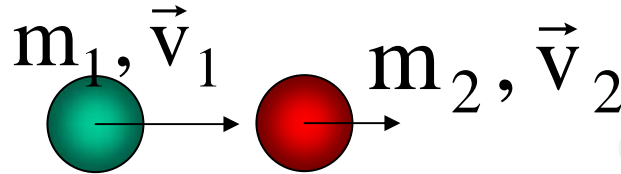
$W_{đ2} > W_{đ1} \Rightarrow$ Lực phát động sinh công

$W_{đ2} < W_{đ1} \Rightarrow$ Lực cản

Động năng vật rắn lăn không trượt = Động năng chuyển động tịnh tiến + Động năng chuyển động quay:

$$W_{đ} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$$

4. Va chạm xuyên tâm



Hệ cô lập >> Định luật bảo toàn động lượng

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

Va chạm đàn hồi Định luật bảo toàn động năng:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$$

Thay $v_1' = v_2 + v_2' - v_1$ có

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

Các trường hợp riêng:

$$m_1 = m_2 \Rightarrow v_1' = v_2 \text{ và } v_2' = v_1;$$

$$m_1 \ll m_2 \Rightarrow v_1' \approx -v_1 \text{ và } v_2' \approx v_2$$

Va chạm mềm: Sau va

chạm hai vật dính vào nhau $v = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$

Vận tốc chung sau va

chạm:

$$m_1 + m_2$$

Cơ năng không bảo toàn vì toả nhiệt, thành năng lượng liên kết, gây biến dạng v.v..

Động năng giảm:

$$|\Delta W_d| = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}$$

$$\Delta W_d = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2$$

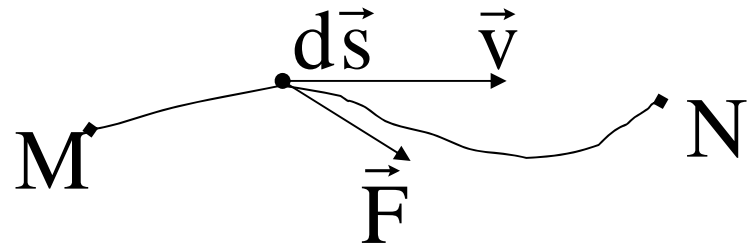
5. Trường lực thế

5.1. Định nghĩa trường lực thế

Trường lực: Tại mọi vị trí trong trường lực chất điểm đều bị lực tác dụng

$$\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z)$$

$$A_{MN} = \int_{MN} \vec{F} d\vec{s}$$



Nếu công A_{MN} không phụ thuộc vào dạng đường đi mà chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối thì $\vec{F}(\vec{r})$ là lực của **trường lực thế**

$$\oint \vec{F} d\vec{s} = 0$$

5.2. Ví dụ về trường lực thế

Trọng trường đều: Gần mặt đất $g = \text{const}$

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

$$A_{MN} = \int_{MN} \vec{P} d\vec{s}$$

$$dA = \vec{P} d\vec{s} = mg ds \cdot \cos \alpha$$

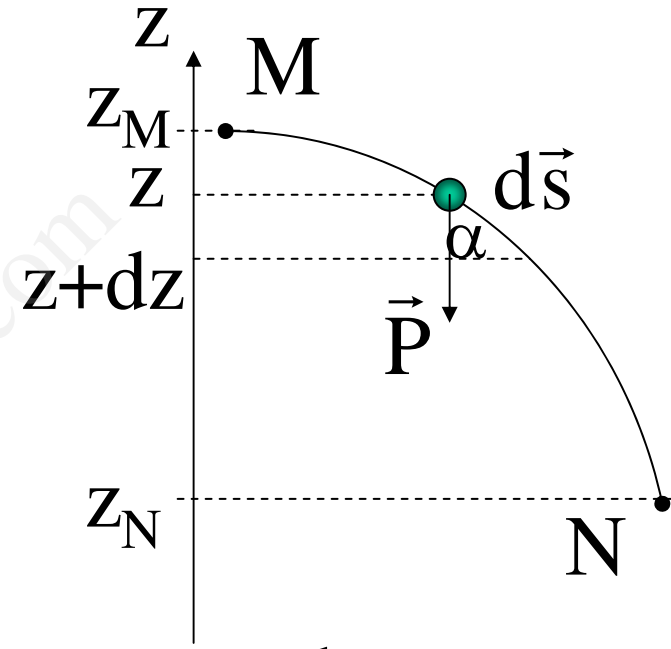
$$ds \cdot \cos \alpha = dz$$

$$dA = -mg dz$$

Dấu - do độ cao giảm

$$A_{MN} = - \int_{z_M}^{z_N} mg dz = mg(z_M - z_N)$$

$$\oint \vec{P} d\vec{s} = 0$$



Công của lực hấp dẫn chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của chuyển dời

6. Thế năng

Định nghĩa: Thế năng của chất điểm trong trường lực thế là một hàm W_t phụ thuộc vào vị trí của chất điểm sao cho $A_{MN} = W_t(M) - W_t(N)$

Thế năng được định nghĩa sai khác một hằng số cộng:

$$W_t(z) = mgz + C$$

Tính chất: Thế năng được định nghĩa sai khác một hằng số cộng, nhưng hiệu thế năng giữa 2 điểm xác định

- Giữa trường lực thế và thế năng: $\oint \vec{F} d\vec{s} = 0$
- Thế năng là dạng năng lượng đặc trưng cho tương tác

7. Định luật bảo toàn cơ năng trong trường lực thế

7.1. **Cơ năng**: Chất điểm chuyển động trong trường lực thế

$$\text{Cơ năng: } W = W_{đ} + W_t$$

7.2. **Định luật**: $A_{MN} = W_t(M) - W_t(N)$

$$A_{MN} = W_{đ}(N) - W_{đ}(M)$$

$$\Rightarrow W_{đ}(M) + W_t(M) = W_t(N) + W_{đ}(N)$$

$$\Rightarrow W = W_{đ} + W_t = \text{const}$$

Chất điểm chuyển động trong trường lực thế mà không chịu tác dụng của lực nào khác thì cơ năng của nó được bảo toàn.

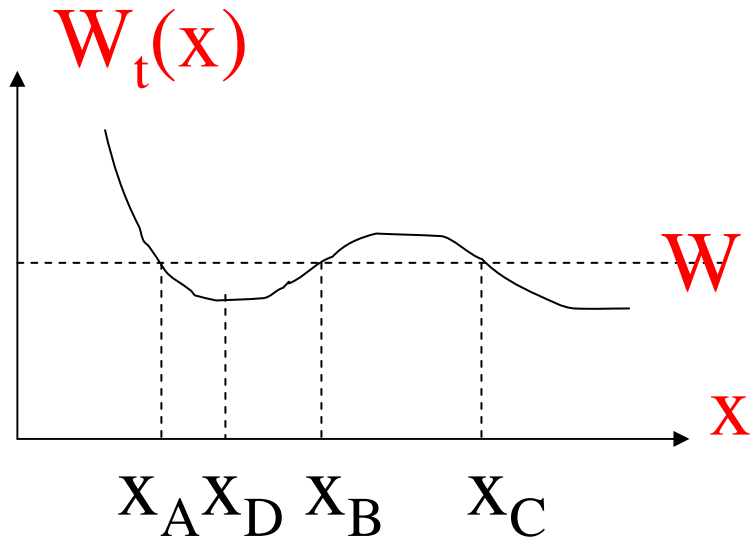
Trong trọng trường đều (gần mặt đất):

$$W = W_{đ} + mgh = \text{const}$$

7.3. Sơ đồ thế năng $W_t = W_t(x, y, z)$

$$W = mv^2/2 + W_t = \text{const}$$

$$W_t(x) \leq W$$



Thế năng của chất điểm không thể vượt quá cơ năng của nó

Toạ độ của chất điểm nằm trong phạm vi:

$$x_A \leq x \leq x_B \text{ và } x \geq x_C$$

Tại x_D thế năng đạt cực tiểu

Chương V

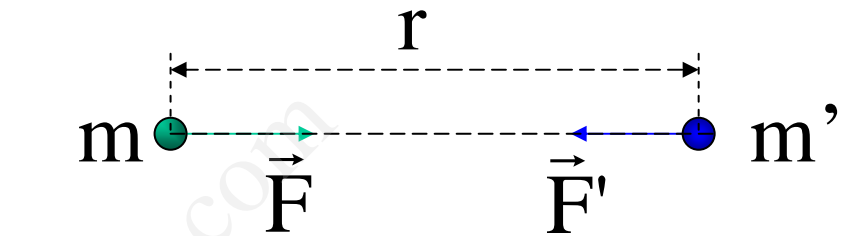
TRƯỜNG HẤP DẪN

1. Định luật Niuton về lực hấp dẫn vũ trụ

1.1. Phát biểu định luật

$$\vec{F} + \vec{F}' = 0$$

$$F = G \frac{mm'}{r^2}$$



$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$$

Hằng số hấp dẫn vũ trụ

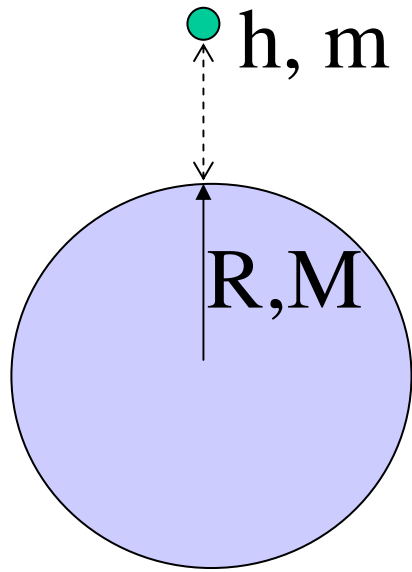
2 chất điểm có khối lượng m, m' **hút nhau**
những lực F và F' có cùng phương là đường thẳng nối 2 chất điểm, cùng độ lớn tỷ lệ với m và m' tỷ lệ nghịch r^2

$$m = m' = 60\text{kg}, r = 0,1\text{m} \Rightarrow F = 2,4 \cdot 10^{-5}\text{N}$$

- Áp dụng cho 2 chất điểm
- Áp dụng cho 2 hai quả cầu đồng chất

1.2. Ứng dụng

Sự thay đổi gia tốc trọng trường theo độ cao



$$P = mg = G \frac{Mm}{(R + h)^2}$$

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

Trên mặt đất $g_0 = G \frac{M}{R^2}$

$$g = g_0 \left(\frac{R}{R + h} \right)^2$$

Gần mặt đất $h \ll R$

$$g_0 \approx 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$g = g_0 \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{R}\right)^2} \approx g_0 \left(1 - 2 \frac{h}{R}\right)$$

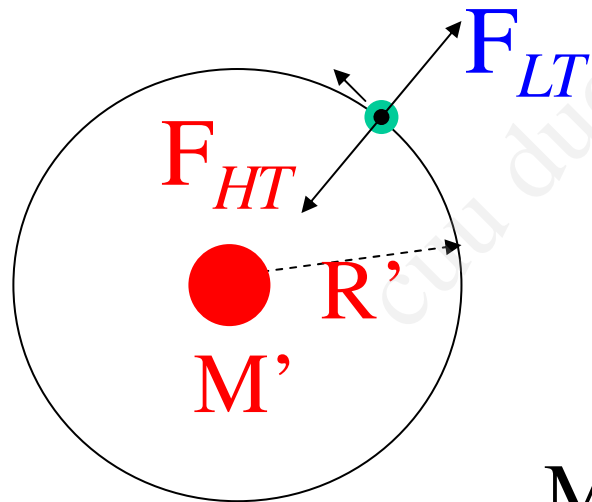
Tính khối lượng của các thiên thể

Khối lượng của quả đất:

$$g_0 = G \frac{M}{R^2}$$

$$M = \frac{g_0 R^2}{G} = \frac{9,8(6,37 \cdot 10^6)^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Khối lượng của mặt trời: $F_{HT} = G \frac{MM'}{R'^2}$



$$F_{LT} = M \frac{v^2}{R'}$$

$$M' = \frac{R' v^2}{G}$$

$$v = \frac{2\pi R'}{T}$$

$$M' = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{R'^3}{G} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

2. Trường hấp dẫn

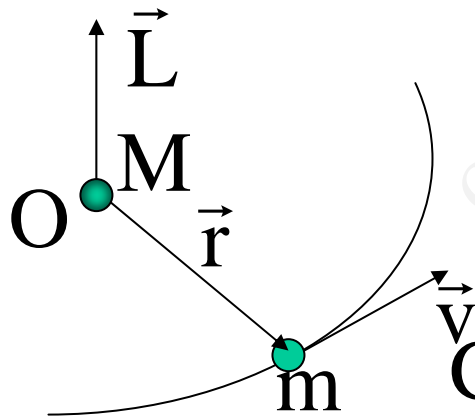
2.1. **Khái niệm** về trường hấp dẫn:

Xung quanh một vật có khối lượng tồn tại trường hấp dẫn

Bất cứ vật nào có khối lượng trong trường hấp dẫn đều chịu tác dụng của lực hấp dẫn: Lực trọng trường



2.2. **Bảo toàn mômen động lượng** trong trường hấp dẫn



$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu} /_0 (\vec{F}) = 0 \quad \text{Lực xuyên tâm}$$

$$\vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$$

Chuyển động trên quỹ đạo phẳng vuông góc với $L \Rightarrow$ Quỹ đạo trái đất phẳng

2.3. Tính chất trường hấp dẫn:

$$d\vec{s} = \vec{r}' - \vec{r}$$

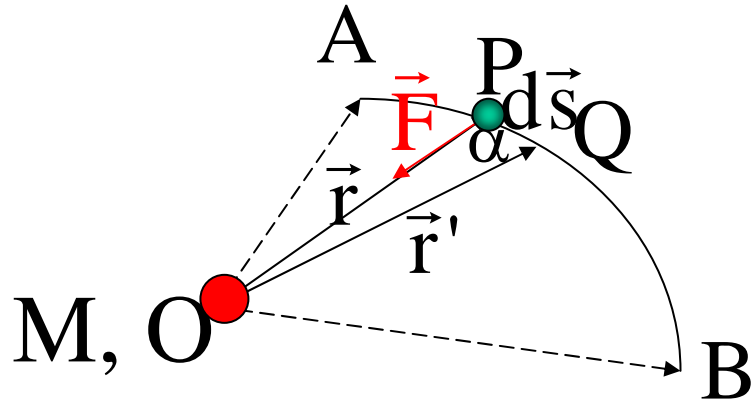
$$dA = \vec{F} d\vec{s} = F \cdot PQ \cdot \cos \alpha$$

$$PQ \cdot \cos \alpha = dr$$

Dấu - do r giảm,
 F là lực hút

A_{AB} chỉ phụ thuộc
 vào điểm đầu và
 điểm cuối của
 chuyển dời

\Rightarrow Trường lực thế



$$dA = -Fdr = -G \frac{Mm}{r^2} dr$$

$$A_{AB} = -GMm \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2}$$

$$A_{AB} = \left(-G \frac{Mm}{r_A} \right) - \left(-G \frac{Mm}{r_B} \right)$$

Dấu - thể hiện tương tác hút

Hệ quả
$$W_t = \left(-G \frac{Mm}{r}\right) + C \quad W_t(\infty)=0$$

Thế năng của chất điểm trong trường hấp dẫn được định nghĩa sai khác một hằng số cộng, nhưng hiệu thế năng giữa 2 điểm hoàn toàn xác định

2.4. **Bảo toàn cơ năng** của chất điểm trong trường hấp dẫn
$$W = W_d + W_t$$

$$W = \frac{mv^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{r}\right) = \text{const} \quad C = 0$$

r tăng \Rightarrow thế năng tăng, động năng giảm

4. Chuyển động trong trường hấp dẫn của trái đất

v_1 - Vận tốc vũ trụ cấp I

v_2 - Vận tốc vũ trụ cấp II

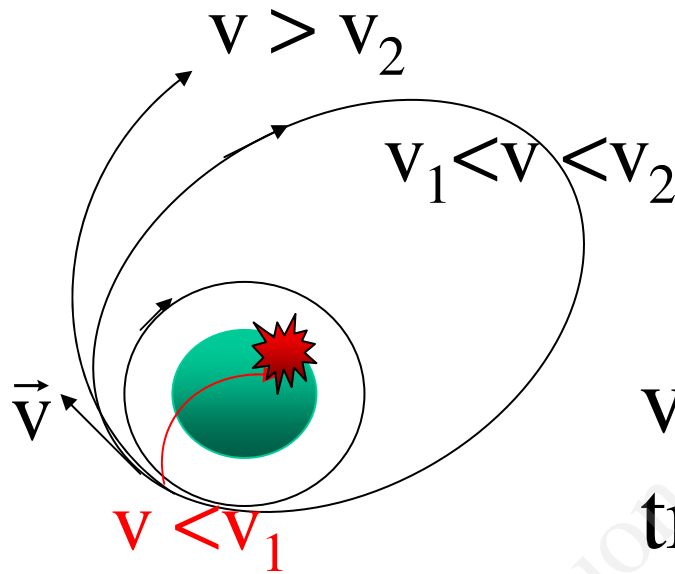
Bắn vật lên từ mặt đất:

$v < v_1$: Vật rơi trở lại mặt đất

$v = v_1$: Vật bay theo quỹ đạo tròn quanh trái đất

$v > v_2$: Vật bay khỏi trường hấp dẫn của trái đất

$v_1 < v < v_2$: Vật bay theo quỹ đạo Ellip quanh trái đất



Vận tốc vũ trụ cấp I

Gia tốc li tâm = gia tốc trọng trường.

Coi quỹ đạo gần mặt đất

$$a_0 = \frac{v_1^2}{R} = g_0 \quad v_1 = \sqrt{Rg_0} = 7,9 \text{ km/s}$$

Vận tốc vũ trụ cấp II

Cơ năng khi bắn = Cơ năng ở xa vô cùng

$$\frac{mv_2^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{R}\right) = \frac{mv_\infty^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{\infty}\right)$$

$$\frac{mv_2^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{R}\right) > 0 \quad v_2 \geq \sqrt{2Rg_0} = 11,2 \text{ km/s}$$

DAO ĐỘNG & SÓNG CƠ

(Chương 8-9)

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Tự đọc:

Dao động, Sóng

- Điều kiện
hệ dao động:

- Vị trí cân bằng
- Lực kéo về vị trí cân bằng
- Quán tính

✓ Tổng hợp hai dao động Cùng tần số ω cùng phương x

Cùng tần số, Phương vuông góc

$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} - 2 \frac{xy}{a_1 a_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

✓ Tổng hợp hai dao động vuông góc (Xem BT 1.1)

Cùng tần số ω :

$$x = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$y = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} - 2 \frac{xy}{a_1 a_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

❖ Sự hình thành sóng cơ trong môi trường chất

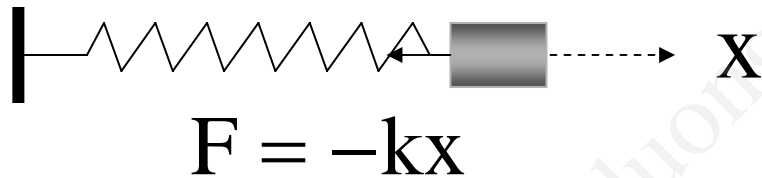
^ Các đặc trưng của sóng

Dao động: chuyển động được **lặp lại** nhiều lần theo thời gian

- **Điều kiện**
hệ dao động:

- Vị trí cân bằng
- Lực kéo về vị trí cân bằng
- Quán tính

1. Dao động cơ điều hoà



/ Không có ma sát ->
dao động cơ điều hoà

1.2. **Phương trình** dao động cơ điều hoà

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad \omega_0 > 0$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

0 Dao động điều hoà là dao động có độ dời là hàm số **SIN** hoặc **COS** theo thời gian

1.3. **Khảo sát dao động điều hoà**

- Biên độ dao động: $A = |x|_{\max}$

- Tần số góc riêng $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

- Pha của dao động: $(\omega_0 t + \varphi)$, $t=0 \rightarrow \varphi$ pha ban đầu.

