



- $v < 0$ : Chất điểm chuyển động theo chiều âm quỹ đạo.

–  $|v|$  cho biết tốc độ nhanh hay chậm của chất điểm khi chuyển động.

**+ Gia tốc tiếp tuyến:**

- Có phương trùng với phương tiếp tuyến của quỹ đạo.
- Có chiều là chiều chuyển động khi  $v$  tăng và ngược lại.
- Có độ lớn bằng đạo hàm của vecto vận tốc:  $a_t = \frac{dv}{dt}$

**+ Gia tốc pháp tuyến:**

- Có phương trùng với phương pháp tuyến của quỹ đạo
- Có chiều hướng về phía lõm của quỹ đạo
- Có độ lớn là  $a_n = \frac{v^2}{R}$

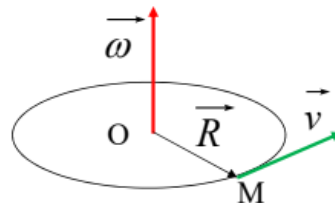
**+ Toạ độ góc:** Là cách xác định vị trí của chất điểm trong chuyển động tròn, biểu thị vị trí tương đối so với vị trí ban đầu của chất điểm sau khi thực hiện chuyển động tròn trong một khoảng thời gian cho trước, trong một hệ quy chiếu, với toạ độ ban đầu là góc hợp giữa đường nối chất điểm với tâm và trục . Với  $\theta_0$  là toạ độ ban đầu của chất điểm,  $\beta$  là gia tốc góc,  $\omega_0$  là vận tốc góc ban đầu, thì toạ độ góc được tính bằng công thức:

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2$$

**+ Vận tốc góc:**

- Phương: nằm trên trục của vòng tròn quỹ đạo
- Chiều:  $\vec{R}, \vec{v}, \vec{\omega}$  tạo thành tam diện thuận.

– Độ lớn:  $\omega = \left| \frac{d\theta}{dt} \right|$



**+ Gia tốc góc:**

- Phương: nằm trên trục của vòng tròn quỹ đạo
- Chiều: Cùng chiều với  $\vec{\omega}$  nếu  $\beta > 0$ , ngược chiều với  $\vec{\omega}$  nếu  $\beta < 0$ .
- Độ lớn:  $\beta = \left| \frac{d\omega}{dt} \right|$ .

- + **Công thức liên hệ giữa đại lượng dài và đại lượng góc:** Với  $R$  là bán kính quỹ đạo chuyển động:
- Góc quay được và độ dài quãng đường đi được:  $s = \theta R$ .
  - Vận tốc dài và vận tốc góc:  $v = \omega R$ .
  - Gia tốc dài và gia tốc góc:  $a = \beta R$ .

**Câu 2**

Định nghĩa và viết các công thức của chuyển động thẳng đều, chuyển động thẳng biến đổi đều, chuyển động tròn đều, chuyển động tròn biến đổi đều. □

**[Lời giải]**

+ **Chuyển động thẳng đều:**

- Định nghĩa: Là dạng chuyển động mà vector vận tốc của chất điểm không thay đổi về cả hướng và độ lớn theo thời gian.

- Công thức vận tốc, gia tốc, phương trình chuyển động và toạ độ: 
$$\begin{cases} v = \text{const} \\ a = 0 \\ s = vt \\ x = x_0 + vt \end{cases}$$

+ **Chuyển động thẳng biến đổi đều:**

- Định nghĩa: Là dạng chuyển động có quỹ đạo là đường thẳng và vector gia tốc của chất điểm không đổi.

- Công thức vận tốc, gia tốc, phương trình chuyển động và toạ độ: 
$$\begin{cases} v = v_0 + at \\ a = \text{const} \\ s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \end{cases}$$

- Công thức liên hệ:  $v^2 - v_0^2 = 2as$ .

+ **Chuyển động tròn đều:**

- Định nghĩa: Là dạng chuyển động có quỹ đạo tròn và có tốc độ trung bình trên mọi cung tròn là như nhau.
- Công thức

- Gia tốc hướng tâm và gia tốc tiếp tuyến:  $\begin{cases} a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \\ a_t = 0 \end{cases}$
- Gia tốc toàn phần:  $a = a_n$ .
- Vận tốc dài và vận tốc góc:  $\omega = \text{const}$ ,  $v = \omega R$ .
- Chu kỳ, tần số:  $\begin{cases} T f = 1 \\ T = \frac{2\pi}{\omega} \end{cases}$

**+ Chuyển động tròn biến đổi đều:**

- Định nghĩa: Là dạng chuyển động có quỹ đạo tròn, mà độ lớn gia tốc tiếp tuyến luôn không đổi.
- Công thức:
  - Gia tốc hướng tâm và gia tốc tiếp tuyến:  $\begin{cases} a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \\ a_t = \beta R, \beta = \text{const là gia tốc góc.} \end{cases}$
  - Gia tốc toàn phần:  $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} = R\sqrt{\omega^4 + \beta^2}$ .
  - Vận tốc dài và vận tốc góc:  $\omega = \omega_0 + \beta t$ ,  $v = \omega R$ .
  - Phương trình chuyển động và tọa độ:  $\begin{cases} \omega = \omega_0 + \beta t \\ \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\beta t^2 \end{cases}$

CLB HỖ TRỢ HỌC TẬP

## Chương 3. Động lực học chất điểm

### Câu 3

Phát biểu các định luật Newton về chuyển động. Nêu đặc điểm của không gian và thời gian trong cơ học cổ điển. Trình bày phép biến đổi Galileo, tổng hợp vận tốc và gia tốc. Định nghĩa hệ quy chiếu quán tính và phát biểu nguyên lý tương đối Galileo.  $\square$

#### [Lời giải]

#### + Các định luật Newton về chuyển động:

- Định luật Newton thứ nhất: Nếu một vật không chịu tác dụng của lực nào hoặc chịu tác dụng của các lực có hợp lực bằng không thì nó giữ nguyên trạng thái đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều:

$$\sum \vec{F} = 0 \iff a = 0$$

- Định luật Newton thứ hai: Gia tốc của một vật cùng hướng với lực tác dụng lên vật. Độ lớn của gia tốc tỉ lệ thuận với độ lớn của lực và tỉ lệ nghịch với khối lượng của vật:

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

- Định luật Newton thứ ba: Trong mọi trường hợp, khi vật A tác dụng lên vật B một lực, thì vật B cũng tác dụng lại vật A một lực. Hai lực này có cùng phương, ngược chiều, cùng độ lớn:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

#### + Không gian và thời gian theo cơ học cổ điển:

- Xét 2 hệ tọa độ: Hệ  $Oxyz$  đứng yên, hệ  $O'x'y'z'$  chuyển động dọc theo  $Ox$  với vận tốc  $\vec{V}$ . Xét điểm  $M$  bất kỳ. Tại thời điểm  $t$  chỉ bởi đồng hồ của hệ  $Oxyz$ , điểm  $M$  có tọa độ trong hệ  $Oxyz$  là:  $x, y, z$ . Trong hệ  $O'$ :  $M$  có tọa độ:  $x', y', z'$  và thời gian chỉ bởi đồng hồ trong hệ  $O'$  là  $t'$ .

- Thời gian chỉ bởi các đồng hồ trong 2 hệ  $O$  và  $O'$  là như nhau. Thời gian có tính tuyệt đối, không phụ thuộc hệ quy chiếu:  $t = t'$ .

- Vị trí không gian có tính tương đối, phụ thuộc vào hệ quy chiếu: 
$$\begin{cases} x = x' + \overline{OO'} \\ y = y' \\ z = z' \end{cases}$$

- Tính tuyệt đối của khoảng không gian: Giả sử có thước  $AB$  đặt dọc theo  $O'x'$ , gắn liền với  $O'$ :

- Trong hệ  $O'$ , chiều dài thước:  $l_0 = x'_b - x'_a$ .
- Trong hệ  $O$ , chiều dài thước là  $l$ , ta có:  $l = x_b - x_a = x'_b - x'_a = l_0$ .

+ **Phép biến đổi Galileo:** Giả sử  $O'$  chuyển động thẳng đều dọc theo  $Ox$  với vận tốc  $\vec{V}$ . Nếu tại  $t = 0$ ,  $O'$  trùng với  $O$  ta có:  $\overline{OO'} = Vt$ . Khi đó, hai phép biến đổi Galileo là:

$$\text{– Từ } O' \text{ sang } O: \begin{cases} x = x' + Vt' \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases}$$

$$\text{– Từ } O \text{ sang } O': \begin{cases} x' = x - Vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

+ **Tổng hợp vận tốc và gia tốc:** Xét hệ quy chiếu  $O'$  chuyển động theo hệ quy chiếu  $O$  với vận tốc và gia tốc lần lượt là  $\vec{V}$  và  $\vec{A}$ .

Ta có  $\vec{r} = \vec{r}' + \overline{OO'}$ . Khi đó:

$$\text{– Công thức tổng hợp vận tốc: } \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d(\overline{OO'})}{dt} \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$$

(với  $\vec{v}$ ,  $\vec{v}'$  lần lượt là vận tốc của  $M$  so với  $O$  và  $O'$ ).

$$\text{– Công thức tổng hợp gia tốc: } \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d(\vec{V})}{dt} \Rightarrow \vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

(với  $\vec{a}$ ,  $\vec{a}'$  lần lượt là gia tốc của  $M$  so với  $O$  và  $O'$ ).

+ **Hệ quy chiếu quán tính:** HQC mà trong đó các định luật quán tính của Newton được nghiệm đúng.

+ **Nguyên lý tương đối Galileo:** Mọi hệ qui chiếu chuyển động thẳng đều với một HQC quán tính cũng là HQC quán tính. Hay các định luật Newton được nghiệm đúng trong hệ quy chiếu chuyển động thẳng đều đối với hệ quy chiếu quán tính.

**Câu 4**

Trình bày về lực ma sát, lực căng dây, lực hướng tâm.



**[Lời giải]**

**+ Lực ma sát:**

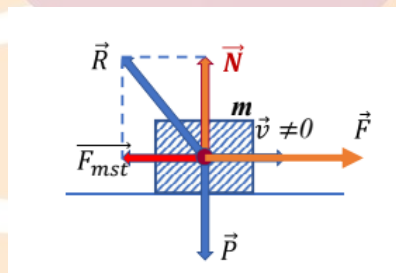
– Lực ma sát là lực cản trở chuyển động của vật này so với vật khác. Lực ma sát xuất hiện giữa bề mặt tiếp xúc của hai vật.

– Phân loại:

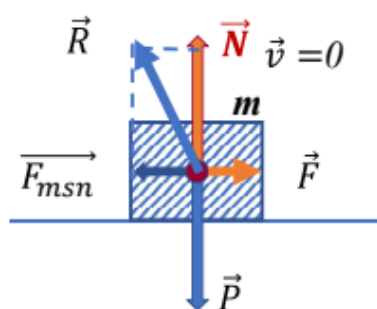
- Nếu  $\vec{v} \neq \vec{0}$ , thì lực ma sát lúc này là lực ma sát trượt:

$$F_{mst} = \mu N$$

với  $\mu$  là hệ số ma sát trượt,  $N$  là phản lực.



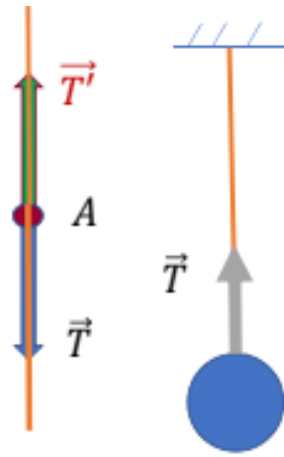
- Nếu  $\vec{v} = \vec{0}$  ( $F < \mu N$ ), thì lúc này lực ma sát là ma sát nghỉ. Lực ma sát nghỉ cực đại đúng bằng lực ma sát trượt.



**+ Lực căng dây:** Lực căng tại điểm  $A$  trên dây là lực tương tác giữa hai nhánh dây hai bên điểm  $A$  hoặc là lực mà sợi dây tác dụng lên vật liên kết với nó.

$$\vec{T} = -\vec{T'}$$





+ **Lực hướng tâm:**

- Lực hướng tâm là loại lực sinh ra từ thành phần gia tốc pháp tuyến trong chuyển động tròn, có tác dụng giữ cho vật luôn duy trì chuyển động trên quỹ đạo tròn.
- Phương, chiều: hướng về phía tâm của quỹ đạo chuyển động.
- Độ lớn:  $F_{ht} = ma_n = m \frac{v^2}{R}$ , với  $R$  là bán kính quỹ đạo.

**Câu 5**

Hệ quy chiếu phi quán tính là gì? Lấy ví dụ về hệ quy chiếu phi quán tính. Biểu thức của lực quán tính.



**[Lời giải]**

+ **Hệ quy chiếu phi quán tính:** Là hệ quy chiếu chuyển động có gia tốc so với hệ quy chiếu quán tính mà trong hệ quy chiếu đó xuất hiện lực quán tính (các định luật quán tính không được nghiệm đúng).

+ **Ví dụ về hệ quy chiếu phi quán tính:**

- Xét hệ quy chiếu gắn với điểm O đứng yên trên mặt đất (Hệ quy chiếu quán tính).
- Xe A chuyển động với gia tốc  $\vec{a}$  trên đường.
- Viên gạch B có thể chuyển động không ma sát trên thùng xe.

Trong quá trình xe A di chuyển, viên gạch B không chịu tác dụng của ngoại lực mà vẫn chuyển động giật lùi so với thùng xe A, chứng tỏ viên gạch B chịu tác dụng của lực quán tính trong hệ quy chiếu gắn với xe A (Xe A là hệ quy chiếu phi quán tính).

+ **Biểu thức lực quán tính:**  $\vec{F}_{qt} = -m\vec{a}$ . Trong đó:

- $\vec{F}_{qt}$  là lực ảo, chỉ xuất hiện trong hệ quy chiếu phi quán tính.
- $\vec{F}_{qt}$  luôn cùng phương, ngược chiều với  $\vec{a}$  ( với  $\vec{a}$  là gia tốc của hệ quy chiếu phi quán tính).



**Câu 6**

Định nghĩa, ý nghĩa của động lượng. Trình bày các định lý về động lượng. Nội dung của định luật bảo toàn động lượng. Lấy ví dụ về định luật bảo toàn động lượng.  $\square$

**[Lời giải]**

+ **Định nghĩa về động lượng:** Động lượng của một vật chuyển động là một đại lượng vectơ đặc trưng cho trạng thái chuyển động của vật đó về mặt động lực học, được xác định bằng tích của khối lượng với vận tốc của vật đó.

$$\vec{K} = m \vec{v}$$

+ **Ý nghĩa của động lượng:**

- Động lượng kết hợp cả khối lượng và vận tốc. Độ biến thiên của nó trong một đơn vị thời gian bằng tổng ngoại lực tác dụng lên vật, vì vậy nói động lượng đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực.
- Trong các hiện tượng va chạm, động lượng đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động.

+ **Các định lý về động lượng:**

- **Định lý 1:** Theo định luật II Newton:

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

Phát biểu: Đạo hàm của vector động lượng của một chất điểm theo thời gian có giá trị bằng tổng hợp các lực tác dụng lên chất điểm đó.

- **Định lý 2:** Từ phương trình  $\vec{F} = \frac{d\vec{K}}{dt} \Leftrightarrow d\vec{K} = \vec{F} dt$

Tích phân 2 vế:  $\int_{\vec{K}_1}^{\vec{K}_2} d\vec{K} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt \Rightarrow \Delta \vec{K} = \vec{K}_2 - \vec{K}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$

Phát biểu: Độ biến thiên động lượng của một chất điểm trong một khoảng thời gian nào đó có giá trị bằng xung lượng của lực tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian đó.

Nếu  $\vec{F}$  không phụ thuộc vào  $t$ : Độ biến thiên động lượng của chất điểm trong một đơn vị thời gian bằng lực tác dụng lên chất điểm đó:

$$\Delta \vec{K} = \vec{F} \Delta t \Leftrightarrow \frac{\Delta \vec{K}}{\Delta t} = \vec{F}$$

+ **Định luật bảo toàn động lượng của hệ chất điểm cô lập:**

Xét hệ chất điểm cô lập thì  $\vec{F} = \vec{0}$  và  $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = \text{const}$

Vậy: Tổng động lượng của 1 hệ chất điểm cô lập là đại lượng bảo toàn.

+ **Định luật bảo toàn động lượng theo một phương của hệ chất điểm:**

Xét hệ chất điểm không cô lập  $\vec{F} \neq \vec{0}$ .

Nếu hình chiếu của  $\vec{F}$  lên phương  $x$  bằng không, chiếu phương trình  $\frac{d}{dt}(m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n) = \vec{F}$  lên phương  $x$ :

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}(m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n)_x &= \vec{F}_x = 0 \\ \Rightarrow m_1v_{1x} + m_2v_{2x} + \dots + m_nv_{nx} &= \text{const}\end{aligned}$$

Vậy hình chiếu của tổng động lượng của hệ lên 1 phương  $x$  được bảo toàn.

+ **Ví dụ về định luật bảo toàn động lượng:** Hiện tượng súng giật lùi: Súng có khối lượng  $M$  đặt lên giá nằm ngang, viên đạn có khối lượng  $m$ .

- Trước khi bắn: Tổng động lượng bằng  $\vec{0}$
- Sau khi bắn: Súng có vận tốc  $\vec{V}$ , đạn có vận tốc  $\vec{v}$   
 $M\vec{V} + m\vec{v} = \vec{0}$

### Câu 7

Định nghĩa mômen động lượng của chất điểm; mômen động lượng của chất điểm chuyển động tròn và của một vật rắn quay quanh một trục cố định. Trình bày các định lý về mômen động lượng của chất điểm và của một hệ chất điểm. Nội dung định luật bảo toàn mômen động lượng. Lấy ví dụ.  $\square$

### [Lời giải]

+ **Định nghĩa về momen động lượng:** Là đại lượng đặc trưng cho chuyển động quay của vật, được tính bằng tích có hướng của vector  $\vec{r}$  khoảng cách đến trục quay O và vector động lượng  $\vec{K}$  của chất điểm:

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

- Momen động lượng của chất điểm chuyển động tròn:

$$\vec{L} = \vec{R} \times m\vec{v}$$

- Momen động lượng của vật rắn quay quanh trục cố định:

$$\vec{L} = I\vec{\omega}$$

Với  $I$  là momen quán tính của vật đối với trục quay,  $\vec{\omega}$  là vận tốc góc của vật.

+ **Định lý về momen động lượng của một chất điểm:**

Xét chất điểm M chuyển động trên quỹ đạo cong dưới tác dụng của lực  $\vec{F}$ . Theo định lý về động lượng:

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

Nhân có hướng hai về (\*) với  $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$

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

Về trái:  $\vec{r} \times \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d(\vec{r} \times m\vec{v})}{dt} - \frac{d\vec{r}}{dt} \times m\vec{v} = \frac{d\vec{L}}{dt}$

Về phải:  $\vec{r} \times \vec{F} = \vec{\mu}_{/O}(\vec{F})$  mômen của lực  $\vec{F}$  đối với O

$$\rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu}_{/O}(\vec{F})$$

Đạo hàm theo thời gian của mômen động lượng của chất điểm đối với điểm O có giá trị bằng mômen đối với O của tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm.

+ **Định lý momen động lượng của hệ chất điểm:** Momen động lượng của hệ chất điểm bằng tổng momen động lượng của các chất điểm trong hệ đó:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^n \vec{L}_i = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times m_i \vec{v}_i$$

+ **Định luật bảo toàn mômen động lượng:**

-  $\vec{F} = \vec{0} \rightarrow \vec{\mu}_{/O}(\vec{F}) = \vec{0} \rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0} \rightarrow \vec{L} = \overrightarrow{const}$

- Trong trường hợp chất điểm chuyển động luôn chịu tác dụng của 1 lực xuyên tâm (phương của lực luôn đi qua điểm O cố định) thì  $\vec{\mu}_{/O}(\vec{F}) = \vec{0} \rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{0} \rightarrow \vec{L} = \overrightarrow{const}$   
 Vì  $\vec{L}$  vuông góc với mặt phẳng chứa O và  $\vec{K} = m\vec{v}$  mà  $\vec{L}$  không đổi nên mặt phẳng này cũng không đổi. Như vậy chất điểm luôn chuyển động trong mặt phẳng cố định.

+ **Ví dụ về bảo toàn mômen động lượng:**

Trong bộ môn trượt băng nghệ thuật, khi vận động viên muốn tăng tốc độ xoay tròn của mình lên sẽ thu tay về sát người để momen quán tính giảm đi. Khi đó theo định luật BTMMDL:

$$L = I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \rightarrow \omega_2 = \frac{I_1 \omega_1}{I_2}$$

-  $I_1, \omega_1, I_2, \omega_2$  lần lượt là momen quán tính và vận tốc góc khi xoay của vận động viên trước và sau khi thu tay về sát người.

## Chương 4. Cơ năng và Trường lực thế

### Câu 8

Trình bày về công, công suất, định lý động năng (công - động năng). Định nghĩa động năng. Nêu các tính chất của động năng. □

#### [Lời giải]

+ **Trình bày về công:** Công là một đại lượng vô hướng có thể mô tả bằng tích của lực với quãng đường dịch chuyển mà nó gây ra. Đơn vị công là: Jun ( $J$ )

– Đối với lực  $\vec{F}$  không đổi: Công  $A$  do lực  $\vec{F}$  sinh ra trong chuyển dời  $\overrightarrow{MN}$  là đại lượng có trị số:

$$A = \vec{F} \cdot \overrightarrow{MN} = F \cdot MN \cdot \cos \alpha \quad \text{với } \alpha = (\vec{F}, \overrightarrow{MN})$$

– Đối với lực  $\vec{F}$  thay đổi: Công của lực  $\vec{F}$  trên quãng đường  $d\vec{s}$  rất nhỏ là:

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

Từ đó tính được công của lực  $\vec{F}$  trên toàn bộ quãng đường  $CD$ :

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

+ **Trình bày về công suất:** Công suất là đại lượng đặc trưng cho tốc độ thực hiện công, được xác định bằng công thực hiện trong một đơn vị thời gian. Đơn vị công suất là: Oát ( $W$ )

– Công suất trung bình của lực sinh ra trong khoảng thời gian  $\Delta t$  một công  $\Delta A$  là:

$$\bar{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

– Công suất tức thời:  $P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{s}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$ .

+ **Định nghĩa về động năng:** Là phần năng lượng tương ứng với chuyển dời của vật.