- **Vận tốc con lắc:** $v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$

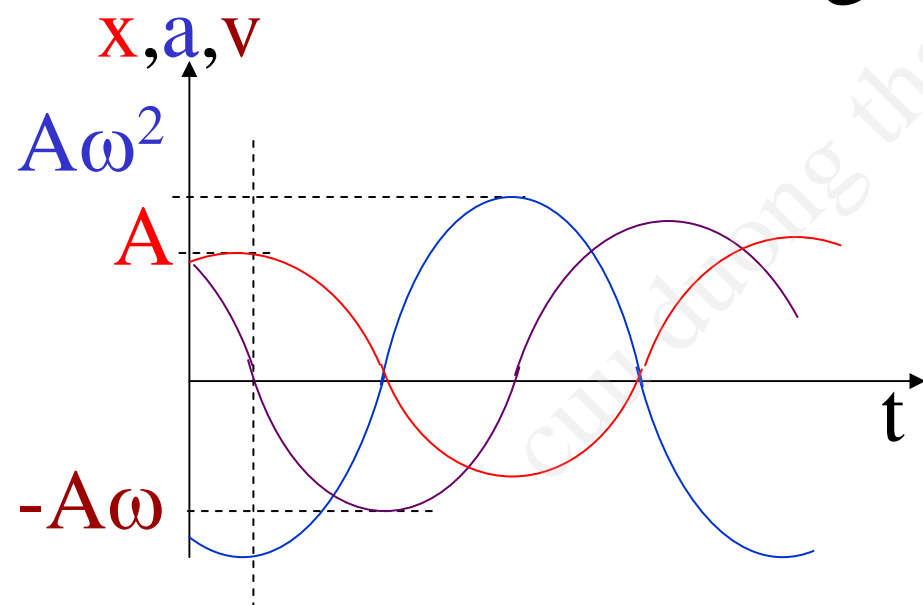
- Gia tốc con lắc $a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 x$

- Chu kì dao động: $x(t+T_0)=x(t)$,
 $v(t+T_0)=v(t)$, $a(t+T_0)=a(t)$

- Tần số riêng

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\nu_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{\omega_0}{2\pi}$$



- Năng lượng dao động điều hoà

$$W_d = \frac{1}{2} m v^2$$

$$= \frac{1}{2} m A^2 \omega_0^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$

Công do lực đàn hồi:

$$A_t = \int_0^x F dx = \int_0^x -kx dx = -\frac{kx^2}{2} \quad W_{t0} - W_t = -\frac{kx^2}{2}$$

Thế năng:

$$W_t = \frac{kx^2}{2} = \frac{1}{2}kA^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi) \quad k = m\omega_0^2$$

$$W_{tg} = W_d + W_t = \frac{1}{2}kA^2 [\sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \cos^2(\omega_0 t + \varphi)]$$

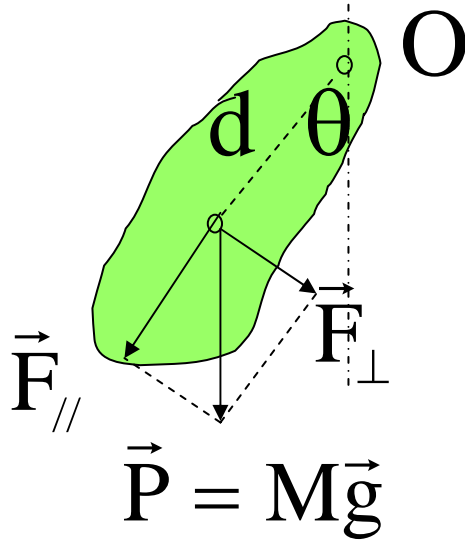
$$W = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega_0^2 = \text{const}$$

Tần số góc riêng

$$\omega_0 = \frac{1}{A} \sqrt{\frac{2W}{m}}$$

1.5. Con lắc vật lý

$$\vec{P} = \vec{F}_{//} + \vec{F}_{\perp}$$



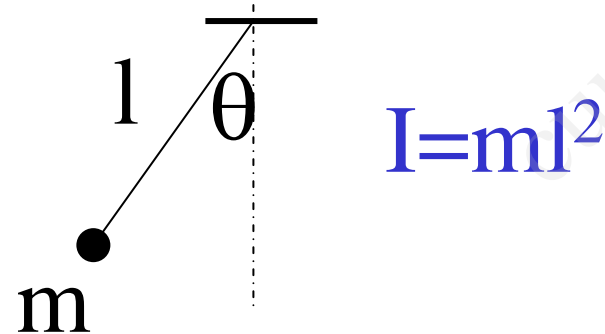
$$|\vec{F}_{\perp}| = Mg \sin \theta \approx Mg\theta$$

Phương trình cơ bản của vật rắn quay quanh trục O

$$I\beta = I \frac{d^2\theta}{dt^2} = \mu \quad I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -Mg\theta d$$

$$\mu = -dF_{\perp} = -dMg\theta$$

Con lắc đơn



$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{Mgd}{I} \theta = 0 \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{Mgd}{I}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{ml^2}} = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

2. Dao động cơ tắt dần

Do ma sát biên độ giảm dần theo thời gian=> tắt dần

Lực ma sát: $F_C = -rv$

2.1. Phương trình dao động tắt dần

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \frac{r}{m} = 2\beta \quad \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi) \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

2.2. Khảo sát dao động tắt dần

Biên độ dao động theo thời gian $A = A_0 e^{-\beta t}$

$$-A_0 e^{-\beta t} \leq x \leq A_0 e^{-\beta t}$$

Lượng giảm loga

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln e^{\beta T}$$

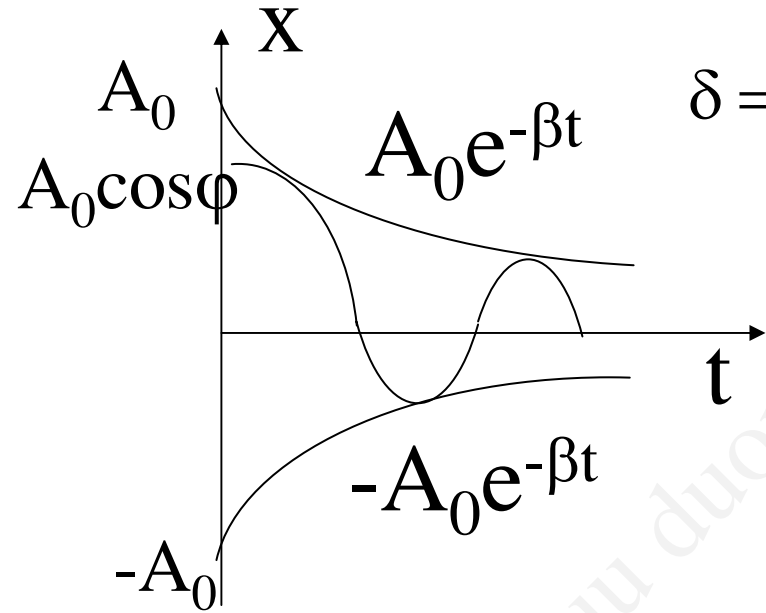
$$\delta = \beta T$$

Nhận xét:

- $T > T_0$
- $\omega_0 > \beta$ mới có dao động

- $\omega_0 \leq \beta$ lực cản quá lớn không có dao động

Biên độ giảm theo dạng hàm e mũ $\rightarrow 0$



3. Dao động cơ **cưỡng bức**

- Dao động dưới tác động ngoại lực tuần hoàn.
(bù năng lượng thắng lực cản) -> Hệ dao động với tần số cưỡng bức

3.1. Phương trình dao động cơ cưỡng bức

Lực đàn hồi: $F_{dh} = -kx$, **Lực cản:** $F_C = -rv$,

Lực cưỡng bức: $F_{CB} = H \cos \Omega t$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = \frac{H}{m} \cos \Omega t$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{H}{m} \cos \Omega t$$

$$\frac{r}{m} = 2\beta$$

. Phương trình không thuần nhất có nghiệm:

$$x = x_{td} + x_{cb}$$

- Sau thời gian dao động tắt dần bị tắt, chỉ còn lại dao động cưỡng bức:

H

$$x = x_{cb} = A \cos(\Omega t + \Phi)$$

$$A = \frac{H}{m \sqrt{(\Omega^2 - \omega_0^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}}$$

$$\operatorname{tg} \Phi = - \frac{2\beta \Omega}{\Omega^2 - \omega_0^2}$$

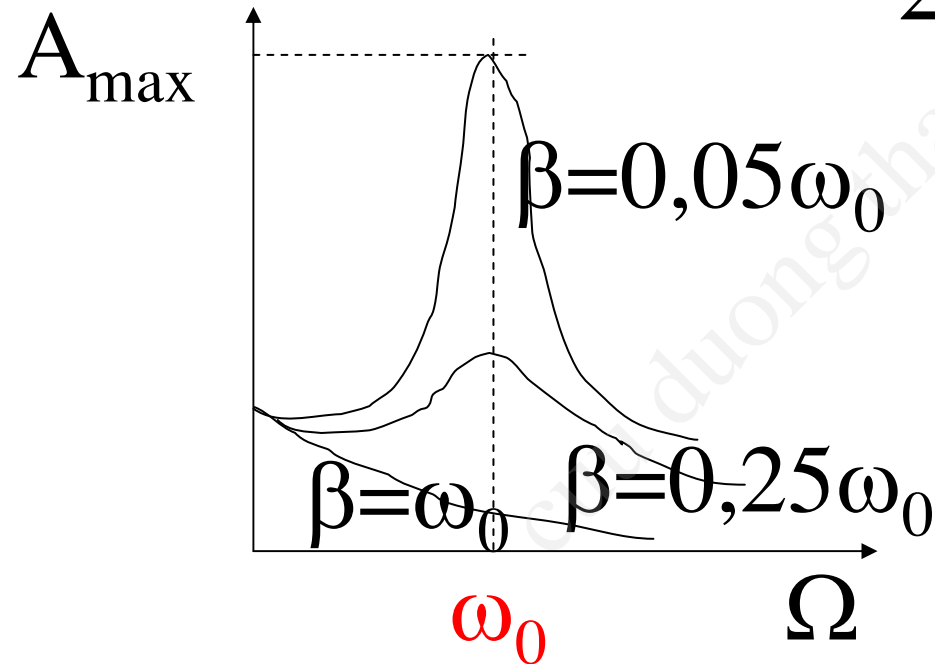
3.2. Khảo sát dao động cơ cưỡng bức

$\frac{dA}{d\Omega} = 0$	Ω	0	$\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$	∞
	A	$\frac{H}{m\omega_0^2}$	A_{\max}	0

- Tần số cộng hưởng: $\Omega = \Omega_{\text{ch}}$ xảy ra cộng hưởng $\rightarrow A = A_{\text{max}}$

$$\Omega_{\text{ch}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

$$A_{\text{max}} = \frac{H}{2\beta m \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$$



- β càng nhỏ hơn ω_0 cộng hưởng càng nhọn

- $\beta = 0 \rightarrow \Omega = \omega_0$ cộng hưởng **nhọn**

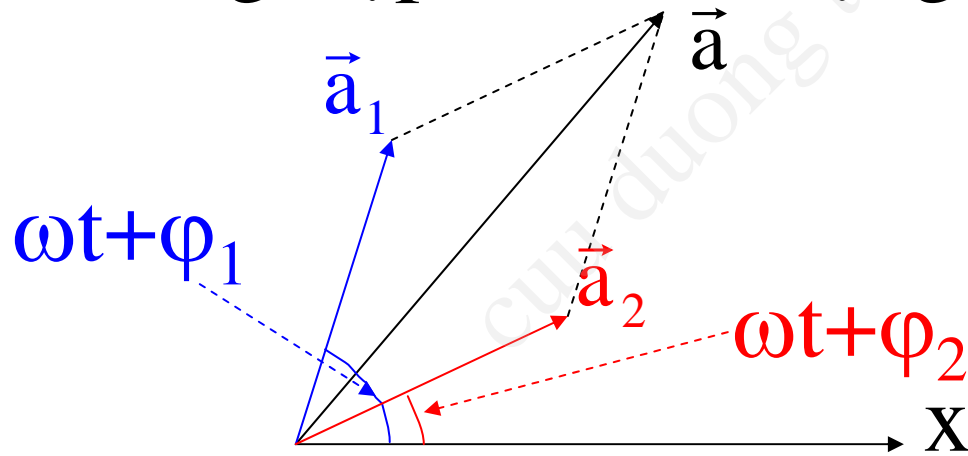
3.3. Ứng dụng hiện tượng cộng hưởng

/ **Lợi:** Dùng lực nhỏ duy trì dao động
Đo tần số dòng điện-tần số kế

. **Hại:** gây phá huỷ -> tránh cộng hưởng

4. Tổng hợp, phân tích các dao động (Tự đọc)

” Tổng hợp hai dao động cùng phương x:



~ Cùng tần số ω :

$$x_1 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$x_2 = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$x = a \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

$$a = [a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)]^{1/2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2}$$

↙ Tần số $\omega_1 \approx \omega_2$, $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$, $a_1 = a_2 = a_0$:

$$x_1 = a_0 \cos(\omega_1 t + \varphi)$$

$$x_2 = a_0 \cos(\omega_2 t + \varphi)$$

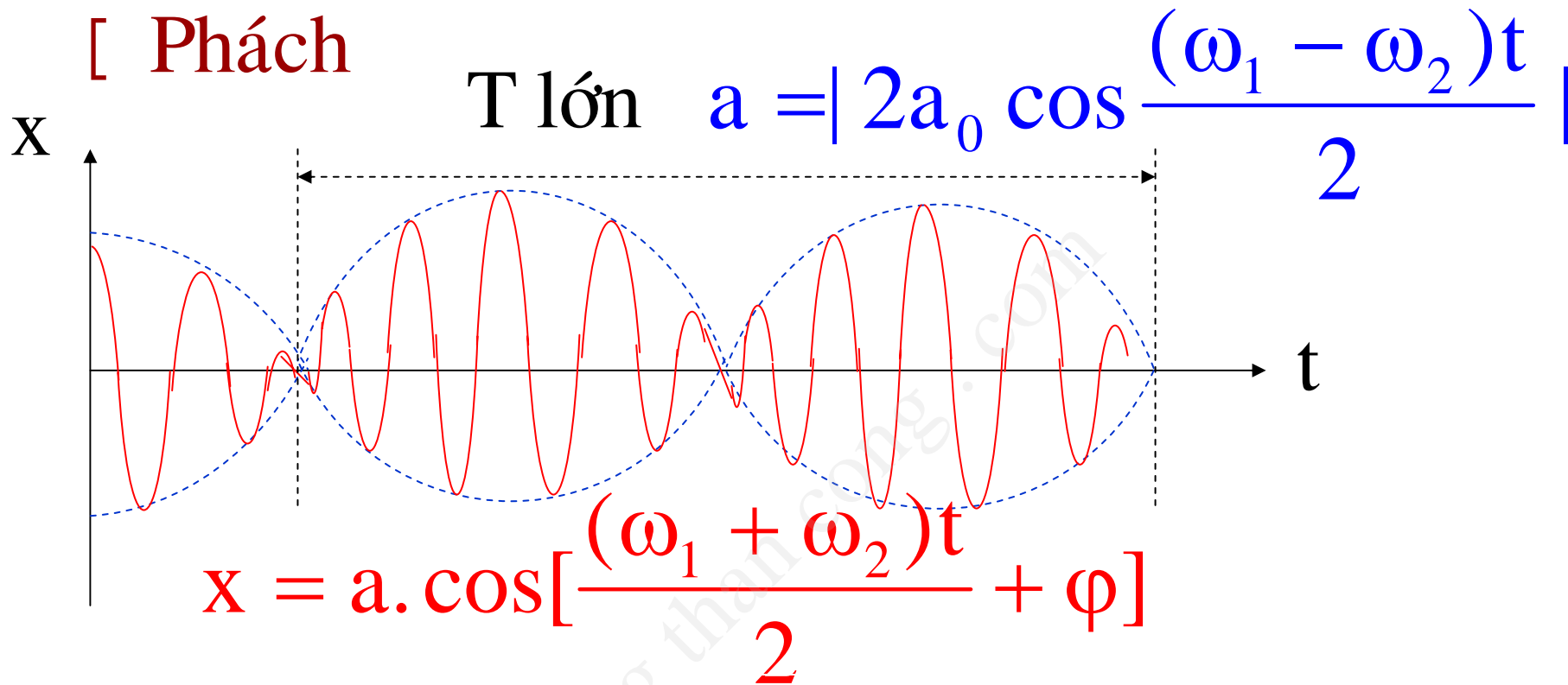
$$a^2 = 2a_0^2 + 2a_0^2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + (\varphi - \varphi)]$$

$$a^2 = 2a_0^2 (1 + \cos[(\omega_1 - \omega_2)t])$$

$$a^2 = 4a_0^2 \cos^2 \frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2} \quad \text{Chu kì biên độ lớn}$$

$$a = \left| 2a_0 \cos \frac{(\omega_1 - \omega_2)t}{2} \right| \quad T = \frac{4\pi}{\omega_1 - \omega_2}$$

$$x = a \cdot \cos \left[\frac{(\omega_1 + \omega_2)t}{2} + \varphi \right]$$



. Phách là hiện tượng tổng hợp hai dao động điều hoà thành dao động biến đổi **không điều hoà** có tần số rất thấp bằng hiệu tần số của 2 dao động thành phần
/ Ứng dụng trong kĩ thuật vô tuyến

Tổng hợp hai dao động vuông góc (Xem BT 1.1)

Cùng tần số ω :

$$x = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

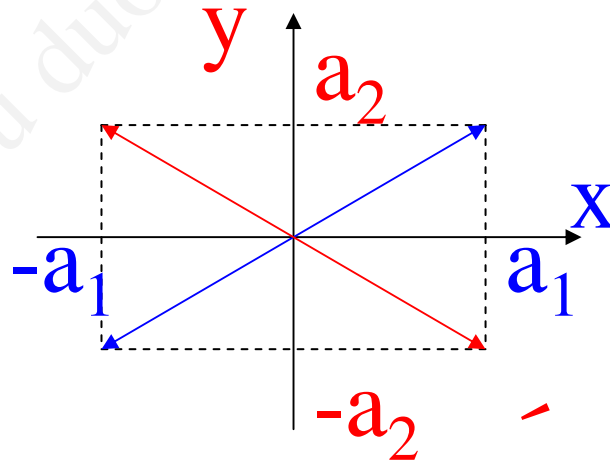
$$y = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} - 2 \frac{xy}{a_1 a_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Quỹ đạo Ellip