Động năng của chất điểm có khối lượng  $m$ , có vận tốc  $v$  là:  $W = \frac{mv^2}{2}$

+ **Định lý động năng:** Độ biến thiên động năng của chất điểm trong quãng đường nào đó có giá trị bằng công của ngoại lực tác dụng lên chất điểm trong quãng đường đó:

$$W_{d2} - W_{d1} = A$$

Nếu  $A$  là công phát động ( $A > 0$ )  $\Rightarrow W_{d2} > W_{d1}$

Nếu  $A$  là công cản ( $A < 0$ )  $\Rightarrow W_{d2} < W_{d1}$

+ **Tính chất động năng:**

- Là một đại lượng vô hướng, mang giá trị dương.
- Chỉ phụ thuộc vào độ lớn vận tốc, không phụ thuộc vào chiều chuyển động của vật.
- Độ biến thiên động năng bằng công của ngoại lực tác dụng

**Câu 9**

Trình bày về thế năng của một chất điểm trong trọng trường. Nội dung của định lý thế năng. Nêu các tính chất của thế năng. □

**[Lời giải]**

+ **Định nghĩa:**

- Thế năng của chất điểm trong trọng trường là một hàm  $W_t$  phụ thuộc vào vị trí của chất điểm sao cho độ giảm thế năng của chất điểm từ M đến N có trị số bằng công của lực trọng trường từ M đến N.

$$(W_t)_M - (W_t)_N = A_{MN} = mg(z_M - z_N) \quad (1)$$

- **Nhận xét:** Nếu đồng thời cộng  $(W_t)_M$  và  $(W_t)_N$  với cùng 1 hằng số thì (1) vẫn đúng. Vậy :
  - Thế năng chất điểm tại điểm M :  $(W_t)_M = mgz_M + C$ .
  - Thế năng chất điểm tại điểm N :  $(W_t)_N = mgz_N + C$ .
  - Thế năng của chất điểm khối lượng m ở cách mặt đất độ cao z:

$$W_t = mgz + C \quad (C \text{ là hằng số tùy ý})$$

- C chính là  $W_t$  tại mặt đất. Nếu chọn mốc  $W_t(z = 0) = 0$  thì  $C = 0$  khi đó  $W_t = mgz$

+ **Định lý thế năng trong trọng trường đều:** Độ giảm thế năng từ chất điểm M đến N trong trọng trường có giá trị bằng công của trọng lực tác dụng lên chất điểm trong chuyển dời của nó

$$(W_t)_M - (W_t)_N = A_{MN}$$

+ **Tính chất:**

- Thế năng sai khác một hằng số cộng nhưng hiệu thế năng giữa 2 điểm được xác định.
- Quan hệ giữa trường thế lực và thế năng :  $\oint_C \vec{F} d\vec{S} = 0$
- Thế năng là đại lượng đặc trưng cho tương tác.

**Câu 10**

Định nghĩa cơ năng. Nội dung của định luật bảo toàn cơ năng. Định nghĩa năng lượng, các dạng năng lượng. Phát biểu định luật bảo toàn năng lượng. □

**[Lời giải]**

- + **Định nghĩa cơ năng:** Khi một vật chuyển động trong trọng trường thì tổng động năng và thế năng là cơ năng của vật.

$$W = W_d + W_t = \frac{1}{2}mv^2 + mgz.$$

- + **Định luật bảo toàn cơ năng:** 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.

- + **Định nghĩa năng lượng:** Năng lượng là đại lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất. Một vật ở trạng thái xác định có năng lượng xác định. Năng lượng là hàm của trạng thái. Một vật tương tác với bên ngoài, trạng thái của nó thay đổi, nghĩa là vật đã trao đổi năng lượng với bên ngoài. Trong chuyển động cơ học sự trao đổi năng lượng này được thực hiện bằng quá trình thực hiện công.

- + **Các dạng năng lượng:**

- **Động năng:** Là phần năng lượng ứng với sự chuyển dời của vật, phụ thuộc vào vận tốc của vật, liên quan đến công của lực tác dụng lên vật

Biểu thức động năng :

$$W_d = \frac{1}{2}mv^2$$

Công của của vật có khối lượng  $m$  chịu tác dụng của lực  $\vec{F}$  di chuyển từ điểm (1) tới điểm (2)

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_{(1)}^{(2)} m \cdot \vec{a} \cdot d\vec{s} = \int_{(1)}^{(2)} m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{s} = \int_{(1)}^{(2)} m \cdot \vec{v} d\vec{v} = \int_{v_1}^{v_2} m \cdot d\left(\frac{v^2}{2}\right) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_1^2 - v_2^2)$$

Độ biến thiên động năng của một chất điểm trên quãng đường nào đó có giá trị bằng công của lực (hay tổng hợp lực) tác dụng lên chất điểm thực hiện trong quãng đường đó.

- **Thế năng:** Là phần năng lượng ứng với tương tác thế giữa các phần của vật hoặc giữa các vật trong hệ

Biểu thức thế năng trong trọng trường đều:

$$W_t = mgh + C, \quad C = \text{const}, \text{ phụ thuộc chọn mốc thế năng, } h \text{ là độ cao so với mốc thế năng.}$$



Công của trọng lực trong chuyển dời từ vị trí (1) đến vị trí (2):

$$A_{12} = \int_{(1)}^{(2)} dA = \int_{(1)}^{(2)} -Pdh = P(h_1 - h_2) = mg(h_1 - h_2)$$

**+ Định luật bảo toàn năng lượng:**

- Giả sử ở trạng thái nào đó hệ có năng lượng xác định là  $E_1$ . Trong một quá trình nào đó hệ có thể sinh công hoặc nhận công và năng lượng của nó có giá trị  $E_2$ . Thực nghiệm chứng tỏ :

$$\Delta E = E_2 - E_1 = A, \quad A : \text{Công mà hệ nhận được}$$

- Độ biến thiên năng lượng của một hệ trong một quá trình nào đó có giá trị bằng công mà hệ nhận được từ bên ngoài trong quá trình đó
  - $A > 0$  hệ nhận công, năng lượng của hệ tăng
  - $A < 0$  hệ sinh công, năng lượng của hệ giảm
  - Đối với hệ cô lập  $A = 0$  thì  $E_1 = E_2$  năng lượng của hệ được bảo toàn.

**Ý nghĩa:**

- Vận động của vật chất được bảo toàn.
- Năng lượng là hữu hạn : Một vật không thể sinh công mãi mà không nhận năng lượng từ bên ngoài.
- Không thể chế tạo động cơ vĩnh cửu (Loại 1).

**Câu 11**

Va chạm là gì ? Áp dụng định luật bảo toàn cho va chạm mềm và va chạm tuyệt đối đàn hồi (một chiều và 2 chiều). □

[Lời giải]

**+ Định nghĩa va chạm:**

- Va chạm là sự tương tác giữa các vật trong khoảng thời gian rất ngắn. Trước và sau va chạm các vật không tương tác.

**+ Định luật bảo toàn trong va chạm mềm:**

- Trong va chạm mềm, động lượng được bảo toàn, nhưng cơ không được bảo toàn do một phần năng lượng bị chuyển hóa thành các dạng năng lượng khác như nhiệt, âm thanh, hoặc làm biến dạng vật.
- **Trong một chiều:** Giả sử hai vật có khối lượng  $m_1, m_2$ , vận tốc ban đầu là  $v_1, v_2$ , sau va chạm chúng có cùng vận tốc  $v$ .



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

- **Trong hai chiều:** Trong trường hợp hai chiều, các phương trình bảo toàn động lượng được áp dụng cho từng trục tọa độ. Giả sử hai vật có khối lượng là  $m_1, m_2$ , vận tốc ban đầu  $\vec{v}_1 = (v_{1x}, v_{1y}), \vec{v}_2 = (v_{2x}, v_{2y})$ . Sau va chạm chúng có vận tốc  $\vec{v} = (v_x, v_y)$

**Bảo toàn trên trục  $x$ :**

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = (m_1 + m_2) v_x$$

**Bảo toàn trên trục  $y$ :**

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = (m_1 + m_2) v_y$$

**+ Định luật bảo toàn trong va chạm tuyệt đối đàn hồi:**

- Là loại va chạm trong đó cả động lượng và năng lượng động học đều được bảo toàn.
- **Trong một chiều:** Giả sử hai vật có khối lượng  $m_1, m_2$ , vận tốc ban đầu là  $v_1, v_2$ , vận tốc sau va chạm là  $v'_1, v'_2$ .

**Bảo toàn động lượng:**

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

**Bảo toàn năng lượng:**

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v'^2_1 + \frac{1}{2} m_2 v'^2_2$$

- **Trong hai chiều:** Trong trường hợp hai chiều, các phương trình bảo toàn động lượng và năng lượng được áp dụng cho từng trục tọa độ. Giả sử hai vật có khối lượng  $m_1, m_2$  và vận tốc ban đầu là  $v_1 = (v_{1x}, v_{1y}), v_2 = (v_{2x}, v_{2y})$ , vận tốc sau va chạm  $v'_1 = (v'_{1x}, v'_{1y}), v'_2 = (v'_{2x}, v'_{2y})$

**Bảo toàn động lượng trên trục  $x$ :**

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 v'_{1x} + m_2 v'_{2x}$$

**Bảo toàn động lượng trên trục  $y$ :**

$$m_1 v_{1y} + m_2 v_{2y} = m_1 v'_{1y} + m_2 v'_{2y}$$

**Bảo toàn năng lượng:**

$$\frac{1}{2} m_1 (v_{1x}^2 + v_{1y}^2) + \frac{1}{2} m_2 (v_{2x}^2 + v_{2y}^2) = \frac{1}{2} m_1 (v'^2_{1x} + v'^2_{1y}) + \frac{1}{2} m_2 (v'^2_{2x} + v'^2_{2y})$$

**Câu 12**

Nội dung và ứng dụng của định luật vạn vật hấp dẫn. Chứng minh tính chất thế của trường hấp dẫn.  
Tính các tốc độ vũ trụ. □

**[Lời giải]**

- + **Nội dung định luật vạn vật hấp dẫn:** mọi hạt đều hút mọi hạt khác trong vũ trụ với một lực tỷ lệ thuận với tích khối lượng của chúng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa các tâm của chúng.

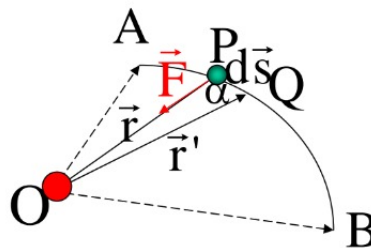
Biểu thức của lực hấp dẫn :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Trong đó  $F$  là lực hấp dẫn tác dụng giữa hai vật,  $m_1, m_2$  là khối lượng của các vật,  $r$  là khoảng cách giữa các khối tâm của chúng và  $G$  là hằng số hấp dẫn.

- + **Ứng dụng:** Định luật vạn vật hấp dẫn có thể giải thích rõ ràng các hiện tượng thiên văn như chuyển động của hành tinh và hiện tượng thủy triều, đồng thời cũng có thể được sử dụng để tính toán quỹ đạo và tốc độ của các tàu vũ trụ như vệ tinh nhân tạo và tên lửa.

- + **Chứng minh tính chất thế của trường hấp dẫn.:**



- Biểu thức tính công của lực  $\vec{F}$  trên đoạn đường s:  $A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos \alpha$

$$\Rightarrow dA = \vec{F} d\vec{s} = G \frac{M.m}{r^2} . ds . \cos \alpha$$

$$\text{Mà } ds \cos \alpha = -dr \Rightarrow dA = -G \frac{M.m}{r^2} dr$$

$$\Rightarrow A = \int_A^B dA = \int_{r_1}^{r_2} -G \frac{M.m}{r^2} dr$$

$$= G.M.m \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$\Rightarrow$  Công của lực hấp dẫn không phụ thuộc vào đường đi mà chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đầu và điểm cuối.

⇒ Trường hấp dẫn của chất điểm M là một trường thế.

+ **Tính các tốc độ vũ trụ:**

– **Xét chuyển động của viên đạn khối lượng m trong trường hấp dẫn:**

Từ một điểm A gần mặt đất, người ta bắn 1 viên đạn khối lượng m với vận tốc v. Có thể xảy ra các trường hợp sau:

$v = v_1$  : Viên đạn bắt đầu chuyển động theo quỹ đạo tròn quanh Trái Đất.

$v = v_2$  : Viên đạn thoát khỏi trường hấp dẫn của Trái Đất và chuyển động ra xa vô cùng.

$v < v_1$  : Viên đạn chuyển động theo quỹ đạo là nhánh Parabol và rơi trở lại mặt đất.

$v_1 < v < v_2$  : Viên đạn chuyển động quanh Trái Đất theo quỹ đạo elip.

Khi đó:  $v_1$  được gọi là vận tốc vũ trụ cấp I và  $v_2$  được gọi là vận tốc vũ trụ cấp II.

– **Vận tốc vũ trụ cấp I:** Vật chuyển động tròn quanh Trái Đất, coi quỹ đạo gần mặt đất.

⇒  $a_{ht} = g_0$  với  $g_0$  là gia tốc trọng trường

$$\Rightarrow g_0 = \frac{v_1^2}{R}$$

$$\Rightarrow v_1 = \sqrt{g_0 \cdot R} \approx 7,9 km/s$$

– **Vận tốc vũ trụ cấp II:** Vật chuyển động ra xa vô cùng Theo định luật bảo toàn cơ năng:

$$W_0 = W_\infty$$

$$\Rightarrow \frac{mv_2^2}{2} + -G \frac{M \cdot m}{R} = \frac{mv_\infty^2}{2} + -G \frac{M \cdot m}{\infty}$$

Điều kiện để vật chuyển động ra xa vô cùng:  $v_\infty \geq 0$

$$\Rightarrow \frac{mv_2^2}{2} + -G \frac{M \cdot m}{R} \geq 0$$

$$\Rightarrow v_2 \geq \sqrt{\frac{2GM}{R^2} R} = \sqrt{2g_0 \cdot R} \approx 11,2 km/s$$

CLB HỖ TRỢ HỌC TẬP

## Chương 5. Chuyển động quay của vật rắn

### Câu 13

Định nghĩa khối tâm và trình bày về chuyển động của khối tâm. ☐

#### [Lời giải]

- + **Định nghĩa khối tâm:** Xét hệ chất điểm  $M_1, M_2, \dots, M_n$  lần lượt có khối lượng  $m_1, m_2, \dots, m_n$ . Khối tâm của hệ chất điểm là một điểm G xác định bởi đẳng thức:

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

- + **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  $F_1, F_2, \dots, F_n$  có gia tốc  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$ .

Để tìm phương trình chuyển động của khối tâm, ta đạo hàm hai vế của  $\vec{V}$  theo  $t$

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \frac{d\vec{v}_i}{dt}}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{\vec{F}}{\sum_{i=1}^n m_i} \Rightarrow \left(\sum_{i=1}^n m_i\right) \vec{a} = \vec{F}$$

- 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.

### Câu 14

Định nghĩa, đặc điểm, phương trình của vật rắn chuyển động tịnh tiến. ☐

#### [Lời giải]

- + **Định nghĩa:** Chuyển động tịnh tiến của một vật rắn là chuyển động trong đó đường thẳng nối hai điểm bất kì của vật luôn song song với chính nó.

- + **Tính chất:**

- Khi vật rắn chuyển động tịnh tiến, mọi chất điểm của chuyển động theo những quỹ đạo giống nhau.
- Tại mỗi thời điểm tất cả các chất điểm của vật rắn có cùng véc tơ vận tốc và véc tơ gia tốc.

**+ Phương trình chuyển động**

- Hệ chất điểm  $M_1, M_2, \dots, M_n$  có khối lượng  $m_1, m_2, \dots, m_n$  chịu tác dụng lực  $F_1, F_2, \dots, F_n$  có gia tốc  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$ .

$$\Rightarrow \begin{cases} m_1 \vec{a}_1 = \vec{F}_1 \\ m_2 \vec{a}_2 = \vec{F}_2 \\ \dots \\ m_n \vec{a}_n = \vec{F}_n \end{cases}$$

- Cộng các phương trình trên ta có:  $\left( \sum_{i=1}^n m_i \right) \vec{a} = \vec{F} \quad (1)$

- (1) là phương trình chuyển động của vật rắn chuyển động tịnh tiến.

**Câu 15**

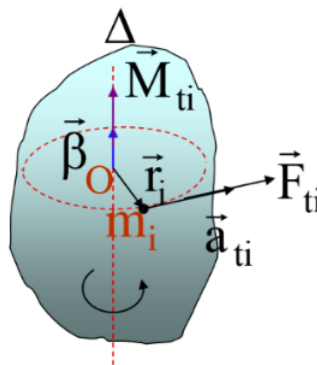
Nêu đặc điểm và thành lập phương trình cơ bản của vật rắn quanh một trục cố định. □

**[Hướng dẫn]**

**+ Đặc điểm:**

- Mọi điểm của vật rắn có quỹ đạo tròn cùng trục  $\Delta$ .
- Trong cùng khoảng thời gian mọi điểm đều quay được cùng một góc  $\theta$ .
- Tại cùng một thời điểm, mọi điểm có cùng vận tốc góc  $\omega = \frac{d\theta}{dt}$  và gia tốc góc  $\beta = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ .
- Tại cùng một thời điểm  $\vec{v}$  và  $\vec{a}_t$  của một điểm được xác định bởi:  $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$  và  $\vec{a}_t = \beta \times \vec{r}$ .

**+ Thành lập phương trình cơ bản của vật rắn quay quanh một trục cố định:**



- Chất điểm thứ  $i$  chịu tác dụng của ngoại lực tiếp tuyến  $\vec{F}_{ti}$  và chuyển động với gia tốc tiếp

tuyến  $\vec{a}_{ti}$ . Khi đó, momen của lực  $\vec{F}_{ti}$  đối với trục quay là  $\vec{M}_i$  với:

$$\vec{M}_i = \vec{r}_i \wedge \vec{F}_{ti} = m\vec{r}_i \wedge \vec{a}_{ti}$$

Mà  $\vec{r}_i \wedge \vec{a}_{ti} = \vec{r}_i \wedge (\vec{\beta} \wedge \vec{r}_i) = \beta \cdot (\vec{r}_i \cdot \vec{r}_i) - \vec{r}_i \cdot (\vec{r}_i \cdot \beta) = mr_i^2 \vec{\beta}$

Vậy ta có:

$$m_i r_i^2 \vec{\beta} = \vec{M}_i$$

Vật rắn gồm n chất điểm chịu tác dụng của các ngoại lực  $F_1, F_2, \dots, F_n$ .

Như vậy:

$$(\sum m_i \cdot r_i^2) \cdot \vec{\beta} = \sum \vec{M}_i$$

– Phương trình cơ bản trong chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định

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

Trong đó:

- $\vec{M} = \sum \vec{M}_i$  là tổng các momen ngoại lực tác dụng lên vật
- $I = \sum m_i \cdot r_i^2$  là momen quán tính của vật đối với trục quay  $\Delta$
- $\vec{\beta}$  là gia tốc góc của vật rắn trong chuyển động quay quanh trục cố định, tỷ lệ thuận với tổng hợp momen các ngoại lực đối với trục và tỉ lệ nghịch với momen quán tính của vật rắn đối với trục.

+ **Định nghĩa và ý nghĩa momen quán tính:**

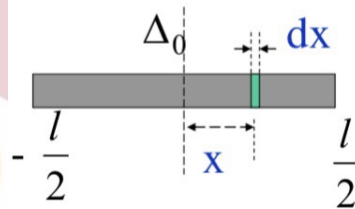
- Là đại lượng vật lý đặc trưng cho tính bảo toàn trạng thái của vật trong chuyển động quay.
- Momen quán tính cho biết mức quán tính của các vật trong chuyển động quay, tương tự như khối lượng trong chuyển động tịnh tiến.

**Câu 16**

Nêu định nghĩa, ý nghĩa và cách tính mômen quán tính. Lấy các ví dụ. □

**[Lời giải]**

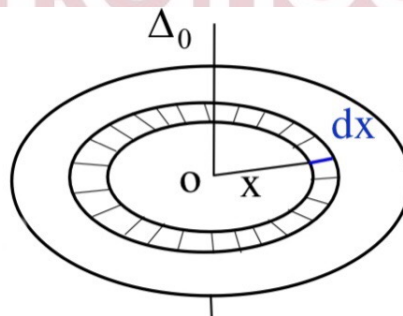
- + **Định nghĩa:** Mômen quán tính  $I$  là đại lượng đặc trưng cho quán tính của vật rắn trong chuyển động quay.
- + **Ý nghĩa:** Đặc trưng cho khả năng chống lại sự thay đổi vận tốc góc của các vật thể trong chuyển động quay, tương tự như khối lượng trong chuyển động thẳng.
- + **Cách tính:**
  - Mômen quán tính của thanh đồng chất khối lượng  $M$ , dài  $l$  đối với trục  $\Delta_0$



– Có:  $dI = x^2 dm$ ,  $\frac{dm}{M} = \frac{dx}{l} \Rightarrow dm = \frac{M}{l} dx \Rightarrow dI = x^2 \frac{M}{l} dx$

$$\Rightarrow I_0 = \int dI = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} x^2 \frac{M}{l} dx = \frac{M}{l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} x^2 dx = \frac{Ml^2}{12}$$

- Tính mômen quán tính của đĩa đồng chất khối lượng  $M$ , bán kính  $R$  đối với trục  $\Delta_0$
- Diện tích hình vành khăn bán kính  $x$ , bề rộng  $dx$



- Gọi khối lượng phần tử hình vành khăn là  $dm$ , mômen quán tính:

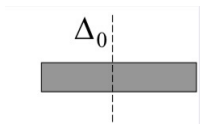
$$dI = x^2 dm$$

- Vì đĩa đồng chất:

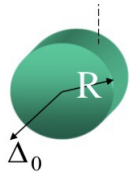
$$\frac{dm}{M} = \frac{2\pi x dx}{\pi R^2} \Rightarrow dm = \frac{2M}{R^2} x dx \Rightarrow dI = \frac{2M}{R^2} x^3 dx$$



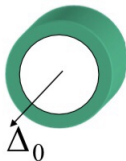
$$\Rightarrow I_0 = \int dI = \int_0^R \frac{2M}{R^2} x^3 dx = \frac{MR^2}{2}$$



- Mômen quán tính của thanh đồng chất với trục đối xứng:  $I_0 = \frac{MR^2}{12}$



- Mômen quán tính của trụ đặc, đĩa với trục đối xứng:  $I_0 = \frac{MR^2}{2}$



- Mômen quán tính của vành tròn, trụ rỗng đối với  $\Delta_0$ :  $I_0 = MR^2$



- Mômen quán tính của quả cầu đồng chất:  $I_0 = \frac{2MR^2}{5}$

#### Câu 17

Trình bày về công và động năng của vật rắn trong chuyển động quay.