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2k\pi$$

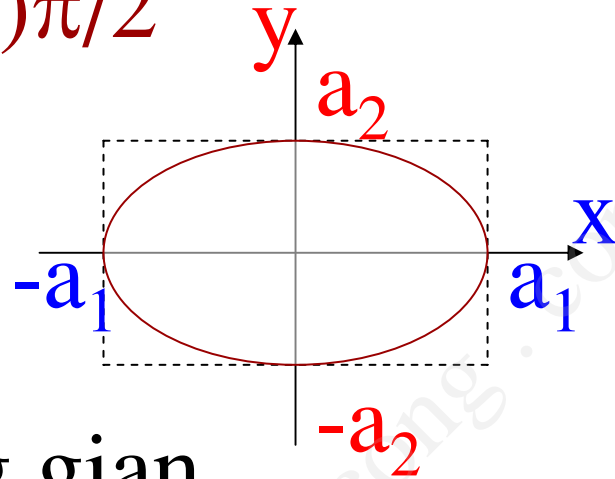
$$\frac{x}{a_1} - \frac{y}{a_2} = 0$$



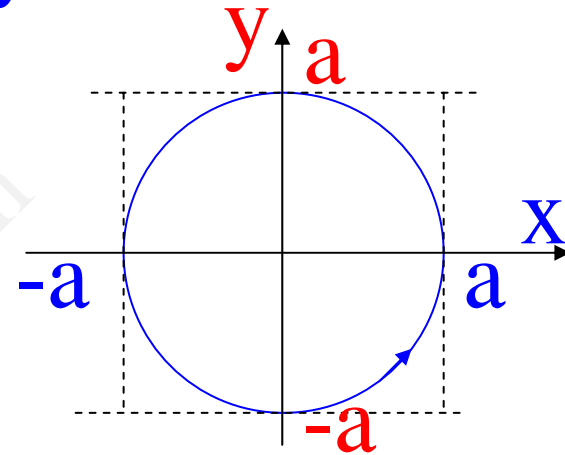
$$\varphi_2 - \varphi_1 = (2k+1)\pi$$

$$\varphi_2 - \varphi_1 = (2k+1)\pi/2$$

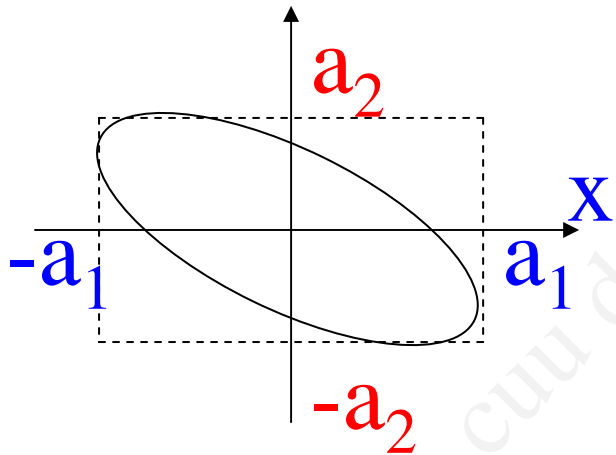
$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} = 1$$



$$x^2 + y^2 = a^2$$



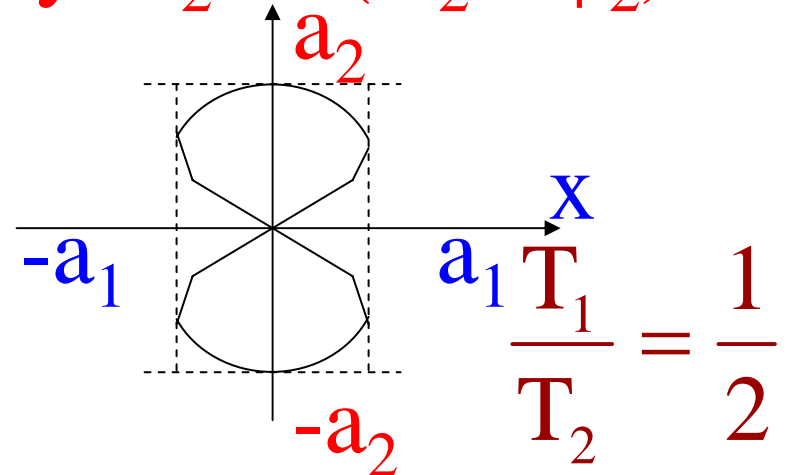
Trường hợp trung gian



~ Khác tần số ω :

$$x = a_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

$$y = a_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$



Quỹ đạo tùy thuộc vào

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} \text{ hay } \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$$

Sóng cơ

1. Các khái niệm mở đầu

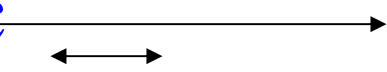
(Tự đọc) 1.1. Sự hình thành sóng cơ trong môi trường chất

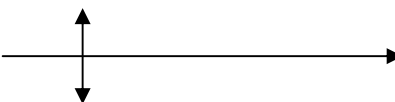
– Những dao động cơ lan truyền trong môi trường đàn hồi gọi là sóng cơ hay sóng đàn hồi

Vật kích động: dao động tử/nguồn sóng

Phương truyền: tia sóng

Không gian sóng truyền qua: trường sóng

• **sóng dọc** 
rắn, lỏng, khí: **đàn**
hồi thể tích

• **sóng ngang** 
rắn: **đàn hồi hình dạng**

- Các điểm dao động cùng pha: **Mặt sóng**

- Ranh giới giữa 2 phần môi trường sóng truyền qua và chưa qua: **Mặt đầu sóng**

^ **Các đặc trưng của sóng**

- **Vận tốc sóng dọc**

α Hệ số đàn hồi

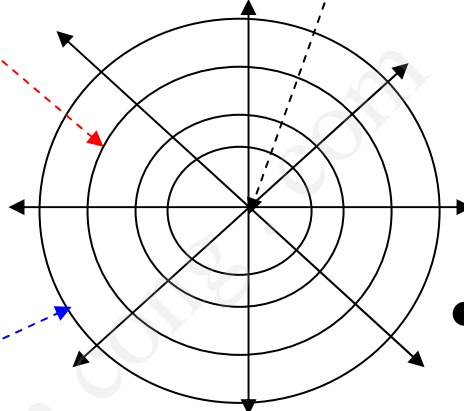
E Môđun đàn hồi

ρ khối lượng riêng của môi trường

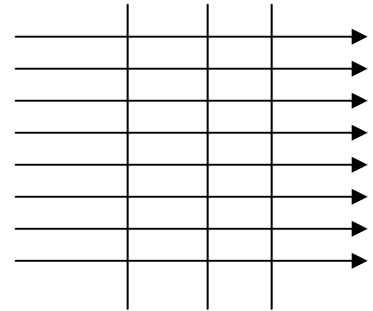
$$v = \sqrt{\frac{1}{\alpha\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

- Sóng cầu

Nguồn sóng



Tia sóng



- Sóng phẳng

- **Vận tốc sóng ngang**

$$v = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

G Môđun trượt

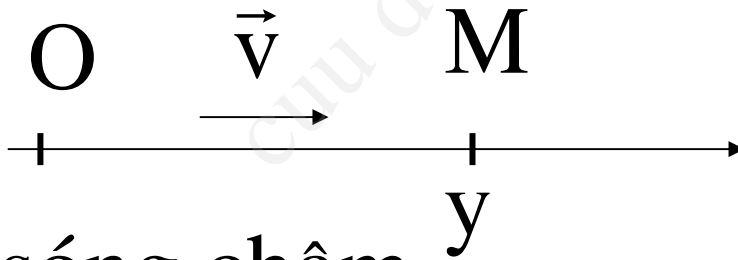
- Chu kì T và tần số ν là chu kì và tần số của phần tử dao động trong môi trường
- Bước sóng: λ là quãng đường truyền sóng trong thời gian 1 chu kì T $\lambda = \nu T = \frac{\nu}{\nu}$

Khoảng cách ngắn nhất giữa các điểm có cùng pha (*Hết tự đọc*)

2. Hàm sóng

Tại O sóng phẳng

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$



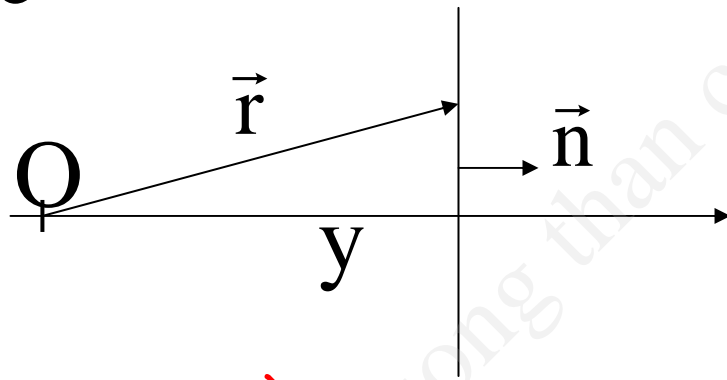
Tại M sóng chậm
pha $t' = t + y/\nu$

$$x(t') = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{y}{\nu}\right) + \varphi\right]$$

Coi $\varphi=0$, hàm sóng tại điểm y bất kì cách O :

$$x = A \cos \omega \left(t - \frac{y}{v} \right) = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi y}{T v} \right)$$

$$x = A e^{-i \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} y \right)} \quad \text{Véc tơ sóng} \quad \vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n} \quad \vec{k} \vec{r} = \frac{2\pi}{\lambda} y$$



Không gian ba chiều

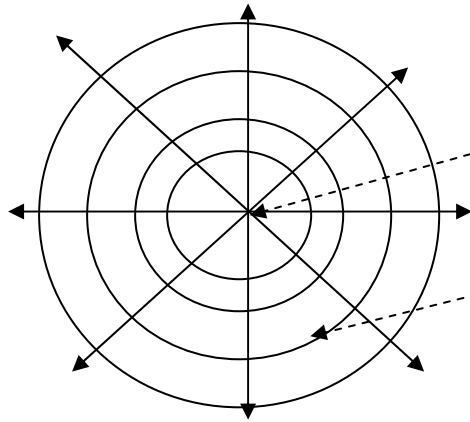
sóng lan truyền từ
O ra xa vô cùng:

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi_0 e^{-i(\omega t - \vec{k} \vec{r})}$$

sóng lan truyền từ
vô cùng về O :

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi_0 e^{-i(\omega t + \vec{k} \vec{r})}$$

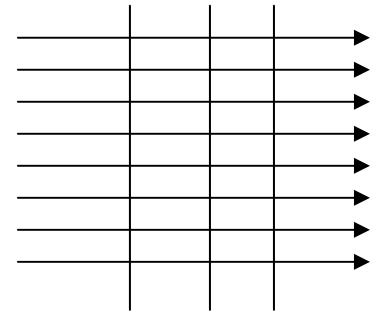
- Sóng cầu



Nguồn sóng là nguồn điểm,
mặt sóng là mặt cầu

- Sóng phẳng:

- Các tia sóng song song với nhau, mặt sóng là mặt phẳng



4. Năng lượng của sóng cơ

Năng lượng của sóng: Môi trường đồng nhất đẳng hướng. Xét thể tích δV

u - Vận tốc phân tử dao động

$$\delta W = \delta W_d + \delta W_t$$

$$\delta W_d = \frac{\mu u^2}{2} \quad m = \delta V \rho \quad u = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin\left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda}\right)$$

$$\delta W_d = \frac{1}{2} \rho \delta V A^2 \omega^2 \sin^2\left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda}\right)$$

$$\delta W_t = \frac{1}{2} \frac{1}{\alpha} \left(\frac{dx}{dy}\right)^2 \delta V \quad \frac{dx}{dy} = \frac{A\omega}{v} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda}\right)$$

$$\delta W_t = \frac{1}{2} \rho \delta V A^2 \omega^2 \sin^2\left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda}\right) \quad v = \sqrt{\frac{1}{\alpha \rho}}$$

$$\delta W = \rho \delta V A^2 \omega^2 \sin^2 \left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda} \right)$$

- Mật độ năng lượng: trong đơn vị thể tích

$$\varpi = \frac{\delta W}{\delta V} = \rho A^2 \omega^2 \sin^2 \left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda} \right)$$

- Mật độ năng lượng trung bình của sóng

$$\varpi_{tb} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2$$

- Năng thông sóng, véc tơ Umốp-Poynting

Năng thông sóng P qua một mặt nào đó trong môi trường là đại lượng về trị số bằng năng lượng sóng gửi qua mặt đó trong 1 đv thời gian:

$$P = \varpi S v$$

• Giá trị trung bình của năng thông sóng $\bar{P} = \varpi_{tb} S v = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 S v$

• Mật độ năng thông sóng trung bình: gửi qua một đv diện tích $\bar{\Phi} = \frac{\bar{P}}{S} = \frac{1}{2} \rho A^2 \omega^2 v = \varpi_{tb} v$

véc tơ Umốp-Poynting $\vec{\Phi} = \varpi_{tb} \vec{v}$

BÀI GIẢNG VẬT LÝ ĐẠI CƯỜNG

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

Vật lý đại cương I
<http://iep.hut.edu.vn>

Chương 13

Thuyết động học phân tử các
chất khí và định luật phân bố

Mở đầu

- **Chuyển động nhiệt**: chuyển động **hỗn loạn** của các phân tử/ nguyên tử / xác định **nhiệt độ** của vật. Đối tượng của vật lý phân tử và **Nhiệt động lực học**.
 - Hai phương pháp nghiên cứu:
 - “ Phương pháp thống kê: NC quá trình đối với từng phân tử riêng biệt + định luật thống kê --
> Tìm **Quy luật chung của cả tập thể phân tử và giải thích các tính chất của hệ** (dựa vào cấu tạo phân tử)

Phương pháp nhiệt động lực: NC biến
hoá năng lượng về: Dạng, định lượng;
Dựa vào kết quả của thực nghiệm:
Nguyên lý I & Nguyên lý II nhiệt động
lực học.

--> Tính chất & Điều kiện (Không cần NC
bản chất cấu tạo phân tử.)

--> Giải quyết vấn đề thực tế tốt.

§1. Những đặc trưng cơ bản của khí lý tưởng cổ điển

- **Hệ nhiệt động**: gồm nhiều phân tử/nguyên tử (hoặc nhiều vật)
--> Môi trường xung quanh gồm các **ngoại vật**.
- **Hệ cô lập**: Không tương tác, không trao đổi **Nhiệt & Công** với môi trường.
Cô lập nhiệt, cô lập cơ.
- **Thông số trạng thái**: Là các tính chất đặc trưng của hệ.
-> Đại lượng vật lý **p, m, T, V** là các th.số tr.th
-> Các thông số trạng thái: Độc lập, Phụ thuộc

- Phương trình: $f(p, V, T) = 0$ có 3 thông số p, V, T được chọn.

n CÁC ĐẠI LƯỢNG VẬT LÝ/ THỐNG SỐ TRẠNG THÁI:

- **Áp suất:** Đại lượng vật lý = Lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$at = 9,81 \cdot 10^4 \text{Pa} = 736 \text{mmHg}$$

$atm = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$ tại 0°C , điều kiện tiêu chuẩn

$$p = \frac{P_n}{S} \quad \text{n vd} \quad \frac{N}{m^2} = \text{Pa (pascal)}$$

- **Nhiệt độ**: đại lượng đặc trưng cho **độ nóng, lạnh**.

Đo bằng **nhiệt kế** (*Đo bằng cách đo một đại lượng vật lý biến thiên theo nhiệt độ*:

ví dụ: độ cao cột thủy ngân, suất điện động).

- Nhiệt độ tuyệt đối (**K**-Kelvin), nhiệt độ Bách phân (**°C** -Celsius):

$$TK = t^{\circ C} + 273,16$$

§2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

1. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ:

* ĐL Boyle-Mariotte: Với 1 khối khí
($m=\text{const}$) Nếu $T=\text{const}$ (Đẳng nhiệt), thì
 $pV=\text{const}$.

* ĐL Gay-Lussac: Với 1 khối khí
($m=\text{const}$)
Nếu $V=\text{const}$ (Đẳng Tích), thì $p/T = \text{const}$.
Nếu $p=\text{const}$ (Đẳng áp), thì $V/T=\text{const}$.

Sai lệch giữa các định lý trên với thực nghiệm:
khi p cao ($p > 500 \text{at}$) hoặc T thấp & cao.

Khí lý tưởng: Khí tuân theo ĐL Boyle-Mariotte
và Gay-Lussac là khí lý tưởng.

KLT ở điều kiện tiêu chuẩn: $T_0 = 273,16 \text{K}$ (0°C),
 $p_0 = 1,033 \text{at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{Pa}$, $V_0 = 22,410 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$.

2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG:

1 mol khí lý tưởng có $6,023 \cdot 10^{23}$ (*số Avogadro*)
phân tử với $m = \mu \text{ kg}$ tuân theo ĐL Clapayron-
Mendeleev:

$$pV = RT$$

m kg khí lý tưởng: $pV = \frac{m}{\mu} RT$ *Chứng minh:*

Dùng 2 đường đẳng nhiệt của 1 khối khí:

$$p_1 V_1 T_1 + (\text{đẳng nhiệt}) \rightarrow p'_1 V_2 T_1 \rightarrow p_1 V_1 = p'_1 V_2$$

$$p'_1 V_2 T_1 + (\text{đẳng tích}) \rightarrow p_2 V_2 T_2 \rightarrow p'_1 / T_1 = p_2 / T_2$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} = R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}$$

R-Hằng số khí lý tưởng

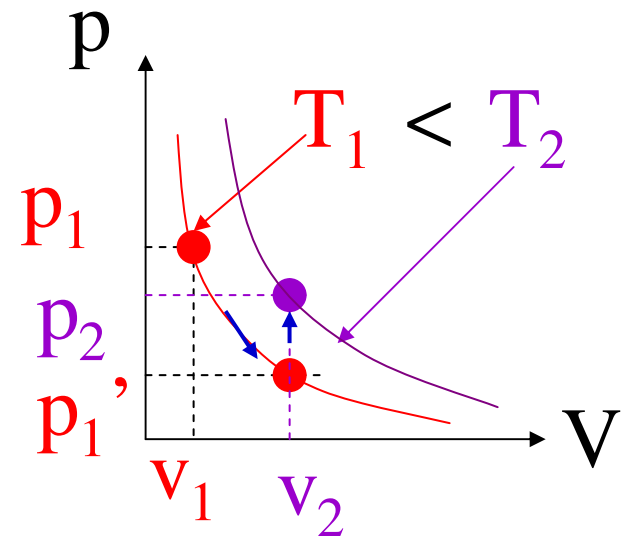
$$\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{kg/mol đối với } H_2$$

* Tính **khối lượng**

riêng của khối khí:

$$V=1 \rightarrow$$

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



ĐT Clapayron

§3. Thuyết động học phân tử

1. NHỮNG CƠ SỞ THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ:

* **Kích thước** phân tử cỡ 10^{-10}m ; ở khoảng cách:

$r < 3 \cdot 10^{-10}\text{m}$: Đẩy nhau;

$3 \cdot 10^{-10}\text{m} < r < 15 \cdot 10^{-10}\text{m}$: Hút nhau.

$r > 15 \cdot 10^{-10}\text{m}$ (điều kiện bình thường) Bỏ qua lực tương tác.