□

#### [Lời giải]

##### + Công của vật rắn trong chuyển động quay:

- Định nghĩa: Công của lực tiếp tuyến tác dụng lên vật rắn quay quanh trục  $\Delta$ .

- Cách tính:  $dA = \vec{F}_t d\vec{s} = F_t ds = F_t r d\theta$

$\Rightarrow M = r F_t$  là mômen của lực tiếp tuyến đối với  $\Delta$ .

Quy ước:

•  $M > 0$  nếu  $\vec{F}_t$  thuận chiều quay.

•  $M < 0$  ngược lại.

- Công suất:  $P = \frac{dA}{dt} = M \frac{d\theta}{dt} = M\omega$

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

##### + Động năng của vật rắn quay:

- Xét chuyển động quay của vật rắn quanh trục cố định:

$$dA = M d\theta = I \beta d\theta = I \frac{d\omega}{dt} d\theta = I \omega d\omega = d \left( \frac{I\omega^2}{2} \right).$$

- Với chuyển dời bất kỳ, công của ngoại lực tác dụng:

$$A_{1,2} = \int_1^2 d\left(\frac{I\omega^2}{2}\right) = \frac{I\omega_2^2}{2} - \frac{I\omega_1^2}{2} = \Delta W_d.$$

$$\Rightarrow W_d = \frac{I\omega^2}{2}.$$



CLB HỖ TRỢ HỌC TẬP

## Chương 6. Dao động và sóng cơ

### Câu 18

Nêu điều kiện để một hệ có thể dao động. Chứng tỏ rằng dao động nhỏ, trong điều kiện không có ma sát và lực cản của con lắc vật lý là dao động điều hoà. Trình bày về dao động tắt dần và dao động cưỡng bức. □

#### [Lời giải]

- + **Định nghĩa:** Dao động là chuyển động được lặp đi lặp lại nhiều lần theo thời gian.
- + **Điều kiện để một hệ có thể dao động:**
  - Hệ phải có vị trí cân bằng bền.
  - Khi hệ dời khỏi vị trí cân bằng bền, luôn có một lực kéo về VTCB bền.
  - Hệ có quán tính.
- + **Chứng tỏ rằng dao động nhỏ, trong điều kiện không có ma sát và lực cản của con lắc vật lý là dao động điều hoà:**
  - Mô tả con lắc vật lý:
    - Con lắc vật lý là một vật rắn có thể dao động xung quanh một trục cố định.
    - Giả sử vật có khối lượng  $m$ , trọng tâm của vật cách trục quay một khoảng  $l$ , và mômen quán tính của vật đối với trục quay là  $I$ .
  - Phân tích các lực và mômen:
    - Khi con lắc vật lý lệch một góc nhỏ  $\theta$  khỏi vị trí cân bằng, lực trọng trường tác dụng lên trọng tâm của vật sẽ tạo ra một mômen lực  $M$  quanh trục quay.
    - Mômen lực này được tính bằng:
$$M = -mgl \sin \theta$$
    - Đối với góc nhỏ, chúng ta có thể xấp xỉ  $\sin \theta \approx \theta$ . Vì vậy, mômen lực trở thành
$$M \approx -mgl\theta$$
  - Thiết lập phương trình chuyển động:
    - Theo định luật 2 của Newton cho chuyển động quay, mômen quán tính nhân với gia tốc

góc bằng mômen lực:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = M$$

- Thay  $M$  vào ta có:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgl\theta$$

- Sắp xếp lại, ta có phương trình vi phân:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{mgl}{I}\theta = 0$$

- Giải phương trình vi phân:

- Phương trình này có dạng của phương trình dao động điều hòa:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$$

với  $\omega^2 = \frac{mgl}{I}$ .

- Nghiệm của phương trình này là:

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t + \phi)$$

trong đó  $\theta_0$  là biên độ và  $\phi$  là pha ban đầu.

Vậy ta đã chứng minh rằng dao động nhỏ của con lắc vật lý trong điều kiện không có ma sát và lực cản là dao động điều hòa với tần số góc  $\omega = \sqrt{\frac{mgl}{I}}$ .

- + **Dao động cơ tắt dần:** Dao động mà biên độ của dao động giảm dần theo thời gian gọi là dao động tắt dần.

- Đặt  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$  và  $\frac{r}{m} = 2\beta$ .

Khi đó

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

.

Khi  $\omega_0 > \beta$  có nghiệm

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

- Tần số góc:  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ .
- Chu kỳ của dao động tắt dần:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} > T_0$$

- Biên độ dao động tắt dần:  $A = A_0 e^{-\beta t}$ .
- Giảm lượng loga:

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

Chú ý:

Chỉ có nghiệm dạng dao động tắt dần khi  $\omega_0 > \beta$ .

Nếu  $\omega_0 \leq \beta$  khi đó nghiệm có dạng:

$$x = C_1 e^{-(\beta + \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2})t} + C_2 e^{-(\beta - \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2})t}$$

Khi  $\omega_0 \leq \beta$  chứng tỏ lực cản quá lớn nên hệ không thể dao động.

- + **Dao động cơ cưỡng bức:** Dao động mà hệ thực hiện dưới tác động ngoại lực tuần hoàn gọi là dao động cưỡng bức.

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

Dao động cưỡng bức là một dao động hình sin có chu kỳ bằng chu kỳ ngoại lực tuần hoàn.

$$x = A \cos(\Omega t + \Phi)$$

với

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

### Câu 19

Trình bày về sự hình thành của sóng cơ trong môi trường vật chất đàn hồi. Nêu các đặc trưng của sóng, hàm sóng, năng lượng và năng thông sóng. □

### [Lời giải]

#### + Sự hình thành của sóng cơ trong môi trường vật chất đàn hồi:

- Định nghĩa: Sự dao động cơ lan truyền trong môi trường đàn hồi được gọi là sóng cơ hay sóng đàn hồi.  
Nguồn sóng: Phần tử đầu tiên thực hiện dao động  
Tia sóng: Phương truyền sóng gọi là tia sóng
- Bản chất của sóng cơ: Khi một phần tử bị kích thích rời khỏi vị trí cân bằng, do tương tác, các phần tử xung quanh tác dụng lực kéo phần tử đó về VTCB, do đó bản thân nó thực hiện 1 dao động. Các phần tử xung quanh do tương tác bị kéo lệch khỏi VTCB nên cũng thực hiện dao động.

– Nhận xét:

- Muốn có sóng cơ cần có: Nguồn sóng + Môi trường đàn hồi truyền sóng
- Các phần tử chỉ dao động quanh VTCB.
- Năng lượng được truyền đi trong quá trình truyền sóng. Sóng cơ mang năng lượng.
- Sóng cơ không thể lan truyền trong chân không.

+ **Các đặc trưng của sóng:**

- Chu kì  $T$  và tần số  $\lambda$ : là chu kì và tần số của phần tử dao động trong môi trường.
- Vận tốc truyền sóng: là quãng đường mà sóng truyền đi được trong 1 đơn vị thời gian

Vận tốc sóng dọc:  $v = \frac{1}{\alpha\rho} = \frac{E}{\rho}$  trong đó:  $\begin{cases} \alpha : \text{Hệ số đàn hồi} \\ E = \frac{1}{\alpha} : \text{Suất Yăng} \\ \rho : \text{khối lượng riêng của môi trường} \end{cases}$

Vận tốc sóng ngang:  $v = \frac{G}{\rho}$  trong đó  $G$ : Môđun trượt

- Bước sóng  $\lambda$ : là quãng đường mà sóng truyền được trong thời gian 1 chu kì  $T$ :

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

- Mặt đầu sóng: tại một thời điểm là quỹ tích những điểm mà tại thời điểm đó dao động lan truyền tới.
- Mặt sóng: quỹ tích những điểm dao động cùng pha.

+ **Hàm sóng:** Xét sóng phẳng đơn sắc truyền trong môi trường đồng chất, đẳng hướng theo phương  $Oy$ , phần tử dao động theo phương  $Ox$

Coi tại  $O$  có  $\varphi = 0$ . Dao động của  $O$  theo phương trình:

$$x_0(t) = A \cos(\omega t)$$

Thời gian truyền sóng từ  $O$  đến  $M$  là  $\tau = \frac{y}{v}$ .

Dao động của điểm  $M$  tại thời điểm  $t$  sẽ giống hệt dao động của điểm  $O$  tại thời điểm  $t - \tau$ :

$$x_M(t) = x_0(t - \tau) = A \cos \omega(t - \tau) = A \cos \omega \left( t - \frac{y}{v} \right)$$

+ **Năng lượng của sóng cơ:** Xét năng lượng của sóng cơ trong thể tích  $\sigma V$  của môi trường truyền sóng:

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

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

- + **Năng thông sóng:** 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:  $P = wSv$ .

Giá trị trung bình tính trong 1 chu kỳ của năng thông sóng:

$$\bar{P} = \bar{w}Sv = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2 Sv$$

Mật độ năng thông sóng trung bình: là năng thông trung bình gửi qua một đơn vị diện tích:

$$\bar{\Phi} = \frac{\bar{P}}{S} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2 v = \bar{W}v$$



CLB HỖ TRỢ HỌC TẬP



## Chương 7. Thuyết động học phân tử

### Câu 20

Nêu các đặc trưng cơ bản của chất khí. Nội dung của phương trình trạng thái khí lý tưởng. □

#### [Lời giải]

#### + Các đặc trưng cơ bản của chất khí:

- Thông số trạng thái và phương trình trạng thái:

- Thông số trạng thái: Là các tính chất đặc trưng của hệ.
- Để biểu diễn trạng thái của 1 khối khí dùng 3 thông số trạng thái  $p, T, V$ .
- Các thông số trạng thái liên hệ với nhau bởi phương trình trạng thái:

$$f(p, V, T) = 0$$

- Khái niệm áp suất, nhiệt độ:

- Áp suất: Đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

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

- Đơn vị áp suất:  $\frac{N}{m^2} = Pa(pascal)$

Milimet thủy ngân ( $mmHg$ )

Atmophe kỹ thuật ( $at$ ),  $1at = 9,81 \cdot 10^4 Pa = 736mmHg$

Atmophe vật lý ( $atm$ ),  $1atm = 1,013 \cdot 10^5 Pa$

- Nhiệt độ: đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn phân tử.

#### Thang đo nhiệt độ:

Thang đo Bách phân ( $^{\circ}C$  -Celsius):

Thang nhiệt độ tuyệt đối (K-Kelvin)

$$T = t + 273,16$$

- Các định luật thực nghiệm về chất khí

- Định luật Boyle-Mariotte: Với một khối khí ( $m = const$ )

Nếu  $T = const$  (Đẳng nhiệt), thì  $pV = const$ .

- Định luật Gay-Lussac: Với một khối khí ( $m = \text{const}$ )

Nếu  $V = \text{const}$  (Đẳng tích), thì  $p/T = \text{const}$ .

Nếu  $p = \text{const}$  (Đẳng áp), thì  $V/T = \text{const}$ .

**+ Phương trình trạng thái khí lý tưởng.**

- Khí lý tưởng: là khí tuân theo ĐL Boyle-Mariotte và Gay-Lussac .
- Gọi  $p_1, V_1, T_1$  là áp suất, thể tích và nhiệt độ của lượng khí ở trạng thái 1. Thực hiện một quá trình bất kì chuyển khí sang trạng thái 2 có áp suất  $p_2$ , thể tích  $V_2$  và nhiệt độ  $T_2$ .

Mối liên hệ giữa các đại lượng đó là:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

**Câu 21**

Nêu nội dung của thuyết động học phân tử, phương trình quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất. ☐

**[Lời giải]**

**+ Nội dung của thuyết động học phân tử:**

- Các chất cấu tạo gián đoạn và gồm một số lớn các phân tử.
- Các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng.
- Cường độ chuyển động phân tử biểu hiện nhiệt độ của hệ.
- Kích thước phân tử rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng. Có thể coi phân tử là chất điểm trong các tính toán.
- Các phân tử không tương tác, trừ lúc va chạm.

1, 2 đúng với mọi chất; 3, 4, 5 chỉ đúng với khí LT.

**+ Phương trình quan hệ giữa nhiệt độ và áp suất.**

- Phương trình trạng thái khí lý tưởng là:

$$pV = nRT$$

trong đó

- $p$  là áp suất khối khí, độ đo  $Pa(\text{pascal})$ .
- $V$  là thể tích khối khí, độ đo  $m^3$ .

- $n$  là số mol của khối khí, độ đo  $mol$ .
- $R$  là hằng số khí.
- $T$  là nhiệt độ khối khí, độ đo  $K(Kelvin)$ .

Trong đó  $R = 8.314462 \left( \frac{m^3 \cdot Pa}{mol \cdot K} \right)$ .

Hoặc có thể là  $R = 0.0821 \left( \frac{l \cdot atm}{mol \cdot K} \right)$ .

**+ Mối liên hệ giữa động năng và nhiệt độ:**

- Theo lý thuyết động học phân tử của khí, nhiệt độ tuyệt đối của khí tỉ lệ thuận với động năng trung bình của các phân tử khí.
- Công thức liên hệ giữa động năng trung bình của các phân tử khí và nhiệt độ là:

$$\langle KE \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

trong đó  $\langle KE \rangle$  là động năng trung bình của một phân tử,  $k_B$  là hằng số Boltzmann, và  $T$  là nhiệt độ tuyệt đối.

- Điều này có nghĩa là khi nhiệt độ của khí tăng, vận tốc trung bình của các phân tử cũng tăng, dẫn đến động năng trung bình của các phân tử tăng.

**Câu 22**

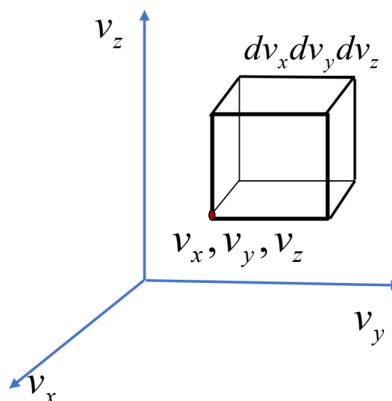
Trình bày về định luật phân bố hạt theo vận tốc của Maxwell. Công thức các giá trị trung bình của vận tốc và động năng phân tử. □

**[Lời giải]**

**+ Định luật phân bố hạt theo vận tốc của Maxwell**

– Định luật

- Xét khối khí có  $n$  phân tử ở nhiệt độ  $T$  xác định. Số phân tử khí  $dn$  có thành phần của vecto vận tốc nằm trong khoảng từ



$$\left. \begin{array}{l} v \rightarrow v_x + dv_x \\ v \rightarrow v_y + dv_y \\ v \rightarrow v_z + dv_z \end{array} \right\} \text{bằng số hạt nằm trong thể tích } dv_x dv_y dv_z \text{ được tính bằng công thức:}$$

$$dn = n \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}} dv_x dv_y dv_z$$

- Xác suất để tìm hạt nằm trong thể tích  $dv_x dv_y dv_z$  đặt ở điểm có tọa độ  $v_x v_y v_z$  là:

$$\frac{dn}{n} = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv_x dv_y dv_z, \quad v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

$m$  : khối lượng của 1 phân tử khí

$k$  : hằng số Boltzman, ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ )

$T$  : Nhiệt độ tuyệt đối của khối khí

- Số phân tử khí  $dn$  có độ lớn vận tốc nằm trong khoảng từ  $v$  đến  $v + dv$  bằng số hạt nằm trong khoảng không gian giới hạn bởi hai vỏ cầu bán kính  $v$  và  $v + dv$ :

$$dn = n \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 dv$$

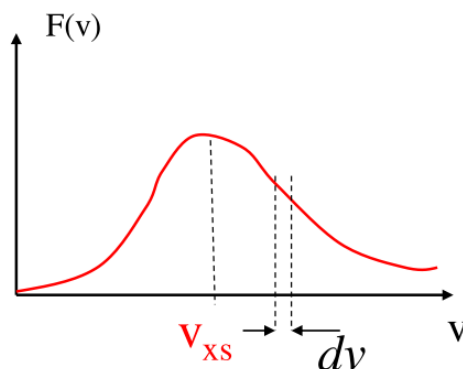
- Xác suất tìm hạt có độ lớn vận tốc nằm trong khoảng  $v$  đến  $v + dv$  là:

$$\frac{dn}{n} = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 dv$$

Đặt  $\frac{dn}{n} = F(v)dv$ , ta có:

$$F(v) = \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 \text{ là hàm phân bố}$$

– Tính chất hàm phân bố



- Số phân tử có vận tốc nằm trong khoảng  $v_1 \rightarrow v_2$  là :

$$\frac{dn}{n} = F(v)dv \Leftrightarrow \Delta n(v_1 < v < v_2) = n \int_{v_1}^{v_2} F(v)dv \Rightarrow n \int_0^{\infty} F(v)dv = n$$

$$\rightarrow \int_0^{\infty} F(v)dv = 1 \text{ là điều kiện chuẩn hóa của xác suất}$$

- Vận tốc có xác suất lớn nhất

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

- $F(v)$  đạt cực đại tại  $v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$

- Viết lại công thức Macxwell

$$\text{Đặt } u = \frac{v}{v_{xs}} \Rightarrow du = \frac{dv}{v_{xs}} \rightarrow \frac{mv^2}{2kT} = \frac{v^2}{(v_{xs})^2} = u^2$$

$$\left(\frac{m}{2kT}\right)^{\frac{3}{2}} 4\pi v^2 dv = \frac{4}{\sqrt{\pi}} u^2 du \Rightarrow \frac{dn}{n} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du$$

#### + Các giá trị trung bình của vận tốc và động năng phân tử

- Vận tốc trung bình của phân tử

$$\bar{v} = \sum \frac{n_i v_i}{n} \Rightarrow \bar{v} = \int_0^{\infty} \frac{dn}{n} v = \int_0^{\infty} F(v) v dv$$

$$= \int_0^{\infty} \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 v dv = \sqrt{\frac{8kT}{m\pi}}$$

- Trung bình của bình phương vận tốc

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

- Động năng trung bình của phân tử

$$\bar{W} = \frac{m\overline{v^2}}{2} = \frac{3kT}{2}$$

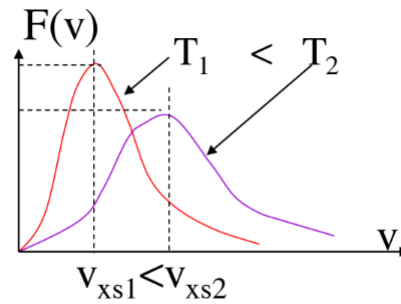
- Vận tốc của căn quân phương

Ta có

$$v_{xs} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}, \quad v_c = \sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}, \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

Nhận xét:  $v_{xs} < \bar{v} < v_c$

Cả 3 vận tốc này đều tăng theo nhiệt độ. Khi nhiệt độ T tăng số phân tử có vận tốc lớn tăng lên, số phân tử có  $v_{xs}$  giảm đi.



**Câu 23**

Định nghĩa và biểu thức nội năng của khí lí tưởng.



**[Lời giải]**

**+ Nội năng của một vật**

Nội năng:

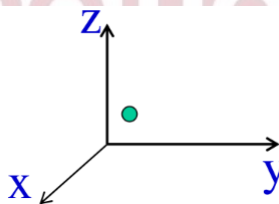
- Động năng chuyển động tịnh tiến + chuyển động quay;
- Thế năng tương tác giữa các phân tử;
- Năng lượng dao động của các nguyên tử.

Khí lí tưởng: Bỏ qua tương tác → Nội năng của khí lí tưởng bằng tổng động năng của các phân tử.

**+ Bậc tự do của phân tử khí và định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do**

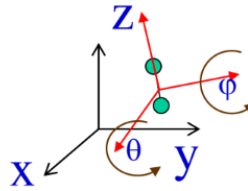
- Số bậc tự do

*Bậc tự do của một vật là số tọa độ cần thiết để xác định vị trí của vật đó trong không gian*

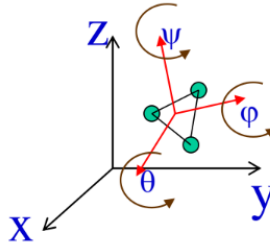


*3 tọa độ x, y, z xác định 3 chuyển động tịnh tiến*

**Phân tử đơn nguyên tử:  $i=3$**



**Phân tử gồm hai nguyên tử:  $i=5$**  (3 tịnh tiến (x,y,z) + 2 bậc quay ( $\varphi, \theta$ ))



**Phân tử gồm ba nguyên tử:  $i=6$**  (3 bậc tịnh tiến (x,y,z) + 3 bậc quay ( $\varphi, \theta, \psi$ ))

– Định luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do:

- Động năng tịnh tiến trung bình của phân tử:

$$\overline{W} = \frac{\overline{mv^2}}{2} = \frac{3kT}{2}$$

- Động năng đó có thể phân tích thành 3 thành phần

$$\overline{W} = \frac{3kT}{2} = \frac{1}{2}m\overline{v_x^2} + \frac{1}{2}m\overline{v_y^2} + \frac{1}{2}m\overline{v_z^2}$$

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} \rightarrow \frac{1}{2}m\overline{v_x^2} = \frac{1}{2}m\overline{v_y^2} = \frac{1}{2}m\overline{v_z^2} = \frac{1}{3}\overline{W} = \frac{kT}{2}$$

**Nhận xét:** Mỗi bậc tự do của chuyển động tịnh tiến của phân tử ứng với năng lượng trung bình là  $\frac{kT}{2}$

- Định luật: *Động năng trung bình của các phân tử được phân bố đều cho các bậc tự do của phân tử và năng lượng ứng với 1 bậc tự do là  $\frac{kT}{2}$ .*

#### + Biểu thức nội năng của khí lí tưởng

– Phân tử có  $i$  bậc tự do, động năng trung bình của phân tử là:

$$\overline{W} = \frac{i}{2}kT$$

– Gọi  $U$  là nội năng của 1 kmol khí lí tưởng gồm  $N$  phân tử:

$$U = N\overline{W} = N\frac{i}{2}kT = \frac{i}{2}RT$$



- Với khối khí có khối lượng  $M$ :

$$U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT$$

- Nếu nhiệt độ biến thiên là một lượng  $\Delta T$ :

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

#### Câu 24

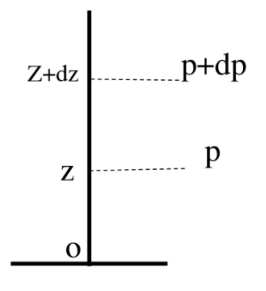
Thành lập công thức khí áp. Nội dung định luật phân bố Boltzmann.