Các phân tử khí chiếm $1/1000$ thể tích.

* **Chuyển động Brown**: Hỗn loạn không ngừng.

Trong **Khí**: Hoàn toàn hỗn loạn;

Lỏng: dao động + dịch chuyển;

Rắn: Dao động quanh vị trí cố định;

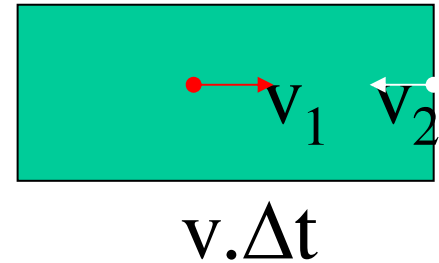
2. Nội dung của thuyết động học phân tử:

- a. Các chất **cấu tạo gián đoạn** và gồm một số lớn các phân tử.
 - b. Các phân tử **chuyển động hỗn loạn không ngừng**. Cường độ chuyển động phân tử biểu hiện **nhiệt độ của hệ**.
 - c. Kích thước phân tử rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng. Có thể coi **phân tử là chất điểm** trong các tính toán.
 - d. Các phân tử **không tương tác, chỉ va chạm theo cơ học Newton**.
- a,b đúng với mọi chất; c,d chỉ đúng với khí LT.

3. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử:

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad \Delta S$$

* Thiết lập pt trình cơ bản: **áp suất do lực va chạm** của ft lên thành bình:



ΔS - phần diện tích thành-đáy trụ, $(v_1=v=v_2)$
 Δt -thời gian va đập; $v.\Delta t$ -chiều cao trụ

Số phân tử chứa trong trụ: $n=n_0 \cdot v.\Delta t \cdot \Delta S$;

Số ph/t va chạm với đáy trụ: $\Delta n = \frac{n}{6} = \frac{1}{6} n_0 \cdot v.\Delta t.\Delta s$

Xung lượng lực do 1 ft: $f\Delta t = |m_0 \vec{v}_2 - m_0 \vec{v}_1| = -2m_0 v$

$$F = \frac{2m_0 v}{\Delta t} \Delta n = \frac{2m_0 v}{\Delta t} \frac{1}{6} n_0 v \Delta t \Delta S$$

$$= \frac{1}{3} n_0 m_0 v^2 \Delta S \Rightarrow$$

$$p = \frac{1}{3} n_0 m_0 v^2$$

Trung bình bình phương vận tốc $\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n}$

Áp suất lên thành bình: $p = \frac{1}{3} n_0 m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n_0 \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{2}{3} n_0 \overline{W}$

\overline{W} - Động năng tịnh tiến trung bình

Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử: $p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W}$

b. Hệ quả:

* Biểu thức tính động năng tịnh tiến và ý nghĩa nhiệt độ tuyệt đối:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W} = \frac{RT}{V} \rightarrow \overline{W} = \frac{3}{2} \frac{RT}{n_0 V} = \frac{3RT}{2N}$$

$N=n_0V=6,023.10^{23}$ số phân tử trong 1mol

$k=R/N=1,38.10^{-23}\text{J/K}$ Hằng số Boltzmann

* **Động năng** tịnh tiến trung bình tỷ lệ $\overline{W} = \frac{3}{2}kT$ với nhiệt độ tuyệt đối của khối khí.

* **T** là số đo cường độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ. \rightarrow chuyển động nhiệt.

* Các phân tử chuyển động không ngừng \rightarrow $T \neq 0\text{K}$

3. Vận tốc căn quân phương:

$$\overline{W} = \frac{1}{2}m_0\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT \rightarrow v_c = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$R=kN$ & $Nm_0 = \mu$; m_0 - khối lượng 1 phân tử.

4. Mật độ phân tử:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W} \Rightarrow n_0 = \frac{3p}{2 \overline{W}} = \frac{3p}{2 \cdot \frac{3}{2} kT} = \frac{p}{kT}$$

Vậy: $n_0 = \frac{p}{kT}$

Dưới cùng một áp suất và nhiệt độ mọi chất khí đều có cùng mật độ phân tử .

ở điều kiện tiêu chuẩn: **số Loschmidt**

$$n_0 = \frac{p_0}{kT_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 273} = 2,687 \cdot 10^{25} \text{ ft} / \text{ m}^3$$

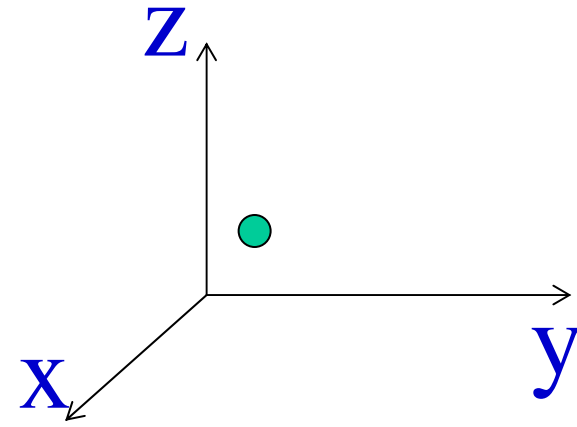
4. NỘI NĂNG KHÍ LÝ TƯỞNG

Nội năng = **Động năng** + **thế năng tương tác** giữa các phân tử + **W dao động** của các nguyên tử.

Bỏ qua tương tác \rightarrow **Nội năng của khí lý tưởng bằng tổng động năng của các phân tử.**

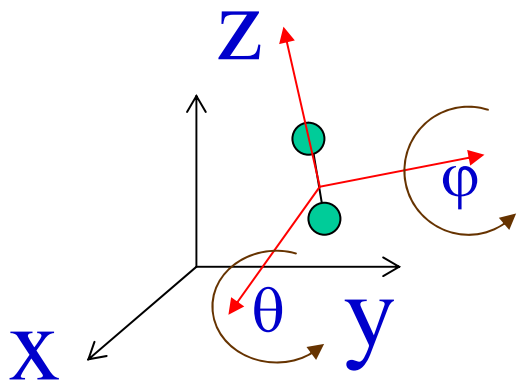
$$W_{tp} = W_{tịnh tiến} + W_{quay}$$

Bậc tự do i là số tọa độ xác định các khả năng chuyển động của phân tử trong không gian

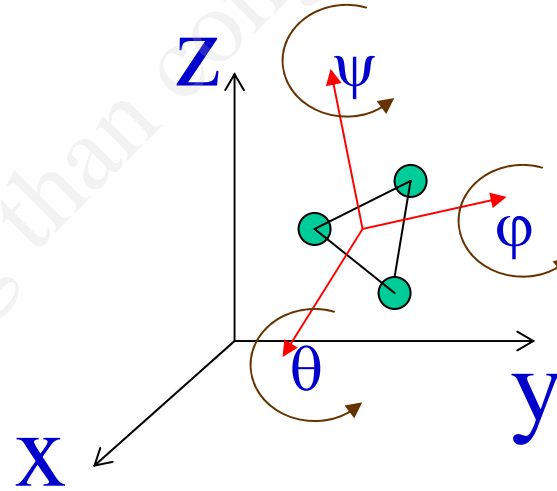


3 tọa độ x, y, z xác định 3 chuyển

Phân tử đơn nguyên tử có $i=3$ động tịnh tiến



Phân tử gồm hai nguyên tử:
3 tịnh tiến (x, y, z) + 2 bậc
quay (φ, θ); $i=5$



Phân tử gồm ba nguyên tử: $i=6$

3 bậc tịnh tiến (x, y, z) + 3 bậc quay (φ, θ, ψ).

- **Phân bố đều cho các bậc tự do:**

ĐL (Maxwell): Động năng trung bình của các phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do của phân tử.

Biểu thức tính nội năng: Của **một mol** là của **N** phân tử:

$$U_0 = N \frac{i k T}{2} = \frac{i R T}{2} \quad R = k N; \quad i - \text{số bậc tự do}$$

Của khối khí khối lượng **m kg**:

0 **Nội năng của khí lý**
tưởng chỉ phụ thuộc
vào nhiệt độ

$$U = \frac{m}{\mu} U_0 = \frac{m}{\mu} \frac{i R T}{2}$$

§4. Các định luật phân bố phân tử

1. XÁC SUẤT VÀ GIÁ TRỊ TRUNG BÌNH:

Số phân tử n lớn, các đại lượng VL đặc trưng của chúng rất khác nhau; Giả sử n_i phân tử có vận tốc v_i , vận tốc trung bình:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum n_i v_i = \sum \frac{n_i}{n} v_i = \sum P_i v_i$$

$P_i = \frac{n_i}{n}$ là **xác suất tìm thấy phân tử có vận tốc v_i**

Với điều kiện chuẩn hoá

$$\sum_i P_i = \sum_i \frac{n_i}{n} = 1$$

Gía trị bình phương trung bình :

$$\overline{v^2} = \sum_i P_i v_i^2$$

2. ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ THEO VẬN TỐC MAXWELL:

dn là số pt có vận tốc trong khoảng v đến $v+dv$, thì xác suất của ft có vận tốc trong khoảng $(v,$

$v+dv)$ là: $\frac{dn}{n} = F(v)dv$ Suy ra $dn = nF(v)dv$

$\int_0^{\infty} nF(v)dv = n \rightarrow \int_0^{\infty} F(v)dv = 1$ Maxwell tìm ra hàm phân bố:

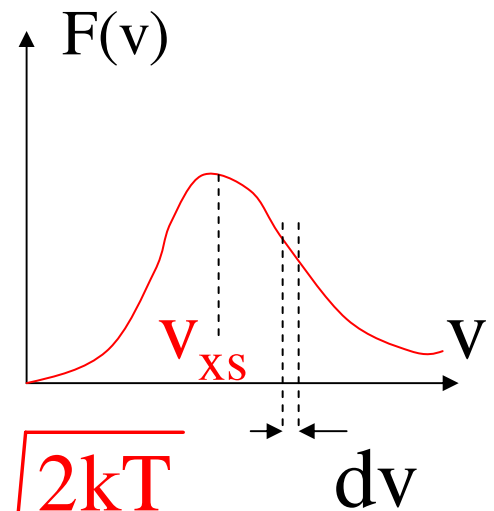
$$F(v) = \text{const.} \cdot v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$$

$$\text{const} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_0}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{dF(v)}{dv} = 0$$

$F(v)$ đạt cực đại tại

$$v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$



$F(v)dv$ là xác suất phân tử có **vận tốc** trong khoảng **(v, v+dv)**.

Vận tốc trung bình:

$$\bar{v} = \int_0^{\infty} F(v) v dv = \sqrt{\frac{8kT}{m_0 \pi}}$$

$$v_{xs} < \bar{v} < v_c$$

Vận tốc căn quân phương:

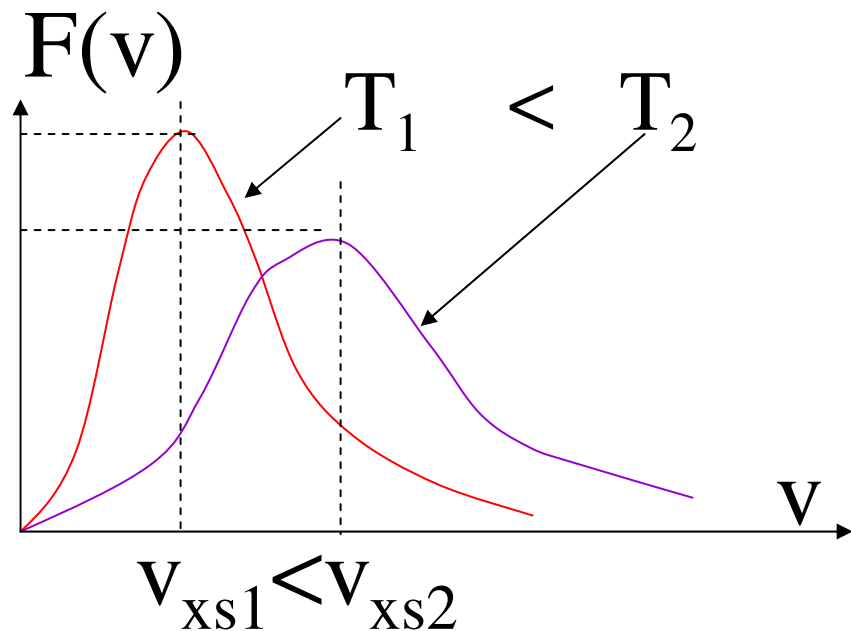
$$\overline{v^2} = \int_0^{\infty} F(v) v^2 dv = \frac{3kT}{m_0} \rightarrow$$

$$v_c = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Cả 3 vận tốc này đều **tăng theo nhiệt độ**.

Khi nhiệt độ T tăng số phân tử có vận tốc v_{xs} giảm đi:

$$F(v_{xs}, T_1) > F(v_{xs}, T_2)$$



$$v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \quad v_c = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{m_0\pi}} = \sqrt{\frac{8RT}{\mu\pi}} \quad v_{xs} < \bar{v} < v_c$$

V Xác suất < **V** trung bình < **V** căn quân phương

Ý nghĩa:

- ↘ Xác suất phân tử có v_{xs} là cao nhất.
- ↘ v_c ứng với động năng trung bình của phân tử.
- ^ Tại nhiệt độ T của hệ, mỗi phân tử có vận tốc khác nhau, \bar{v} là giá trị trung bình cộng của vận tốc các phân tử trong cả hệ (các p/t có cùng \bar{v}).

3. ĐỊNH LUẬT PHÂN BỐ PHÂN TỬ THEO THỂ NĂNG

Phân bố Maxwell không tính đến sức hút của trái đất lên phân tử. Do sức hút mật độ phân tử giảm theo chiều cao h .

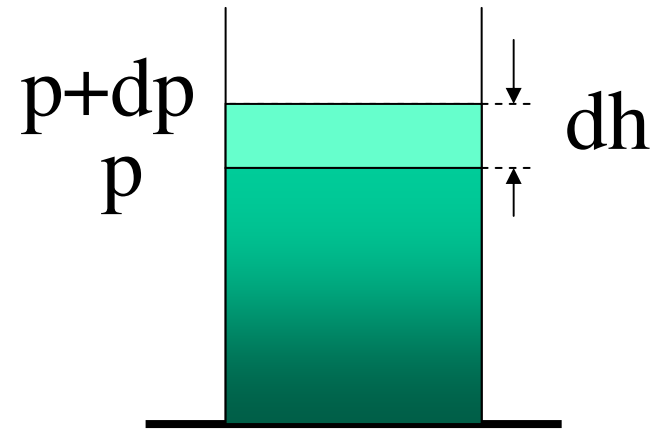
a. Công thức khí áp :

Cột khí cao dh , đáy $S=1\text{m}^2$,
áp suất đáy dưới là p ,

đáy trên $p+dp$;

$dp < 0$ nên $dp = -dP$

dP là trọng lượng cột khí dh



$$dP = m_0 g n_0 S dh$$

Số phân tử nằm trong cột khí:

$$dn = n_0 S \cdot dh = n_0 dh$$

Trọng lượng khối khí:

$$dP = dn \cdot m_0 \cdot g = m_0 g n_0 dh$$

áp suất tăng:

$$dp = -dP = -m_0 g n_0 dh = -m_0 g \frac{p}{kT} dh$$

$$\frac{dp}{p} = - \frac{m_0 g dh}{kT}$$

Lấy tích phân hai vế:

$$\int_{Matdat}^h \frac{dp}{p} = \int_0^h -\frac{m_0 g}{kT} dh$$

$$\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{m_0 g}{kT} h$$

Công thức khí áp:

$$p = p_0 e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$$

Nồng độ khí tỷ lệ với áp suất:

$$n_0 = n_{0d} e^{-\frac{m_0 g h}{kT}}$$

Bầu khí quyển chỉ dày 3000km, hơn nữa $g \& T \neq \text{const}$.

b. Phân bố theo thế năng: $m_0 g h = W_t$

$$n_{0h} = n_{0d} e^{-\frac{W_t}{kT}}$$

Phân bố Maxwell-Boltzmann

. Xác suất hai hiện tượng đồng thời độc lập bằng tích các xác suất xảy ra các hiện tượng ấy:

Tại vùng tọa độ $x \div x+dx$, $y \div y+dy$, $z \div z+dz$

Tổng số phân tử có vận tốc trong khoảng

$$v_x \div v_x + dv_x, v_y \div v_y + dv_y, v_z \div v_z + dv_z,$$

$$dN = A.Ne^{-\frac{1}{kT}(\frac{m_0 v^2}{2} + W_t)} dx dy dz dv_x dv_y dv_z$$

Xác định A theo:

$$\int \frac{dN}{N} = \iiint_{x,y,z} \iiint_{v_x,v_y,v_z} A.e^{-\frac{1}{kT}(\frac{m_0 v^2}{2} + W_t)} dx dy dz dv_x dv_y dv_z = 1$$

Chương 8

Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

§1.KHÁI NIỆM NĂNG LƯỢNG-CÔNG VÀ NHIỆT

1. NĂNG LƯỢNG:

- Đặc trưng cho **mức độ vận động** của vật chất trong hệ.-> **trạng thái xác định, năng lượng xác định.**

=> Năng lượng là hàm của trạng thái.

- Hệ không chuyển động, không đặt trong trường lực -> Năng lượng của hệ đúng **bằng nội năng** của hệ: $W = U$

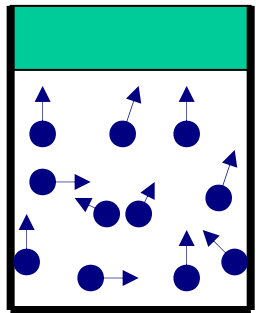
2. CÔNG VÀ NHIỆT:

Khối khí đẩy pít tông \rightarrow sinh công \rightarrow nội năng giảm \rightarrow **trao đổi năng lượng**; **Nén**: nhận công.

- Nung nóng khối khí, giữ $V = \text{const}$
 \rightarrow Chuyển động hỗn loạn tăng $\rightarrow T$ tăng
 \rightarrow **trao đổi năng lượng: nhận nhiệt.**

- Sự tương đương giữa **công** và **nhiệt**:

$$4,18\text{j} \Leftrightarrow 1\text{calo}$$



. Công và nhiệt là những đại lượng **đo mức độ** trao đổi năng lượng. Chúng không phải là năng lượng. Chúng không phải là hàm trạng thái mà là **hàm của quá trình**.

Công liên quan đến chuyển động có trật tự
Nhiệt liên quan đến chuyển động hỗn loạn

§2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Trong cơ học: Độ biến thiên năng lượng của hệ bằng công mà hệ trao đổi trong quá trình đó:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A \rightarrow \text{Nhiệt?}$$

1. PHÁT BIỂU NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC:

Độ biến thiên năng lượng của hệ trong quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt hệ nhận được trong quá trình đó

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A + Q$$

A, Q - Công và nhiệt hệ nhận được.

=> $A' = -A$, $Q' = -Q$ Công và nhiệt hệ sinh & toả ra.

- Hệ đứng yên thì $W = U$ (nội năng)
- => Trong quá trình biến đổi, độ biến thiên nội năng của hệ bằng tổng công và nhiệt hệ nhận được trong quá trình đó:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = A + Q$$

Đối với quá trình biến đổi vô cùng nhỏ:

$$dU = \delta A + \delta Q$$

2. Ý NGHĨA NGUYÊN LÝ I NĐLH:

- Nếu $A > 0, Q > 0 \Rightarrow \Delta U = U_2 - U_1 > 0$ **nội năng tăng**, Hệ nhận công và nhiệt. Công sinh ra $A' < 0$ & nhiệt toả ra $Q' < 0$.
- Nếu $A < 0, Q < 0 \Rightarrow U_2 < U_1 \Rightarrow$ **Nội năng giảm**, Hệ sinh công $A' > 0$ & toả nhiệt $Q' > 0$.
- Nếu $A = 0$ & $Q = 0 \Rightarrow U_2 = U_1$ Nội năng bảo toàn
- Định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng:
Năng lượng không tự sinh ra và cũng không tự mất đi, nó chỉ chuyển hoá từ dạng này sang dạng khác, truyền từ hệ này sang hệ khác.

3. HỆ QUẢ CỦA NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC:

“ Không tồn tại động cơ vĩnh cửu loại I: Giả sử hệ thực hiện một chu trình kín và trở lại trạng thái ban đầu; Tức $U_2 = U_1 \rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow A = -Q$ hay $-A = Q$; Như vậy hệ nhận công thì toả nhiệt, sinh công thì phải nhận nhiệt.

Trong một hệ cô lập gồm 2 vật trao đổi nhiệt, nhiệt lượng do vật này toả ra bằng nhiệt lượng do vật kia thu vào:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q_1 = -Q_2.$$

§3. ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ I NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

1. Trạng thái cân bằng, quá trình cân bằng

a. Định nghĩa: *Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái trong đó mọi thông số trạng thái không biến đổi theo thời gian.* Trạng thái cân bằng bị phá vỡ nếu chịu tác động từ bên ngoài. *Quá trình cân bằng là quá trình biến đổi gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng*

Thực tế không có quá trình CB; **QT biến đổi rất chậm:** Trạng thái CB được thiết lập trong toàn hệ trước khi chuyển sang trạng thái CB tiếp theo
é QT giả cân bằng

b. Công mà hệ nhận được trong quá trình CB

Áp suất tác dụng lên pít tông

$$p = F/S$$

Công khối khí nhận được:

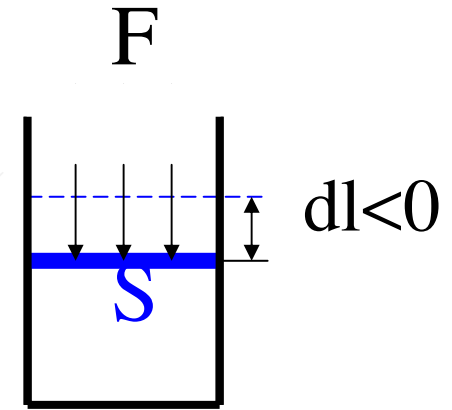
$$\delta A = -F \cdot dl = -pSdl$$

$$S \cdot dl = dV \Rightarrow \delta A = -pdV$$

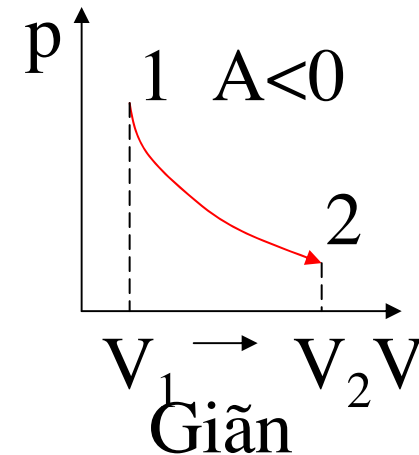
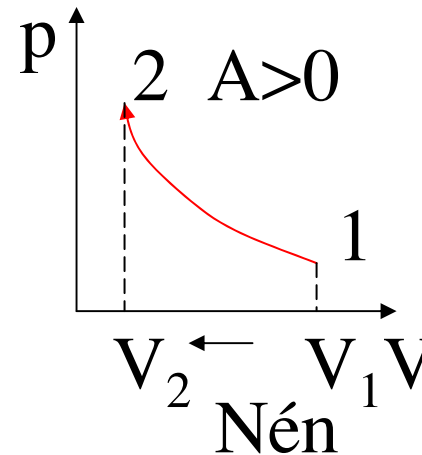
Công hệ nhận được trong quá trình $V_1 \Rightarrow V_2$

$$A = \int_1^2 dA = \int_{V_1}^{V_2} -pdV$$

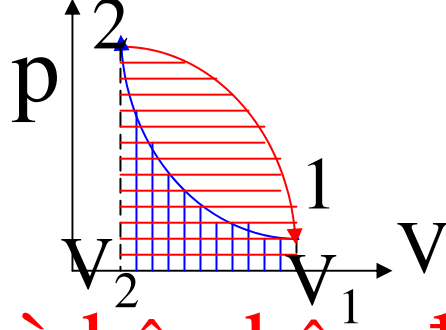
A bằng diện tích dưới đường cong.



Nén chậm



Trong chu trình A bằng tổng đại số $A_{\text{giãn}} + A_{\text{nén}}$



c. Nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình CB

Nhiệt dung: *riêng c của một chất là đại lượng vật lý có giá trị bằng lượng nhiệt cần thiết mà một đơn vị khối lượng nhận được để nhiệt độ của nó tăng thêm 1 độ.*

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \quad \text{Đv} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Nhiệt dung phân tử (1 mol): $C = \mu \cdot c \quad \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

Nhiệt hệ nhận được:

$$\delta Q = \frac{m}{\mu} C dT$$

$C = C_v$ trong quá trình đẳng tích

$C = C_p$ trong quá trình đẳng áp

2. QUÁ TRÌNH ĐẲNG TÍCH

- $V = \text{const}$
- $P/T = \text{const}$ (ĐL Gay-Lussac)
- Công $A = p(V_1 - V_2) = 0$
- $\Rightarrow \Delta U = Q$
- Biến thiên nội năng:

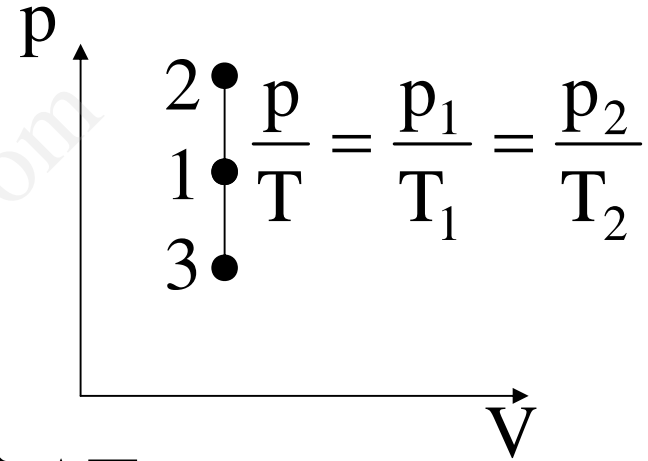
$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$$

- Nhiệt nhận được:

$$Q = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$$

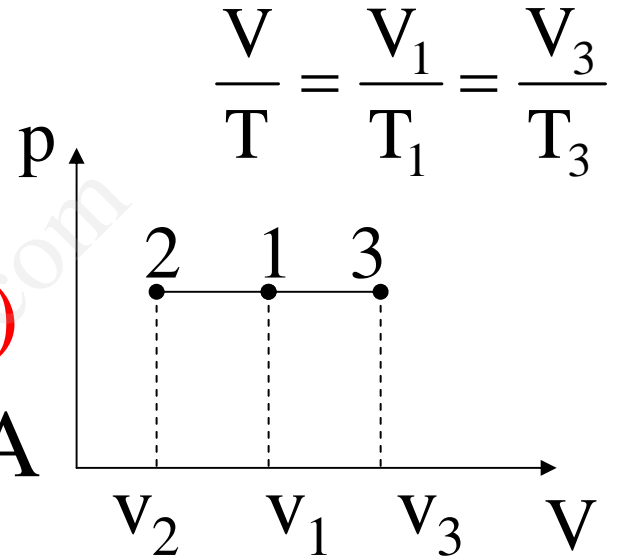
$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$C_v = \frac{iR}{2}$$



3. QUÁ TRÌNH ĐẲNG ÁP

- $p = \text{const}$
- $V/T = \text{const}$ (ĐL Gay-Lussac)
- Công nhận được: $A = -p(V_2 - V_1)$
- Nhiệt hệ nhận được: $Q = \Delta U - A$



$$\left. \begin{aligned} Q &= \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + p(V_2 - V_1) \\ p\Delta V &= \frac{m}{\mu} R\Delta T \end{aligned} \right\} \rightarrow Q = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{m}{\mu} R\Delta T$$

$$Q = \frac{m}{\mu} \left(\frac{iR}{2} + R \right) \Delta T = \frac{m}{\mu} (C_V + R) \Delta T = \frac{m}{\mu} C_P \Delta T$$

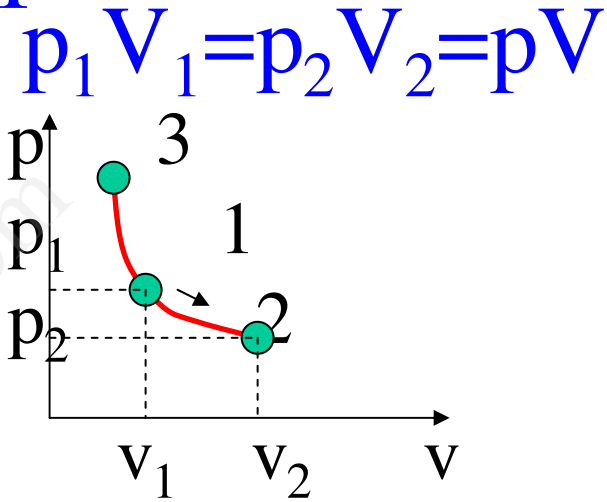
Hệ số Poisson

$$\Rightarrow R = C_P - C_V \quad C_P = \frac{i+2}{2} R$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}$$

4. QUÁ TRÌNH ĐẲNG NHIỆT

- $T = \text{const} \Rightarrow T_1 = T_2 = T$
- $pV = \text{const}$ (ĐL Boyle-Mariotte)
- $\Delta U = 0 \Rightarrow A = -Q$ hay $Q = -A$
- Công nhận được:



$$p = p_1 V_1 / V \quad A = \int_{V_1}^{V_2} -p dV = \int_{V_1}^{V_2} -p_1 V_1 \frac{dV}{V}$$

$$A = -p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = -\frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$Q = -A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

5. QUÁ TRÌNH ĐOẠN NHIỆT

- $\delta Q=0$ hay $Q=0$
- p tăng do $V \downarrow$ & $T \uparrow$
- $dU = \delta A$ (Nguyên lý I NĐH)

$$\left. \begin{aligned} dU &= \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} dT = \frac{m}{\mu} C_V dT; \\ \delta A &= -pdV \quad pV = \frac{m}{\mu} RT \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_V dT = -RT \frac{dV}{V}$$

$$\frac{R}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \gamma - 1$$

$$\frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V} \frac{dV}{V} = 0$$

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

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$pV^{\gamma} = \text{const}$$

$$T \cdot p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const} \quad \gamma > 1$$

$$\ln(TV^{\gamma-1}) = \text{const}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$\delta Q=0 \rightarrow pV^\gamma = \text{const}$$

Đoạn nhiệt dốc hơn

- Về mặt toán học:
 $PV^\gamma = \text{const} \ \& \ \gamma > 1$

- Về phương diện vật lý: Trong QT đoạn nhiệt
 $p \downarrow$ do $V \uparrow$ & $T \downarrow$ còn khi $p \uparrow$ do $V \downarrow$ & $T \uparrow$

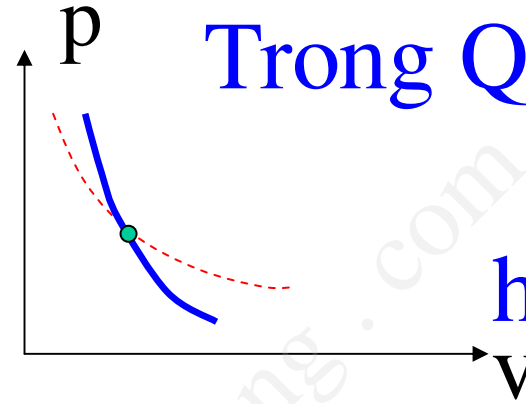
- Độ biến thiên nội năng
 trong QT đoạn nhiệt:

$$T = \text{const} \rightarrow pV = \text{const}$$

Trong QT đẳng nhiệt:

$p \downarrow$ do $V \uparrow$

hay $p \uparrow$ do $V \downarrow$



$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$$

Công mà hệ nhận được trong QT đoạn nhiệt:

Công $A_{\text{nhận}}$ trong
qđ đoạn nhiệt
 $V_1 \rightarrow V_2$:

$$A = \Delta U - Q = \Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$$

Công do hệ sinh ra: $A' = -A$

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

$$pV^\gamma = p_1 V_1^\gamma \Rightarrow p = p_1 \frac{V_1^\gamma}{V^\gamma}$$

$$A = -p_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{p_1 V_1^\gamma (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})}{\gamma - 1} \quad \text{Nhân vào}$$

và thay $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$

$$A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$$

$$p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1$$

$$A = \frac{p_1 V_1 (T_2 - T_1)}{(\gamma - 1) T_1}$$

Chương 9

Nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

§1. Những hạn chế của nguyên lý thứ I NĐLH

- Không xác định chiều truyền *tự nhiên* của nhiệt:

Nhiệt truyền *tự nhiên* từ vật nóng hơn sang vật lạnh hơn. Không có quá trình tự nhiên ngược lại.

- Không xác định chiều chuyển hoá tự nhiên của năng lượng: Thế năng tự nhiên biến thành động năng rồi thành nhiệt toả ra,

Không có quá trình tự nhiên ngược lại:

Nhiệt → Động năng → Thế năng.

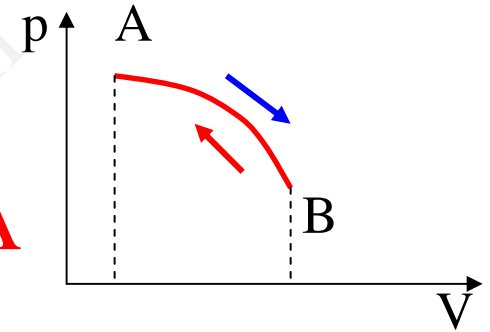
. Tuy nhiên các quá trình ngược lại trên đều thoả mãn nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

- Không đánh giá được chất lượng nhiệt
- Không phân biệt khác nhau giữa công và nhiệt.

§2. Quá trình thuận nghịch và quá trình không thuận nghịch

1. Định nghĩa

a. Quá trình $A \rightarrow B \rightarrow A$ là thuận nghịch nếu quá trình ngược $B \rightarrow A$



hệ cũng đi

qua các trạng thái trung gian như trong quá trình thuận $A \rightarrow B$; Suy ra:

“ Hệ chỉ có thể trở về trạng thái cân bằng \rightarrow QT thuận nghịch là QT cân bằng $\rightarrow A'_{\text{thuận}} = A_{\text{nghịch}}$, $Q_{\text{thuận}} = Q'_{\text{nghịch}}$.

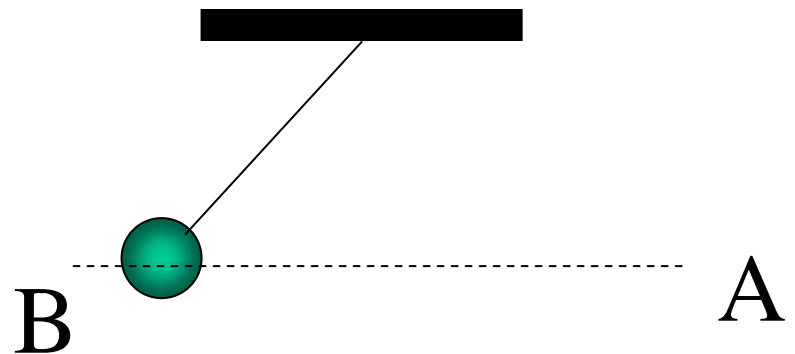
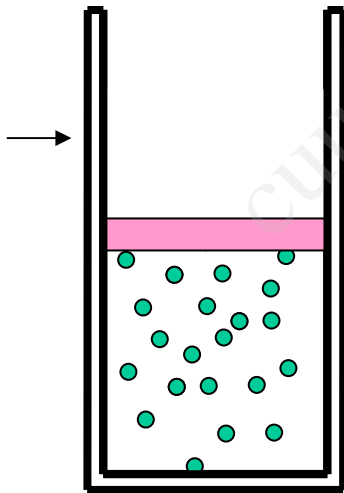
• Hệ trở về trạng thái ban đầu, *môi trường xung quanh không biến đổi.*

b. **QT không thuận nghịch**: Sau khi thực hiện QT thuận và QT nghịch đưa hệ về trạng thái ban đầu thì *môi trường xung quanh bị biến đổi*.

2. THÍ DỤ:

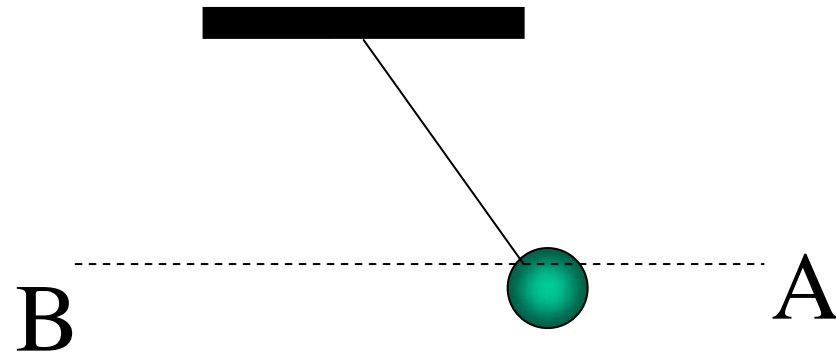
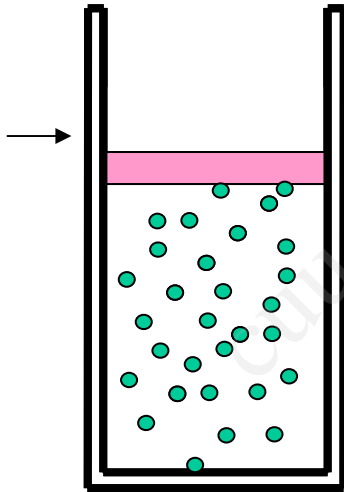
Quá trình **giãn đoạn nhiệt vô cùng chậm**: **QTTN**

- Dao động của con lắc **không ma sát** có nhiệt độ bằng nhiệt độ bên ngoài: **QTTN**



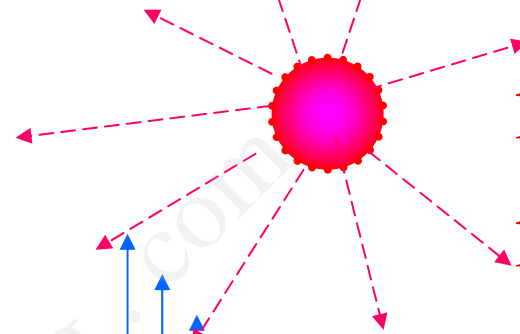
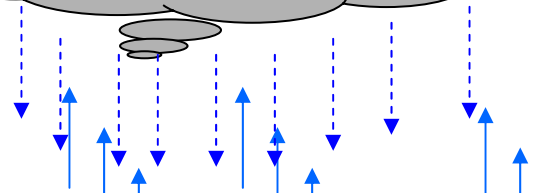
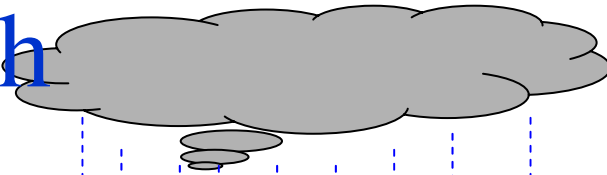
Các quá trình không thuận nghịch

- Các quá trình có ma sát: Không TN
- Truyền nhiệt từ vật nóng \rightarrow vật lạnh: Không TN
- QT giãn khí trong chân không: Không TN

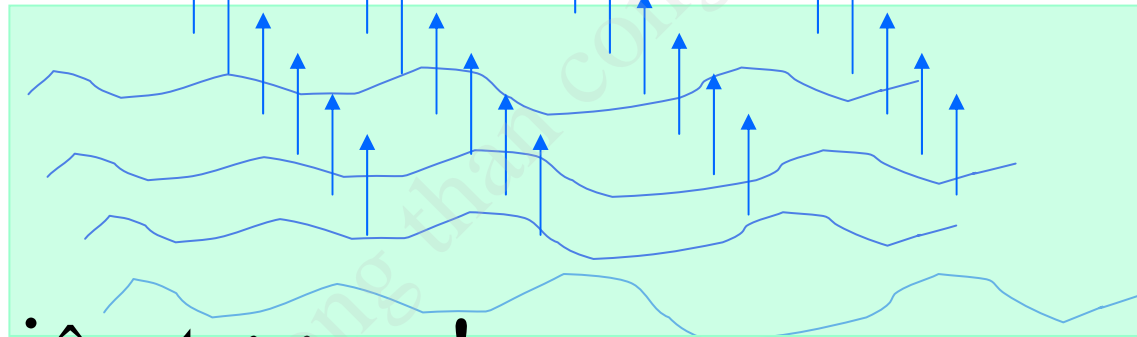


§3. Nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

nguồn lạnh



nguồn
nóng



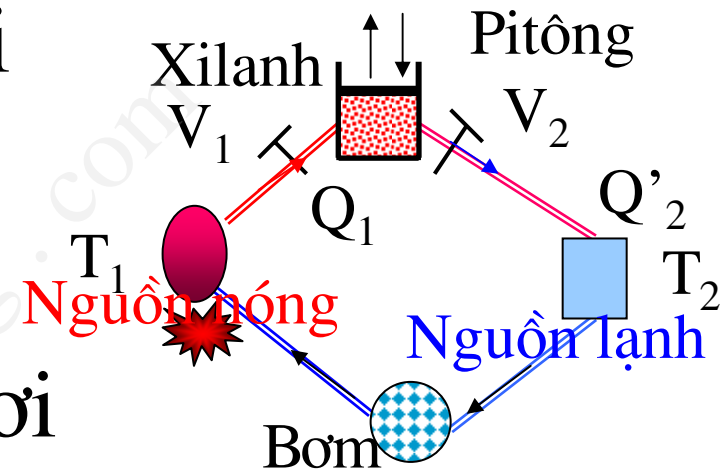
- Mô tả hiện tượng !
- Có mấy nguồn nhiệt ?
- Có phải là một động cơ ?
 - Khi nào nó chấm dứt hoạt động ?

1. ĐỘNG CƠ NHIỆT: Máy
biến nhiệt thành công: ĐC hơi
nước, ĐC đốt trong.

Tác nhân: chất vận chuyển (hơi
nước, khí...) biến nhiệt thành
công: **Tuần hoàn**

Hiệu suất của động cơ nhiệt:
Sau một chu trình: $\Delta U = -A' + Q_1 - Q'_2 = 0$
 $\rightarrow A' = Q_1 - Q'_2$

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q'_2}{Q_1}$$



$$\eta = \frac{A'}{Q_1}$$

2. Phát biểu nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

a. Phát biểu của Clausius: *Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn.*

b. Phát biểu của Thompson: *Một động cơ không thể sinh công, nếu nó chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn nhiệt duy nhất.*

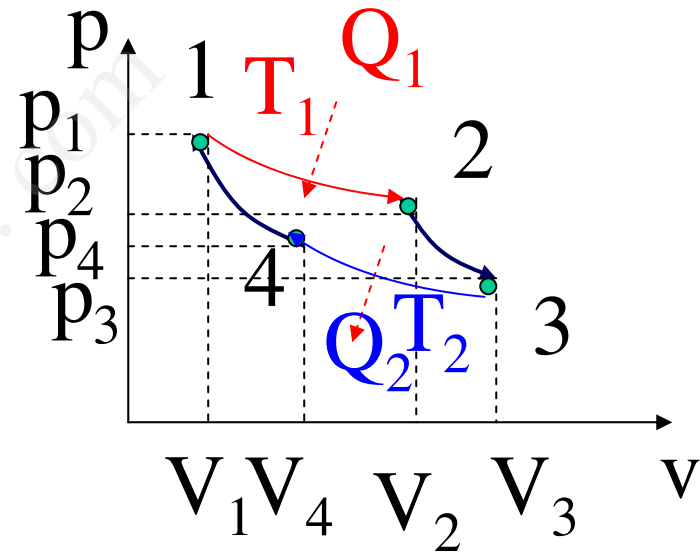
c. Ý nghĩa: Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại hai: lấy nhiệt chỉ từ 1 nguồn (T thấp như nước biển) để sinh công.

Chất lượng nhiệt: T càng cao, chất lượng càng cao

§4. Chu trình Carnot

1. Chu Trình Carnot thuận
nghịch gồm 4 quá trình TN:

↘ Giãn đẳng nhiệt: $T_1 = \text{const}$,
 $1 \rightarrow 2$, nhận Q_1 từ nguồn nóng.

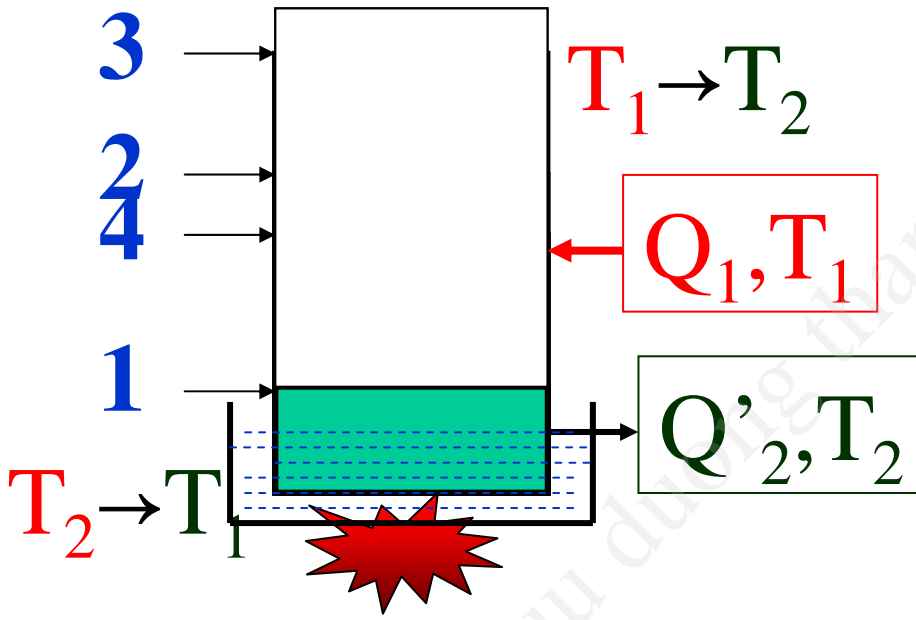


↗ Giãn đoạn nhiệt: $2 \rightarrow 3$, Nhiệt độ giảm $T_1 \rightarrow T_2$

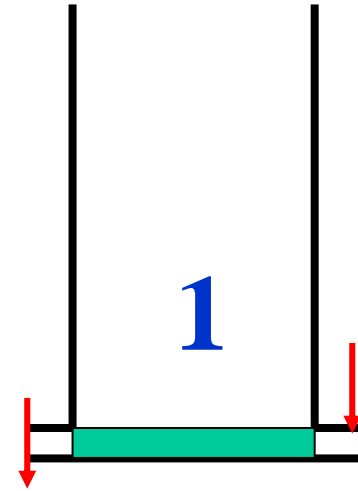
^ Nén đẳng nhiệt: $T_2 = \text{const}$, $3 \rightarrow 4$, thải
 Q_2 (làm nguội)

~ Nén đoạn nhiệt: $4 \rightarrow 1$, nhiệt độ tăng: $T_2 \rightarrow T_1$

Chu Trình Carnot thuận nghịch



Chu Trình trong động cơ hơi nước



- Trong chu trình thuận 12341 hệ nhận nhiệt Q_1 từ nguồn nóng, sinh công A' và thải nhiệt Q_2' vào nguồn lạnh. \rightarrow Động cơ nhiệt.

. Trong chu trình nghịch 14321 hệ nhận công lấy nhiệt (làm lạnh) từ nguồn lạnh và thải nhiệt vào nguồn nóng. \rightarrow Máy làm lạnh.

b. Hiệu suất η_c trong chu trình Carnot thuận nghịch

$$\eta_c = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \quad \text{Cần tính } Q_1 \text{ và } Q_2'$$

Giãn đẳng nhiệt $1 \rightarrow 2$ có: $Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$

Nén đẳng nhiệt $3 \rightarrow 4$ có:

$$Q'_2 = -Q_2 = -\frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} \Rightarrow Q'_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\Rightarrow \eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Trong QT đoạn nhiệt $2 \rightarrow 3$

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

$$\text{và } 4 \rightarrow 1 \text{ có } T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_4^{\gamma-1}$$

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

- Hiệu suất chu trình Carnot TN với tác nhân là khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh.

0 Hệ số
làm lạnh:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q'_1 - Q_2}$$

$$\varepsilon_{cN} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

§5. Định lý Carnot, hiệu suất cực đại của động cơ nhiệt

1. ĐỊNH LÝ CARNOT

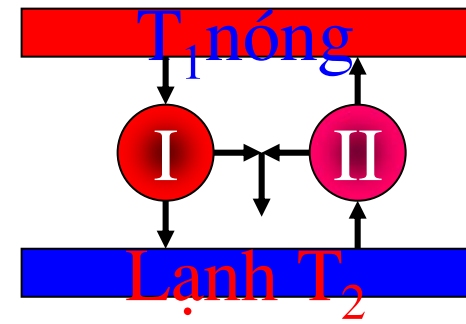
a. **Phát biểu:** *Hiệu suất động cơ nhiệt thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh, đều bằng nhau và không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy:* $\eta_I = \eta_{II}$

Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

$$\eta_{\text{KTN}} < \eta_{\text{TN}}$$

b. Chứng minh $\eta_I = \eta_{II}$:

$$\eta_I = 1 - \frac{Q'_{2I}}{Q_{1I}} = \frac{A'_I}{Q_I} \text{ và } \eta_{II} = 1 - \frac{Q'_{2II}}{Q_{1II}} = \frac{A'_{II}}{Q_{II}}$$



Ghép hai động cơ với nhau, **động cơ II chạy theo chiều ngược**: nhận công A'_{II} từ động cơ I, nhận nhiệt từ nguồn lạnh T_2 , thải nhiệt vào nguồn nóng T_1 .

$$\eta_I > \eta_{II} \Rightarrow Q'_{2I} < Q'_{2II} \Rightarrow A'_I > A'_{II}$$

Ta có: $A'_I - A'_{II} = A' > 0 \Rightarrow \text{I+II} = \text{động cơ vĩnh cửu.}$

Cũng tương tự khi $\eta_I < \eta_{II}$. Vô lý. Vậy: $\eta_I = \eta_{II}$

c. Chứng minh $\eta_{KTN} < \eta_{TN}$:

Giả sử **II là KTN** ngoài nhiệt nhả cho nguồn lạnh còn nhiệt vô ích $\rightarrow Q'_{2II} > Q'_{2I} \Rightarrow \eta_{II} < \eta_I$

2. Hiệu suất cực đại của động cơ nhiệt:

Hiệu suất của động cơ **thuận nghịch bất kì** luôn nhỏ hơn hiệu suất của động cơ đó chạy theo **chu trình carnot thuận** nghịch với cùng 2 nguồn nhiệt và tác nhân:

$$\eta_{\text{KTN}} < \eta_{\text{TN}} < \eta_{\text{TNCarnot}}$$

$$1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \left\| \begin{array}{l} \text{Dấu} = \text{ứng với chu trình} \\ \text{Carnot thuận nghịch.} \end{array} \right.$$

Dấu < ứng với chu trình Carnot KTN

Hiệu suất của động cơ chạy theo chu trình **Carnot thuận nghịch** là **hiệu suất cực đại**.

3. KẾT LUẬN:

a. Hiệu suất cực đại luôn nhỏ hơn 1, vì $T_2 \neq 0K$ & $T_1 \ll \infty$. $\eta_{\max} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$
Với $T_2 = 293K$

$T_1 K$	373	673	1073	1273	2273
η_{\max}	0,21	0,56	0,73	0,77	0,81

b. Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công:

$$A'_{\max} = \eta_{\max} \cdot Q_1 \Rightarrow A'_{\max} < Q_1.$$

c. Phương hướng nâng cao HS động cơ nhiệt:

Tăng $\Delta T \rightarrow (T_1 \uparrow \& T_2 \downarrow)$; Giảm ma sát

d. Chất lượng nguồn nhiệt: Nguồn nhiệt có nhiệt độ cao hơn thì chất lượng tốt hơn.

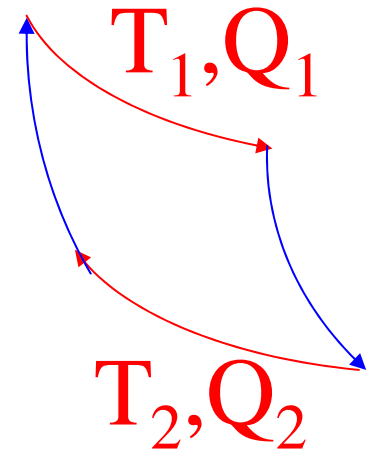
§6. Biểu thức định lượng (Toán học) của nguyên lý thứ hai nhiệt động lực học

1. Đối với chu trình Carnot:

$$1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{Q_2'}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Rightarrow -\frac{Q_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$



Dấu = ứng với CT Carnot thuận nghịch

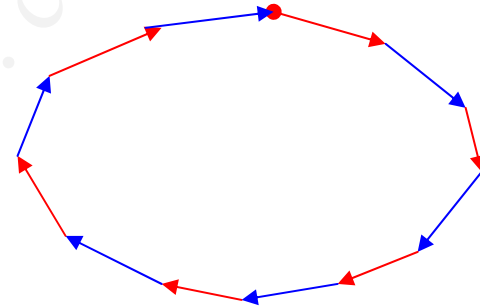
Dấu < ứng với CT Carnot Không TN

2. Đối với chu trình nhiều nguồn nhiệt Q_1, Q_2, \dots, Q_n nhiệt độ T_1, T_2, \dots, T_n (gồm các quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt liên tiếp nhau)

$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$$

Các quá trình
rất ngắn thì:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$



Đây là biểu thức định lượng của nguyên lý hai
NĐLH được gọi là Bất đẳng thức Clausius:

Tích phân Clausius $\oint \frac{\delta Q}{T}$ đối với một chu trình
không thể lớn hơn không.

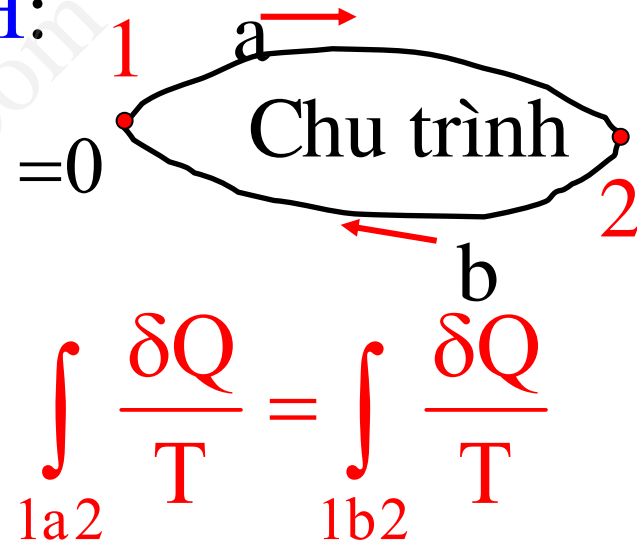
§7. Hàm entrôpi và nguyên lý tăng entrôpi

1. TÍCH PHÂN CLAUSIUS THEO QUÁ TRÌNH THUẬN NGHỊCH:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad \text{hay} \quad \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

QT thuận
nghịch:

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{1b2} \frac{-\delta Q}{T} = 0$$



$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T}$$

Tích phân Clausius theo các quá trình thuận nghịch từ trạng thái $1 \rightarrow 2$ không phụ thuộc vào quá trình biến đổi mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối của quá trình.

2. HÀM ENTRÔPI:

$$\int_{1 \rightarrow 2} \frac{\delta Q}{T} = S_2 - S_1 = \Delta S$$

S_1, S_2 - giá trị tích phân Clausius tại các trạng thái 1, 2.

→ S - Hàm entropi của hệ.

S là hàm trạng thái

→ vi phân toàn phần:

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \rightarrow S = S_0 + \int_{S_0}^S \frac{\delta Q}{T}$$

$S_0 = 0$ tại 0K.

• T/c cộng của entropi $S_{\text{hệ}} = \text{Tổng } S_{\text{các phân hệ}}$

- Đối với quá trình không thuận nghịch:

$$\int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} < \int_{1b2} \frac{\delta Q}{T} = \Delta S$$

0 Tích phân Clausius theo một quá trình không thuận nghịch từ trạng thái 1 \rightarrow 2 nhỏ hơn độ biến thiên entropi của hệ trong quá trình đó.

3. NGUYÊN LÝ TĂNG ENTRÔPI:

Quá trình không thuận nghịch

$$\int_{1a2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0 \Rightarrow \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2b1} \frac{\delta Q}{T} < 0 \Rightarrow \int_{1a2} \frac{\delta Q}{T} + \int_{1b2} \frac{-\delta Q}{T} < 0$$

Nguyên lý tăng entropi:

Trong hệ cô lập

$$\delta Q = 0$$

(2) Dấu = ứng với QT thuận nghịch

$\Delta S \geq \int \frac{\delta Q}{T}$ Dấu > ứng với QT không Th nghịch

Â Đây là biểu thức định lượng NL hai

(1) NĐLH viết dưới dạng hàm entropi

- Quá trình Th nghịch: $\Delta S=0$ (entrôpi không đổi)
- Quá trình không Th ngh: $\Delta S>0$ (entrôpi tăng)
- Trong thực tế các quá trình là không thuận
nghịch: *Trong hệ cô lập các quá trình nhiệt
động lực luôn xảy ra theo chiều entrôpi tăng*
• Hệ cô lập thực không thể 2 lần qua cùng một
trạng thái. Quá trình chấm dứt thì S đạt cực đại
và hệ ở trạng thái cân bằng

Ví dụ * Hệ gồm 2 vật với T_1 và T_2 :

Q_2 - Vật 2 nhận

$Q_1 = -Q_2 < 0$ vật 1 thải

$$dS = dS_1 + dS_2 = \frac{\delta Q_1}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2} = -\frac{\delta Q_2}{T_1} + \frac{\delta Q_2}{T_2}$$

$$dS = \delta Q_2 \left(-\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) > 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} > 0$$

• Vật nhận nhiệt (2) phải có nhiệt T_2 độ thấp hơn: $T_1 > T_2$

• Nguyên lý tăng entropi **tương đương** với nguyên lý 2 nhiệt động lực học

***Hiệu suất cực đại: Chu trình TN**

$$\Delta S_2 + \Delta S_1 = 0$$

$$\Delta Q_1 \text{ nhả từ nguồn nóng} \rightarrow S_1 = \frac{\Delta Q_2}{T_2} - \frac{\Delta Q_1}{T_1} = 0$$

$$\Delta Q_2 \text{ nguồn lạnh nhận} \rightarrow S_2 \Rightarrow \Delta Q_2 = \frac{T_2}{T_1} \Delta Q_1$$

$$A' = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \Rightarrow \eta_{\max} = \frac{A'}{\Delta Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

4. THUYẾT CHẾT NHIỆT VŨ TRỤ VÀ SAI LẦM CỦA NÓ:

*** Clausius** coi vũ trụ là hệ cô lập và áp dụng nguyên lý 2 cho toàn vũ trụ: Khi S tăng đến cực đại vũ trụ ở trạng thái cân bằng-> chết

- Sai lầm của Clausius:
 - a. Áp dụng hệ cô lập trên trái đất cho toàn vũ trụ vô hạn
 - b. Mâu thuẫn với ĐL bảo toàn biến hoá năng lượng
 - c. Vũ trụ biến đổi không ngừng: Sao chết, sao mới, vùng nhiệt độ cao biến đổi entropi giảm.
 - d. Những thăng giáng lớn trong vũ trụ (Boltzmann)
 - c. Không tính đến trường hấp dẫn vũ trụ. Thuyết vụ nổ Big Bang: entropi tăng đúng theo nguyên lý 2.

5. ĐỘ BIẾN THIÊN ENTROPY CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

$$1(p_1 V_1 T_1) \rightarrow 2(p_2 V_2 T_2) \rightarrow \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

a. Quá tr đoạn nhiệt: $\delta Q = 0 \Rightarrow \Delta S = 0 \Rightarrow S_1 = S_2$

b. Quá trình đẳng nhiệt:

$$T = \text{const} \Rightarrow \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q}{T}$$

c. Quá trình thuận nghịch bất kỳ:

Nguyên lý I: $\delta Q = dU - \delta A$ $dU = \frac{m}{\mu} C_V dT$

$$\delta A = -pdV = -\frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \left(\frac{m}{\mu} C_V \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V} \right)$$

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad T = \frac{pV\mu}{mR} \text{ và}$$

$$R = C_P - C_V$$

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \left(\frac{p_2}{p_1} \frac{V_2}{V_1} \right) + \frac{m}{\mu} (C_P - C_V) \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_P \ln \frac{V_2}{V_1}$$

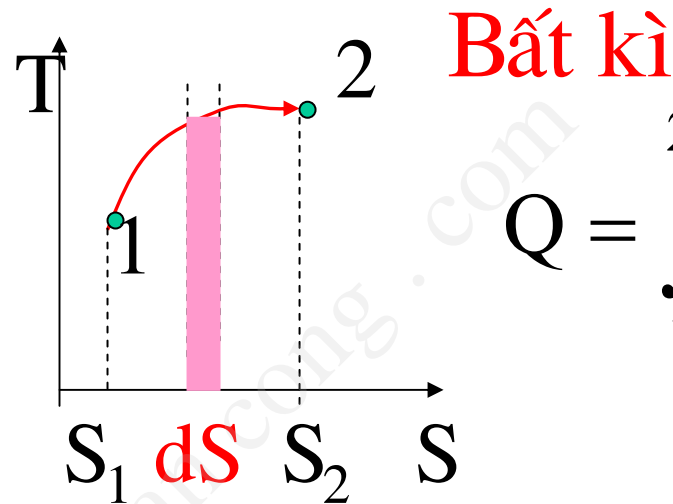
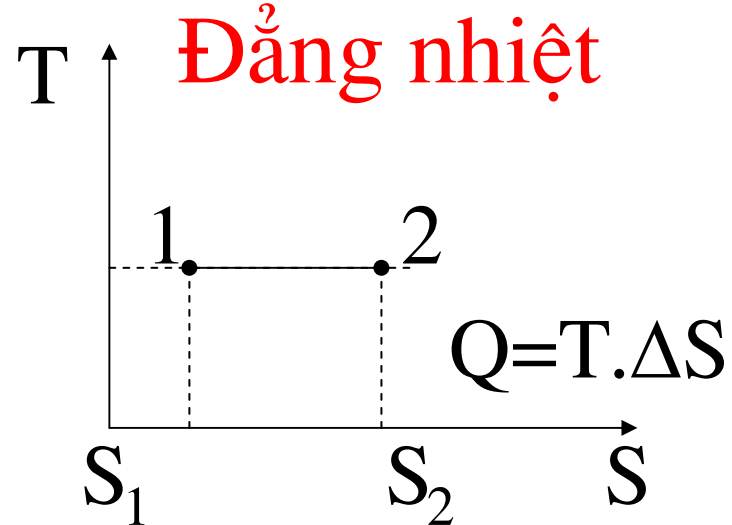
Đối với quá trình đẳng áp:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_P \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Đối với quá trình đẳng tích:

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} C_V \ln \frac{p_2}{p_1}$$

6. ĐỒ THỊ ENTRÔPI, TÍNH Q:



$$Q = \int_1^2 \delta Q = \int_{S_1}^{S_2} T dS$$

7. Ý NGHĨA CỦA NGUYÊN LÝ NĐH II VÀ ENTRÔPI:

- Nhiệt không thể truyền từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn. Khi $T_1 = T_2$ hệ cân bằng không thể trở về trạng thái không cân bằng. Hệ không qua 1 trạng thái 2 lần.

- Trạng thái vĩ mô = tổng hợp các trạng thái vi mô → Nhiều khả năng.

w-xác suất nhiệt động của trạng thái vĩ mô.

Theo Boltzmann $S = k \cdot \ln w$; k- hằng số Boltzmann

- Entropi là một hàm trạng thái đặc trưng cho mức độ hỗn loạn các phân tử.
- không đo trực tiếp được entropi.
- $T \uparrow S \uparrow$: (Rắn → lỏng → khí),
- Nếu $T \downarrow S \downarrow$: (Khí → lỏng → rắn).
- Trong hệ cô lập $\Delta S \geq 0$. Khi $\Delta S = 0$ hệ ở trạng thái cân bằng

7. ĐỊNH LÝ NERNST

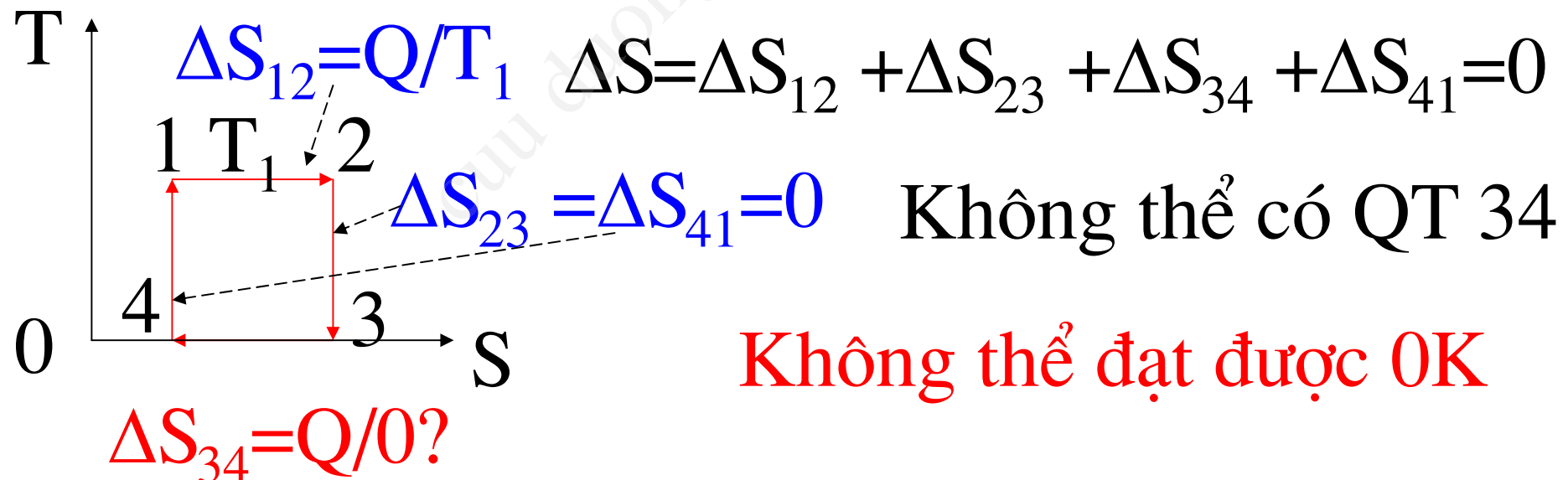
Khi nhiệt độ tuyệt đối tiến tới 0, entropi của bất cứ vật nào cũng tiến tới 0:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

Tính S của hệ tại T: $S = \int_0^T \frac{\delta Q}{T}$

Trong QT đẳng áp: $S = \int_0^T \frac{c_P(T) dT}{T}$

Hệ quả của Định lý Nernst



§8. Các hàm thế nhiệt động

1. Định nghĩa: *Hàm nhiệt động là hàm trạng thái, mà khi trạng thái thay đổi thì vi phân của nó là vi phân toàn chỉnh.*

a. Hàm nội năng $U(S, V)$ $dU = \delta Q + \delta A = \delta Q - \delta A'$

Từ Ng.lý I: $dU = TdS - pdV \Rightarrow U = U(S, V)$

Nếu $S=\text{const}$, $V=\text{const}$ thì $U=\text{const}$.

Lấy vi phân U có thể tính ra các đại

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S dV$$

lượng khác:

$$\Rightarrow T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V \quad \& \quad p = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$$

b. Hàm năng lượng tự do $\psi(T, V)$:

T và V là biến độc lập $\psi = \psi(T, V) = U - TS$

$$d\psi = -SdT - pdV \quad d\psi = dU - TdS - SdT$$

Nếu $T=\text{const}$ & $V=\text{const}$, thì $d\psi=0 \rightarrow \psi=\text{const}$:

Trong QT đẳng nhiệt, đẳng tích thuận nghịch năng lượng tự do không đổi. Trong QT không thuận nghịch $d\psi < 0$

c. Thế nhiệt động lực Gibbs $G(T, p)$:

T và p là biến độc lập $G = G(T, p) = U - TS - pV$

$$dG = -SdT + Vdp = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T dp$$

$$\Rightarrow S = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p \text{ và } V = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$$

Nếu $T=\text{const}$ & $p=\text{const}$, thì $dG=0 \rightarrow G=\text{const}$:

Trong QT đẳng nhiệt, đẳng áp thuận nghịch G không đổi. Trong QT không TN $dG < 0$

d. Hàm Entanpi $H(S,p)$:

S và p là biến độc lập $H = H(S, p) = U + pV$

$$dH = dU + pdV + Vdp \quad dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p dS + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S dp$$

$$dH = TdS + Vdp$$

$$\Rightarrow T = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_p \quad \text{và} \quad V = \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_S$$

$$(dH)_p = (TdS)_p = (\delta Q)_p$$

é Trong QT đẳng áp nhiệt lượng hệ nhận được bằng độ biến thiên của Entanpi.

e. Thế hoá μ : Trong các phản ứng hoá học, liên kết thay đổi làm thay đổi nội năng \rightarrow Sự thay đổi số phân tử cũng làm thay đổi nội năng
 \Rightarrow Thêm phần thế hoá μ_i của loại hạt i :

$$dU = TdS - pdV + \sum \mu_i dn_i$$

$$d\psi = -SdT - pdV + \sum_i \mu_i dn_i$$

$$dG = -SdT + Vdp + \sum \mu_i dn_i$$

$$dH = TdS + Vdp + \sum_i \mu_i dn_i$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{SV} = \left(\frac{\partial \psi}{\partial n_i} \right)_{TV} = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{Tp} = \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{Sp}$$

§9. Điều kiện cân bằng nhiệt động lực

* Hệ **hai pha** lỏng-khí (1-2) bão hoà khi:

Cân bằng về **cơ học**: $p_1=p_2$ và Trao đổi **năng lượng** giữa 2 pha bằng nhau $T_1=T_2$ suy ra $dG=0$

$$\text{do đó } \sum \mu_i dn_i = \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2 = 0$$

Khi cân bằng số hạt từ 1- \rightarrow 2 và 2- \rightarrow 1 bằng nhau:

$$dn_1 = -dn_2 = dn \rightarrow \mu_1 = \mu_2$$

* Hệ có **nhiều pha** cân bằng nhiệt động lực khi:

$$p_1=p_2=\dots=p_i$$

$$T_1=T_2=\dots=T_i$$

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_i$$

Chương 17

Khí thực và chuyển pha

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

§1. Phương trình trạng thái của khí thực

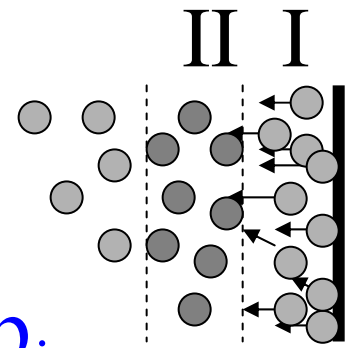
- Phương trình trạng thái Clapayron-Medeleev đối với 1 mol khí lý tưởng: $pV=RT$ (Các phân tử không kích thước, không tương tác)
- Thực tế phân tử khí có kích thước $\sim 3 \cdot 10^{-8} \text{cm}$ chiếm thể tích $\sim 1,4 \cdot 10^{-23} \text{cm}^3$ chiếm 1/1000 thể tích khối khí
- thay V bằng $V-b$; b -cộng tích m^3/mol để ý đến thể tích do các phân tử chiếm
C $p(V-b)=RT$
- Thực tế có tương tác giữa các phân tử
C nội áp p_i bổ chính vào áp suất:

$p_i \sim n_0$ mật độ hạt lớp I và $p_i \sim n_0$ lớp II

$$\rightarrow p_i \sim n_0^2 \Rightarrow p_i \sim \left(\frac{N}{V}\right)^2 \Rightarrow \frac{a}{V^2}$$

$a \sim N \cdot m^4 / \text{mol}^2$ (phụ thuộc bản chất chất khí)

$$p = \frac{RT}{V - b} - p_i$$



p_i làm p giảm

“ Một mol khí thực: $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$

m kg khí thực: $v = \frac{m}{\mu} V$ $\frac{m}{\mu}$ là số mol và $V = \frac{\mu}{m} v$

$$(p + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{v^2})(v - \frac{m}{\mu} b) = \frac{m}{\mu} RT$$

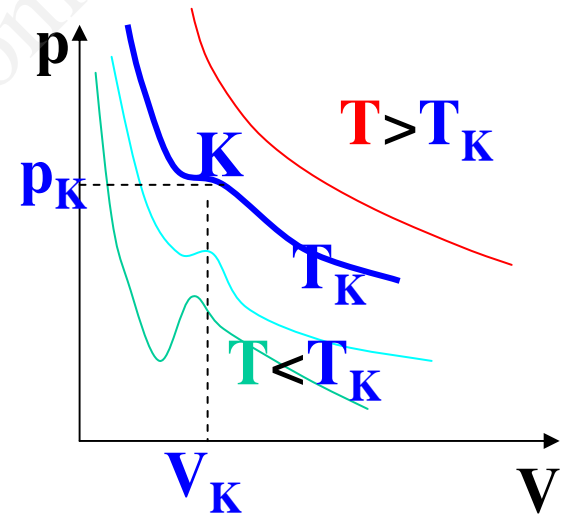
a, b là các hằng số phụ thuộc vào chất khí (tra bảng Trang 192 sách bài tập)

Áp suất càng cao thì ảnh hưởng của nội áp và cộng tích càng rõ.

§2. Đường đẳng nhiệt lý thuyết Van-der-Waals và đường đẳng nhiệt thực nghiệm Andrews

1. ĐƯỜNG ĐẲNG NHIỆT LÝ THUYẾT

- Khi $T = T_K$ đường có điểm uốn **K** (tối hạn) tại p_K, V_K - tiếp tuyến song song với trục hoành.
- Khi $T > T_K$ đường đẳng nhiệt giống của khí lý tưởng (hyperbol).
- Khi $T < T_K$ đường đẳng nhiệt có đoạn lồi lõm khác với của khí lý tưởng



• Tính các giá trị tới hạn

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

$$\frac{d^2p}{dV^2} = 0 \quad \frac{2RT}{(V_K - b)^3} - \frac{6a}{V_K^4} = 0 \quad \frac{V_K RT}{3(V_K - b)^3} = \frac{a}{V_K^3}$$

$$\frac{dp}{dV} = 0 \quad -\frac{RT}{(V_K - b)^2} + \frac{2a}{V_K^3} = 0$$

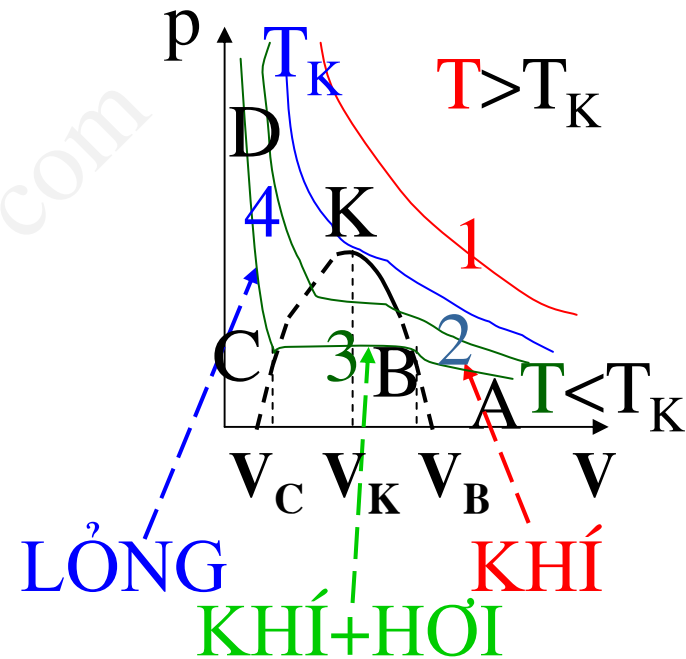
$$V_{0K} = 3b; \quad p_K = \frac{a}{27b^2}; \quad T_K = \frac{8a}{27bR}$$

$$a = \frac{27R^2 T_K^2}{64P_K}; \quad b = \frac{RT_K}{8P_K}$$

2. ĐƯỜNG ĐẲNG NHIỆT THỰC NGHIỆM ANDREWS

Nén đẳng nhiệt **khí CO₂** tại T khác nhau

- $T > T_K$ không thể hoá lỏng \rightarrow giống hypecbol như khí LT
- $T \rightarrow T_K$ thì **BC \rightarrow K**. $T_K = 304K$,
 $p_K = 73at$ $V_K = 9,6 \cdot 10^{-5} m^3/mol$



$T < T_K$: **AB-Khí**; **BC-Khí & Hơi (hạt lỏng)=trạng thái bão hoà**; Bắt đầu từ C-hoá lỏng hoàn toàn.

Chuông BKC & T_K tạo thành 4 vùng: **1- $T > T_K$ không thể hoá lỏng**; **2- $T < T_K$ khí có thể hoá lỏng**; **3- Hơi bão hoà**; **4- Khí hoá lỏng**;

3. SO SÁNH ĐƯỜNG ĐẲNG NHIỆT LÝ THUYẾT VAN-DER-WAALS VÀ ĐƯỜNG ĐẲNG NHIỆT THỰC NGHIÊM ANDREWS:

Phương trình Van-der-Waals cho đường đẳng nhiệt của khí thực trừ trạng thái hơi bão hoà:

- $T > T_K$ giống nhau;
- T_K giống nhau: Cùng có điểm tới hạn K với tiếp tuyến song song với OV
- $T < T_K$ Khác nhau chỗ lồi lõm và vùng hơi bão hoà, nhưng nếu khí sạch trên đường thực nghiệm có *đoạn chậm hoá lỏng và chậm bay hơi* giống một đoạn của lý thuyết
- Ứng dụng: Hoá lỏng khí ở $T < T_K$ và p cao

§3. Nội năng của khí thực, hiệu ứng Joule-Thompson

1. NỘI NĂNG CỦA KHÍ THỰC:

$$U = W_{dn} + W_{tn} = \sum_j W_{dnj} + \sum_j W_{tnj}$$

Động năng:
$$\sum_j W_{dnj} = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

δA_i - công do nội áp p_i của phân tử gây ra dV :

$$\delta A_i = p_i dV = \frac{a}{V^2} dV$$

$$W_{tn(V)} - W_{tn(\infty)} = \int_V^\infty \delta A_i = \int_V^\infty \frac{a}{V^2} dV = -\frac{a}{V}$$

Vậy **nội năng** khí thực: $U = U(T, V)$

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT - \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V}$$

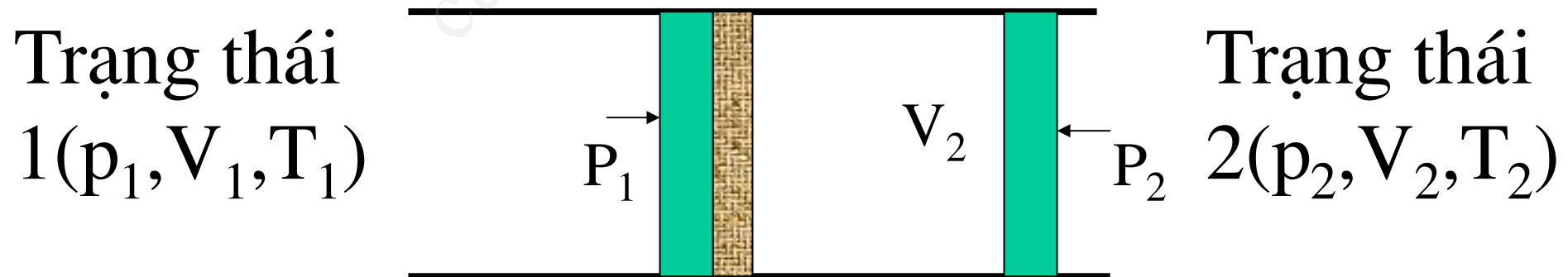
2. HIỆU ỨNG JOULE-THOMPSON

Là hiện tượng nhiệt độ của khí thực thay đổi khi giãn nở đoạn nhiệt và không trao đổi công với bên ngoài

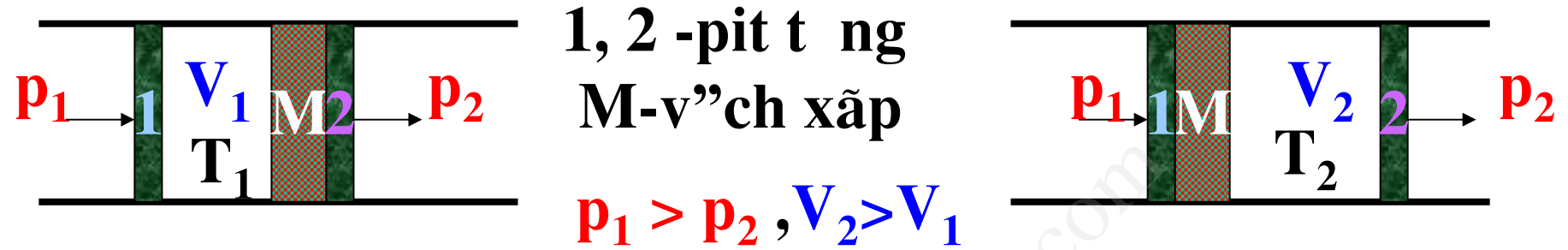
($\Delta T < 0$ hiệu ứng **dương** \rightarrow làm lạnh,
 $\Delta T > 0$ hiệu ứng âm)

HU **âm**, **dương** phụ thuộc vào nhiệt độ xảy ra đối với khí cụ thể:

HU **dương** đối với H_2 ở $T < 200K$, He_2 ở $T < 40K$



Trạng thái đầu (p_1, V_1, T_1) Trạng thái cuối (p_2, V_2, T_2)



• Khí ở bên trái M, 1 nén, 2 giãn. p_1, p_2 không đổi và $p_1 > p_2$. Pit tông 1 ép sát M $\rightarrow V'_1 = 0$

Bên trái khối khí nhận công: $A_1 = -p_1(0 - V_1) = p_1 V_1$

Bên phải nhận công: $A_2 = -p_2(V_2 - 0) = -p_2 V_2$

• Tổng công cả hệ nhận: $A = A_1 + A_2 = 0$

• Nội năng: $\Delta U = Q + A = 0$ mà $U = U(T, V)$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV = 0 \quad dV > 0 \rightarrow dT < 0$$

$$\Delta V \neq 0 \rightarrow \Delta T \neq 0$$

Giãn: $V_2 > V_1 \rightarrow T_1 \neq T_2 \rightarrow \Delta T = T_2 - T_1$

- Không xảy ra đối với khí lý tưởng
- Ứng dụng:
 - ↳ Làm lạnh: nén khí ở nhiệt độ phù hợp với hiệu ứng dương và cho giãn nở trong các ống kín.
 - ↳ Hoá lỏng khí ở T&p phù hợp.
- Tự đọc: §4. Sự chuyển pha:
 - ” Định nghĩa pha, chuyển pha
 - Chuyển pha loại I: ẩn nhiệt chuyển pha
 - ↳ Điều kiện cân bằng 2 pha, 3 pha
 - Số pha trong hệ nhiều cấu tử:
 - Qui tắc pha của Gibbs: $r \leq n+2$
- Æ Phương trình Clapayron-Clausius:

Xác định sự phụ thuộc của nhiệt độ chuyển pha vào áp suất: $\Rightarrow \frac{dT}{dP} = \frac{T}{Q} \Delta V$

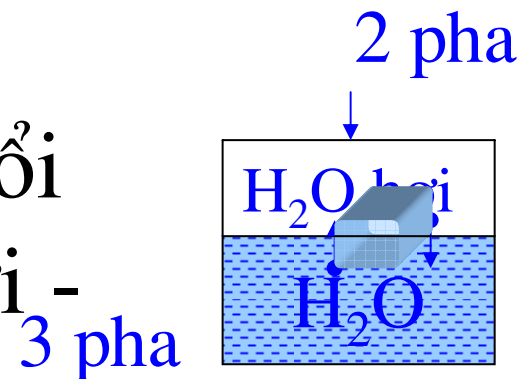
Ý nghĩa, ứng dụng của phương trình Clapayron-Clausius.

§4. Sự chuyển pha

1. KHÁI NIỆM VỀ CHUYỂN PHA:

• ĐN: *Pha là tập hợp các phần vĩ mô đồng tính (cùng tính chất) cùng tồn tại trong một hệ nhiệt động.*

• Chuyển pha: Quá trình biến đổi hệ từ pha này sang pha khác. Hơi -> Lỏng -> Rắn

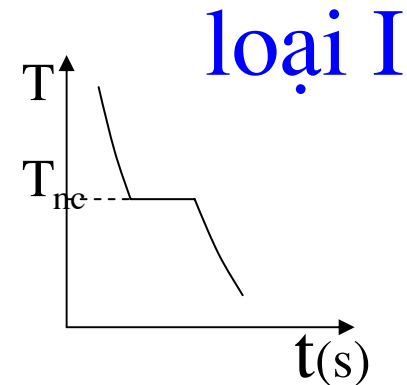
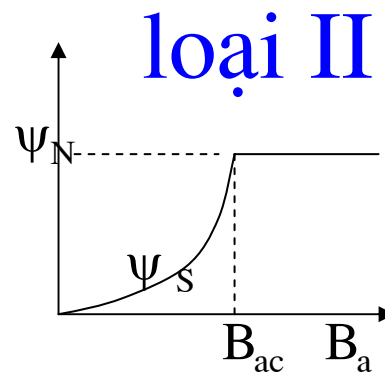


- **Chuyển pha loại I:** Thuận nghịch, có **hấp thụ** hoặc **toả nhiệt**, **V và S thay đổi đột ngột**: **Đạo hàm bậc nhất** của các hàm nhiệt động thay đổi đột ngột.

- **Chuyển pha loại II:** **V,U,S** Biến đổi **liên tục** không có nội ma sát: Kim loại \leftrightarrow Siêu dẫn: **Đạo hàm bậc hai** của các hàm nhiệt động thay đổi đột ngột:

$$S = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p \text{ và } V = \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T$$

$$C_p = -T \left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2}\right)_p$$

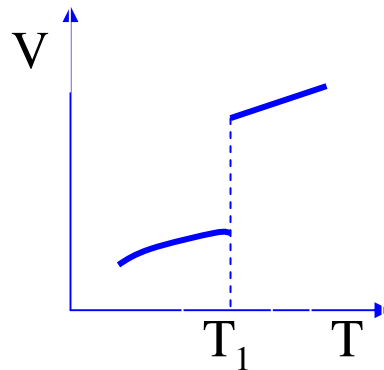
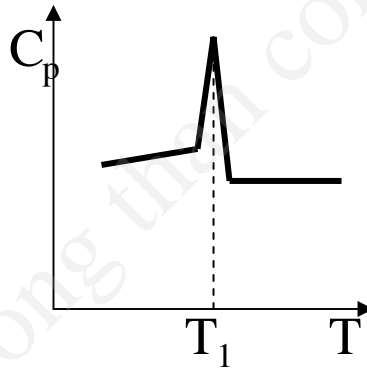
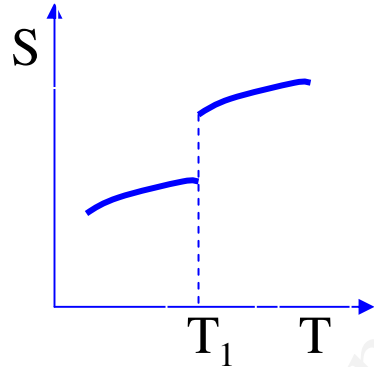


Chuyển pha loại I

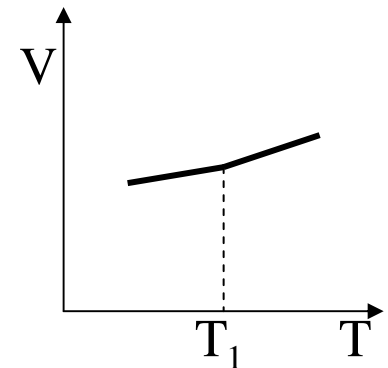
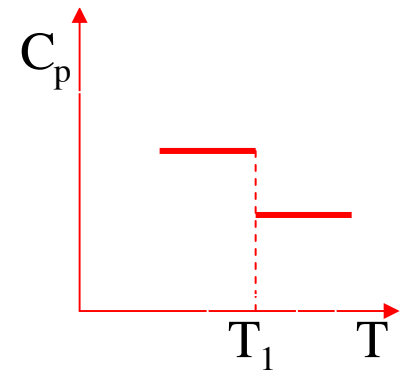
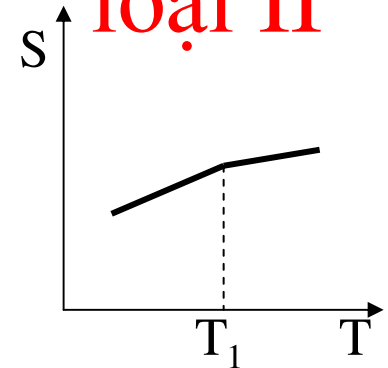
$$S = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_p$$

$$C_p = -T \left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right)_p$$

$$V = \left(\frac{\partial G}{\partial p} \right)_T$$

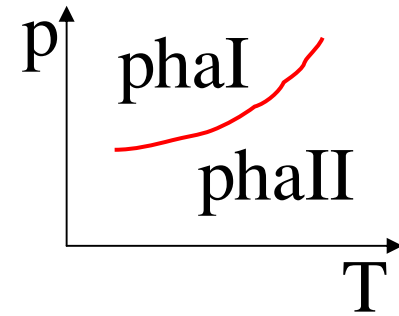


Chuyển pha loại II



2. ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG PHA. PHƯƠNG TRÌNH CLAPEYRON-CLAUSIUS

a. **Điều kiện cân bằng 2 pha:** Chuyển pha xảy ra ở nhiệt độ và áp suất xác định \rightarrow đường cân bằng giữa 2 pha: *



$$T_1=T_2; p_1=p_2. \quad * \quad dG=0$$

\Rightarrow Số hạt hai pha $n_1+n_2=n=\text{const}$

$$\Rightarrow dn = dn_1 + dn_2 = 0$$

$$dG = Vdp - SdT + \sum_{i=1}^2 \mu_i dn_i = 0$$

$$dG = \mu_1 dn_1 + \mu_2 dn_2 = 0 \quad \mu_1(p, T) = \mu_2(p, T)$$

b. Điều kiện cân bằng 3 pha: Trạng thái Tới hạn

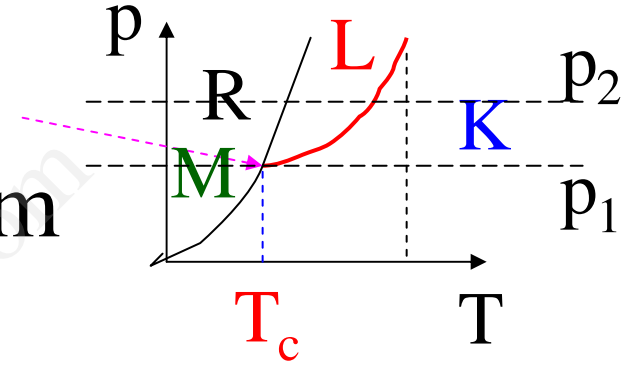
$$T_1 = T_2 = T_3; p_1 = p_2 = p_3; \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$\mu_1(p, T) = \mu_2(p, T);$$

$$\mu_1(p, T) = \mu_3(p, T);$$

M Điểm

chập 3



$T = T_c$: LK, RK và RL loại I không liên tục.

$T > T_c$: chuyển pha LK liên tục,

$T < T_c$: chuyển pha RK liên tục.

c. Số pha trong hệ nhiều cấu tử:

Gọi N là số nguyên/phân tử của cấu tử k trong pha i . Nồng độ của pha thứ i là:

$k = 1, 2, 3 \dots n$ cấu tử

$i = 1, 2, 3, \dots r$ pha

$$C_i^{(k)} = \frac{N_i^{(k)}}{\sum_k N_i^{(k)}}$$

$\sum_k C_i^{(k)} = 1$ Suy ra có $(n-1)r$ nồng độ độc lập.

Số thông số độc lập (biến) của hệ là
 $(n-1)r+2$ (số 2 là của p, T)

Số phương trình cân bằng là $(r-1)n$:

$$\mu_1^{(k)}(p, T) = \mu_2^{(k)}(p, T) = \dots = \mu_n^{(k)}(p, T)$$

Qui tắc pha của Gibbs $(n-1)r+2 \geq (r-1)n$ (số biến \geq số phương trình), hay: $r \leq n+2$

2. PHƯƠNG TRÌNH CLAPEYRON-CLAUSIUS:

**XÁC ĐỊNH SỰ PHỤ THUỘC CỦA NHIỆT ĐỘ
CHUYỂN PHA VÀO ÁP SUẤT**

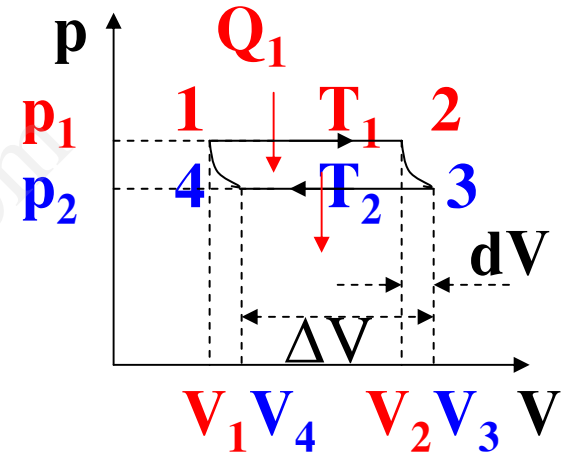
Xét chu trình Carnot với chất lỏng và hơi bão hoà của nó: $p = \text{const} \rightarrow T = \text{const}$

Vùng bão hoà khí thực

$$T_1 = T_2 + dT$$

$$p_1 = p_2 + dp$$

$$T_1 - T_2 = \frac{dT}{dp} (p_1 - p_2)$$



Công giãn đẳng nhiệt 12:

$$A_1 = p_1 (V_1 - V_2)$$

Công nén 34: $A_2 = -p_2 (V_4 - V_3) = -p_2 (V_1 - V_2)$

Công cả chu trình: $A' = A_1 + A_2 = (p_1 - p_2) (V_1 - V_2)$

(Công giãn, nén đoạn nhiệt 23, 41:

$$\delta A_{23} \approx \delta A_{41} \approx 0; \delta U \approx 0)$$

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{dT}{dP} \frac{(p_1 - p_2)}{T_1} = \frac{(p_1 - p_2)(V_1 - V_2)}{Q_1}$$

$$\frac{dT}{dP} = \frac{T_1}{Q_1} \Delta V \quad \Rightarrow \quad \frac{dT}{dP} = \frac{T}{Q} \Delta V$$

Nhiệt độ chuyển pha $T > 0$

Ấn nhiệt $Q > 0$: nhiệt toả ra hoặc thu vào trong quá trình chuyển pha $\frac{dT}{dP} \sim \Delta V$

0 Kết luận: Nhiệt độ chuyển pha tỷ lệ với áp suất.

Ứng dụng: trong nồi hơi, nồi áp suất, P cao nhiệt độ sôi cao (đến 200°C)

Trên núi cao P thấp, nước sôi dưới 100°C