#### [Lời giải]

##### + Công thức khí áp

- Xét hai điểm có độ cao  $z$  và  $z + dz$ . Giữa hai điểm này có hiệu áp suất  $dp$  về giá trị bằng trọng lượng cột khí chiều cao  $dz$  và đáy bằng 1 đơn vị diện tích.



$$dp = -\rho g dz \quad (1)$$

Dấu "-" do khi  $z$  tăng thì  $p$  giảm

$$\rho = \frac{p\mu}{RT} \Rightarrow dp = -\frac{p\mu}{RT} g dz \rightarrow \frac{dp}{p} = -\frac{\mu g}{RT} dz \Rightarrow \int_{p(0)}^{p(z)} \frac{dp}{p} = -\int_0^z \frac{\mu g}{RT} dz$$

$$\Rightarrow p(z) = p(0) e^{-\frac{\mu g z}{RT}} \quad (2) \text{ là công thức khí áp}$$

##### + Định luật phân bố Boltzmann

- Gọi  $n_0(0)$  và  $n_0(z)$ : mật độ phân tử khí ứng với áp suất  $p(0)$  và  $p(z)$

$$\frac{n_0(z)}{n_0(0)} = \frac{p(z)}{p(0)} \Rightarrow n_0(z) = n_0(0) e^{-\frac{\mu g z}{RT}} \quad (3)$$

$$\frac{\mu}{R} = \frac{mN}{R} = \frac{m}{k} \Rightarrow n_0(z) = n_0(0) e^{-\frac{mgz}{kT}} \quad (4)$$

$mgz = W_t$  : thế năng của phân tử khối lượng  $m$

$n_0(z) = n_0(W_t)$  : mật độ phân tử tại vị trí thế năng  $W_t$

$n_0(0) = n_0(W_t = 0)$  : mật độ phân tử tại vị trí thế năng  $W_t = 0$

- Viết lại (4):

$$n_0(W_t) = n_0(0)e^{-\frac{W_t}{kT}} \quad (5)$$

(5) là định luật phân bố Boltzmann.

(5) Đúng cả khi chất khí đặt trong trường lực bất kì.

- Ý nghĩa của (5): cho biết sự thay đổi của mật độ phân tử theo thế năng khi chất khí đặt trong trường lực thế.
- Nếu gọi  $n_0(1)$  và  $n_0(2)$  là các mật độ phân tử khí tại hai vị trí thế năng tương ứng  $W_{t1}$  và  $W_{t2}$ , từ (5) suy ra:

$$\frac{n_0(1)}{n_0(2)} = e^{\frac{W_{t2}-W_{t1}}{kT}} \quad (6)$$

- Vậy khi chất khí đặt trong một trường lực thế, chỗ nào thế năng càng nhỏ thì mật độ phân tử càng lớn

## Chương 8. Nguyên lý thứ nhất của nhiệt động lực học

### Câu 25

Định nghĩa hệ nhiệt động, nội năng của hệ nhiệt động. Trình bày về công và nhiệt trong quá trình nhiệt động ☐

#### [Lời giải]

##### + Định nghĩa hệ nhiệt động

Mọi tập hợp các vật được xác định hoàn toàn bởi một số các thông số vĩ mô, độc lập đối với nhau, được gọi là *hệ vĩ mô hay hệ nhiệt động* (hoặc vắn tắt hơn được gọi là hệ).

##### + Nội năng của hệ nhiệt động

– Năng lượng của hệ: đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất.

- Ở mỗi trạng thái: hệ có những dạng vận động xác định  $\rightarrow$  năng lượng xác định. Trạng thái của hệ thay đổi  $\rightarrow$  năng lượng của hệ thay đổi. Năng lượng là một hàm trạng thái.

- Năng lượng của hệ gồm:  $W = W_d + W_t + U$

- +)  $W_d$ : động năng ứng với chuyển động có hướng của cả hệ.

- +)  $W_t$ : thế năng của hệ trong trường lực.

- +)  $U$ : nội năng của hệ - phần năng lượng ứng với vận động bên trong hệ.

– Nội năng của hệ nhiệt động

- Trong nhiệt động lực học:

- +) Hệ không chuyển động:  $W_d = 0$

- +) Hệ không đặt trong trường lực:  $W_t = 0$

$\Rightarrow$  Năng lượng của hệ:  $W = U$

- Nội năng của hệ bao gồm:

- +) Động năng (tịnh tiến + quay) của chuyển động hỗn loạn của các phân tử (chuyển động nhiệt).

- +) Thế năng tương tác phân tử.

- +) Động năng và thế năng của chuyển động dao động của nguyên tử trong phân tử.

- +) Năng lượng của vỏ điện tử của nguyên tử và ion.

+) Năng lượng của hạt nhân nguyên tử.

Nội năng là hàm trạng thái.

Mốc tính nội năng: thường chọn  $U = 0$  tại  $T = 0K$

### + Công và nhiệt trong quá trình nhiệt động

– **Công** là một đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng từ hệ này sang hệ khác thông qua chuyển động có hướng (có trật tự) của các phần tử trong hệ.

VD: Khối khí giãn nở đẩy pittông  $\Rightarrow$  nó sinh công  $\Rightarrow$  nội năng giảm  $\Rightarrow$  trao đổi năng lượng dưới dạng thực hiện công.

– **Nhiệt** là một đại lượng đặc trưng cho mức độ trao đổi năng lượng thông qua chuyển động hỗn loạn của các phần tử trong hệ.

VD: Nung nóng khối khí và giữ  $V = \text{const} \Rightarrow$  chuyển động hỗn loạn tăng  $\Rightarrow$  nhiệt độ của khối khí tăng  $\Rightarrow$  nội năng tăng  $\Rightarrow$  trao đổi năng lượng dưới hình thức nhận nhiệt.

– Lưu ý:

- Công và nhiệt các đại lượng đo mức độ trao đổi năng lượng, chúng không phải năng lượng.
- Công và nhiệt là hàm quá trình, chỉ xuất hiện trong quá trình biến đổi trạng thái của hệ.
- Công liên quan đến chuyển động có trật tự, nhiệt liên quan đến chuyển động hỗn loạn.
- Giữa công và nhiệt có thể chuyển hóa cho nhau:

$$1\text{cal} = 4,18J$$

### Câu 26

Phát biểu, biểu thức, hệ quả, ý nghĩa của nguyên lý 1 nhiệt động lực học. Ứng dụng nguyên lý 1 để khảo sát các quá trình cân bằng của khí lý tưởng.

□

### [Lời giải]

+ **Nội dung của nguyên lý I nhiệt động lực học:** Trong một quá trình biến đổi, độ biến thiên nội năng  $\Delta U$  của hệ có giá trị bằng tổng công  $A$  và nhiệt  $Q$  mà hệ nhận được trong quá trình đó.

$$\Delta U = A + Q$$

+ **Ý nghĩa:**

- Nguyên lý 1 chính là định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng áp dụng cho quá trình biến đổi liên quan đến chuyển động nhiệt

- Bất kỳ máy nào hoạt động theo chu trình thì  $A' = Q$  nghĩa là không thể có động cơ nào sinh công mà không nhận nhiệt từ bên ngoài hoặc sinh công lớn hơn nhiệt nhận từ ngoài vào
- Không tồn tại động cơ vĩnh cửu loại I

+ **Hệ quả:**

- **Hệ quả 1:**

- Hệ cô lập có  $A = Q = 0 \Rightarrow \delta U = 0$  (const)  
 $\Rightarrow$  Nội năng của hệ cô lập bảo toàn
- Nếu hệ cô lập chỉ có 2 vật trao đổi nhiệt cho nhau thì  $Q = Q_1 + Q_2 = 0$  có  $Q_1 = -Q_2 = Q'_2$   
 $\Rightarrow$  Nhiệt lượng do vật này tỏa ra bằng nhiệt lượng mà vật kia thu vào.

- **Hệ quả 2:** Hệ biến đổi theo 1 chu trình (quá trình kín):

$$\Delta U = 0 \Rightarrow A = -Q \Leftrightarrow Q = -A$$

$\Rightarrow$  Trong một chu trình, công mà hệ nhận được có giá trị bằng nhiệt mà hệ nhận vào từ bên ngoài.

+ **Ứng dụng nguyên lý 1 để khảo sát các quá trình cân bằng của khí lý tưởng:**

**1. Quá trình đẳng tích ( $V = \text{const}$ )**

a) Phương trình:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

b) Tính  $A, Q, \Delta U$

- Công nhận được:

$$V = \text{const} \Rightarrow dV = 0 \Rightarrow A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0$$

- Nhiệt nhận được:

$$Q = \int \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{M}{\mu} C_v dT = \frac{M}{\mu} C_v (T_2 - T_1) = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T$$

$C_v$  là nhiệt dung phân tử đẳng tích

- Độ biến thiên nội năng:

$$\begin{aligned} A &= - \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0 \quad Q = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T \\ \Rightarrow \Delta U &= A + Q = Q \\ \Rightarrow \Delta U &= \frac{M}{\mu} C_v \Delta T \end{aligned}$$

– Tính  $C_v$ :

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T \Rightarrow C_v = \frac{i}{2} R$$

## 2. Quá trình đẳng áp ( $P = \text{const}$ )

a) Phương trình:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

b) Tính  $A, Q, \Delta U$

– Công nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_1 - V_2)$$

– Nhiệt hệ nhận được:

$$Q = \int \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{M}{\mu} C_p dT = \frac{M}{\mu} C_p \Delta T$$

–  $C_p$  là nhiệt dung phân tử đẳng áp

$$A = p(V_1 - V_2) \quad \text{và} \quad Q = \frac{M}{\mu} C_p \Delta T$$

– Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{M}{\mu} R \Delta T = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T$$

– Nhiệt dung phân tử đẳng áp

$$\Delta U = A + Q$$

$$\frac{M}{\mu} C_v \Delta T = p(V_1 - V_2) + \frac{M}{\mu} C_p \Delta T \Rightarrow C_v = -R + C_p$$

$$C_p - C_v = R \quad \text{và} \quad C_p = \frac{i+2}{2} R \quad \text{và} \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$$

$\gamma$ : Hệ số Poisson (chỉ số đoạn nhiệt)

## 3. Quá trình đẳng nhiệt ( $T = \text{const}$ )

a) Phương trình:

$$pV = \text{const} \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 = pV$$

b) Tính  $A, Q, \Delta U$

– Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$$

– Công nhận được:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} -pdV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{M}{\mu} RT \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2} = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{p_2}{p_1}$$

– Nhiệt hệ nhận được:

$$\Delta U = Q + A = 0 \Rightarrow A = -Q \Rightarrow Q = -A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$$

– Trong quá trình đẳng nhiệt công mà hệ nhận vào bằng nhiệt mà hệ tỏa ra

#### 4. Quá trình đoạn nhiệt

Là quá trình trong đó hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài

$$\delta Q = 0 \text{ hay } Q = 0$$

a) Tính A, Q,  $\Delta U$

– Có:

- $Q = 0$
- $A = \Delta U = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{iR}{2}$
- $\Delta T = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T$

– Trong quá trình đoạn nhiệt, công mà hệ nhận vào bằng độ biến thiên nội năng của khối khí

- Nén đoạn nhiệt :  $A > 0, \Delta U > 0 \rightarrow \Delta T > 0$  khi nóng lên
- Giãn đoạn nhiệt:  $A < 0, \Delta U < 0 \rightarrow \Delta T < 0$  khi lạnh đi

b) Phương trình biến đổi trạng thái trong quá trình đoạn nhiệt

– Xét một quá trình nhỏ:

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

$$dU = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} dT = \frac{M}{\mu} C_v dT \delta A = -pdV = -\frac{M}{\mu} \frac{RT}{V} dV \left. \vphantom{\frac{M}{\mu} C_v dT} \right\} \Rightarrow \frac{M}{\mu} C_v dT = -\frac{M}{\mu} RT \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow C_v dT = -RT \frac{dV}{V}$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_v} \frac{dV}{V} = 0$$

– Có:  $\frac{R}{C_v} = \frac{C_p - C_v}{C_v} = \gamma - 1$

$$\Rightarrow \frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0 \Rightarrow \ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{const} \Rightarrow TV^{(\gamma-1)} = \text{const}$$

– Thay  $V = \frac{M}{\mu} \frac{RT}{p}$  vào biểu thức trên  $\Rightarrow Tp^{\frac{(1-\gamma)}{\gamma}} = \text{const}$  và  $pV^\gamma = \text{const}$



– Đường đoạn nhiệt dốc hơn đường đẳng nhiệt

- Khi nén đoạn nhiệt nhiệt độ khối khí tăng vì vậy đường đoạn nhiệt đi lên nhanh hơn đường đẳng nhiệt
- Khi giãn đoạn nhiệt nhiệt độ khối khí giảm vì vậy đường đoạn nhiệt xuống dốc nhanh hơn đường đẳng nhiệt



CLB HỖ TRỢ HỌC TẬP

## Chương 9. Nguyên lý thứ hai của nhiệt động lực học

### Câu 27

Định nghĩa, đặc điểm của quá trình thuận nghịch và quá trình không thuận nghịch. Lấy ví dụ để chứng tỏ rằng các quá trình thực diễn biến trong tự nhiên đều là không thuận nghịch. ☐

#### [Lời giải]

##### + Quá trình thuận nghịch:

- Định nghĩa: Một quá trình biến đổi của hệ từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 được gọi là thuận nghịch khi nó có thể tiến hành theo chiều ngược lại và trong QT ngược lại đó hệ đi qua những trạng thái trung gian như trong QT thuận.
- Đặc điểm:
  - QT thuận nghịch chính là QT cân bằng
  - Công mà hệ sinh ra trong QT thuận có giá trị bằng công mà hệ nhận được từ bên ngoài. Do đó khi hệ trở về trạng thái ban đầu, môi trường xung quanh không xảy ra biến đổi nào ( $\delta U = 0, A = 0 \rightarrow Q = 0$ )

##### + Quá trình không thuận nghịch:

- Định nghĩa: Quá trình không thuận nghịch là quá trình khi tiến hành theo chiều ngược lại, hệ không qua đầy đủ các trạng thái ban đầu như trong quá trình thuận.
- Đặc điểm: Công và nhiệt mà hệ nhận vào trong quá trình nghịch không bằng công và nhiệt mà hệ sinh ra trong quá trình thuận. Vì vậy sau khi tiến hành quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì môi trường xung quanh bị biến đổi.

+ **Thí nghiệm chứng tỏ**: Mọi quá trình vĩ mô thực bao giờ cũng có trao đổi nhiệt với bên ngoài  $\rightarrow$  Mọi quá trình vĩ mô thực tế đều là những quá trình không thuận nghịch

- Ví dụ các quá trình có ma sát: Do có ma sát, trong quá trình thuận, một phần công biến thành nhiệt và nếu tiến hành quá trình ngược thì một phần công nữa lại biến thành nhiệt. Kết quả cuối cùng, có một phần công biến thành nhiệt. Thực nghiệm xác nhận nhiệt đó chỉ làm nóng vật chứ không biến thành công được.
- Các quá trình truyền nhiệt từ vật nóng  $\rightarrow$  vật lạnh: đều là không thuận nghịch

**Câu 28**

Phát biểu nguyên lý 2 về truyền nhiệt và động cơ vĩnh cửu loại 2. Chứng tỏ rằng hai cách phát biểu này là tương đương. ☐

**[Lời giải]**

- + **Phát biểu của Clausius về truyền nhiệt:** Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn.
- + **Phát biểu của Thompson về động cơ vĩnh cửu loại 2:** Không thể chế tạo được một máy hoạt động tuần hoàn biến đổi liên tục nhiệt thành công nhờ làm lạnh 1 vật mà môi trường xung quanh không chịu sự thay đổi nào. Hay ta không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại 2.
- + **Ý nghĩa:** Nguyên lý thứ hai đã khắc phục những hạn chế của nguyên lý thứ nhất.
  - Nguyên lý thứ 2 cho biết chiều diễn biến của các quá trình vĩ mô trong thực tế.
  - Cho biết quy luật biến đổi giữa nhiệt và công, có ý nghĩa quan trọng trong chế tạo các máy nhiệt.
  - Cho biết cách xác định chất lượng nhiệt: nhiệt độ càng lớn, chất lượng càng cao.
- + **Hai cách phát biểu này là tương đương nhau:** Giả sử có một vật sinh công  $A'$  bằng cách lấy nhiệt từ một nguồn có nhiệt độ  $T_2$  nào đó (vi phạm nguyên lý hai trong cách phát biểu của Thompson). Có thể đem công  $A'$  cung cấp cho mọi vật có nhiệt độ  $T_1 > T_2$ ; bằng một quá trình ma sát, công  $A'$  được biến hoàn toàn thành nhiệt, nghĩa là vật có nhiệt độ  $T_1$  nhận được nhiệt lượng đúng bằng  $Q$ . Cuối cùng, kết quả duy nhất của dãy quá trình trên là đã truyền được năng lượng dưới dạng nhiệt từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn. Điều này vi phạm nguyên lý hai trong cách phát biểu của Clausius.

**Câu 29**

Mô tả chu trình Carnot. Phát biểu định lý Carnot. Dẫn ra biểu thức toán học của nguyên lý 2. ☐

**[Lời giải]**

+ **Chu trình Carnot**

Chu trình Carnot thuận nghịch gồm 4 quá trình thuận nghịch:

- Quá trình giãn đẳng nhiệt  $1 \rightarrow 2$ :  $T_1 = \text{const}$ , nhận  $Q_1$  từ nguồn nóng
- Quá trình giãn đoạn nhiệt  $2 \rightarrow 3$ : nhiệt độ giảm  $T_1 \rightarrow T_2$
- Quá trình nén đẳng nhiệt  $3 \rightarrow 4$ :  $T_2 = \text{const}$ , thải  $Q_2$  (làm nguội)
- Quá trình nén đoạn nhiệt  $4 \rightarrow 1$ : nhiệt độ tăng  $T_2 \rightarrow T_1$

+ **Định lý Carnot**

- Hiệu suất của tất cả động cơ 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. Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

+ **Biểu thức toán học của nguyên lý 2**

- Quá trình giãn đẳng nhiệt  $1 \rightarrow 2$  có:

$$Q_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

- Quá trình nén đẳng nhiệt  $3 \rightarrow 4$  có:

$$Q'_2 = -Q_2 = -\frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} \Rightarrow Q'_2 = \frac{m}{\mu} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

- Trong 2 quá trình đoạn nhiệt  $2 \rightarrow 3$  có:

$$T_1 V_2^{\gamma-1} = T_2 V_3^{\gamma-1}$$

- Kết hợp với  $4 \rightarrow 1$  có:

$$\begin{aligned} T_1 V_1^{\gamma-1} &= T_2 V_4^{\gamma-1} \\ \Rightarrow \frac{V_3}{V_4} &= \frac{V_2}{V_1} \end{aligned}$$

- Do đó:

$$\begin{aligned} \eta_c &= 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} \\ \Rightarrow \eta_c &= 1 - \frac{T_2}{T_1} \end{aligned}$$

**Câu 30**

Nêu định nghĩa, tính chất, ý nghĩa của entropy. Nội dung của nguyên lý tăng entropy. Entropy và nguyên lý 2 (dẫn ra biểu thức định lượng của nguyên lý 2). Công thức biến thiên entropy cho khí lý tưởng. □

**[Lời giải]**

**+ Định nghĩa**

- Định nghĩa hàm entropy: Một hàm trạng thái  $S$  của hệ sao cho biến thiên của  $S$  từ (1) đến (2) có giá trị bằng tích phân  $\int \frac{\delta Q}{T}$  từ (1) đến (2) theo một quá trình thuận nghịch nào đó.

**+ Tính chất**

- Entropy là hàm trạng thái Ở mỗi trạng thái của hệ nó có một giá trị xác định, không phụ thuộc vào quá trình của hệ.
- $S$  là đại lượng có tính cộng được
- $S$  được xác định sai kém một hằng số cộng
- $S$  là đại lượng có tính cộng được

$$S = S_0 + \int \frac{\delta Q}{T}$$

$S_0$  : giá trị entropy tại gốc tính toán. Thường quy ước  $S_0 = 0$  ở trạng thái có  $T = 0$  K

**+ Ý nghĩa**

- Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn và entropy của hệ cô lập không thể giảm.
- Hệ cô lập biến đổi từ trạng thái không cân bằng sang trạng thái cân bằng và khi cân bằng rồi ( $S_{\max}$ ) thì hệ không thể tự động trở lại các trạng thái không cân bằng trước được nữa.
- Theo quan điểm động học thì entropy là thước đo mức độ hỗn loạn của các phân tử trong hệ

**+ Nội dung nguyên lý tăng entropy**

- Trong hệ cô lập các quá trình nhiệt động lực luôn xảy ra theo chiều entropy tăng.

**+ Biểu thức định lượng của nguyên lý 2**

- Từ biểu thức tính hiệu suất của động cơ nhiệt thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot, ta có:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q'_2}{Q_1}$$

- Từ biểu thức định nghĩa hiệu suất và của chu trình Carnot ta có:

$$\frac{Q_1 - Q'_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

Đây là biểu thức định lượng của nguyên lý II.

⇒ Ta sẽ thiết lập biểu thức định lượng tổng quát của nguyên lý II như sau:

- Từ (1) ta có:  $\frac{Q'_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}$  (2) Trong đó  $Q'_2$  là nhiệt mà hệ (tác nhân) nhả cho nguồn lạnh. Nếu gọi  $Q_2$  là nhiệt mà hệ nhận từ nguồn lạnh thì  $Q_2 = -Q'_2$ , thay vào (2) ta có:  $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$
- Hệ thức trên được thiết lập đối với hệ biến đổi theo một chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt và hai quá trình đoạn nhiệt. Trong trường hợp tổng quát hơn, giả thiết hệ biến đổi theo một chu trình gồm vô số quá trình đẳng nhiệt và đoạn nhiệt kế tiếp nhau. Khi đó, ta có thể suy rộng hệ thức:

$$\sum_i^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$$

- Nếu trong chu trình của hệ biến thiên liên tục, ta có thể coi hệ tiếp xúc lần lượt với vô số nguồn nhiệt có nhiệt độ  $T$  vô cùng gần nhau và biến thiên liên tục; mỗi quá trình tiếp xúc với một nguồn nhiệt là một quá trình vi phân trong đó hệ nhận nhiệt  $\delta Q$ . Biểu thức (3) trở thành:  $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$
- Dấu " $=$ " tương ứng với quá trình thuận nghịch và dấu "<" tương ứng với quá trình không thuận nghịch.

#### + Công thức biến thiên entropy cho khí lý tưởng

- Ta xét quá trình thuận nghịch từ trạng thái 1 ( $T_1, p_1, V_1$ ) sang trạng thái 2 ( $T_2, p_2, V_2$ ):

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

- Quá trình đoạn nhiệt:  $\delta Q = 0 \Rightarrow \Delta S = 0 \Rightarrow S_1 = S_2$
- Quá trình đẳng nhiệt:

$$T = \text{const} \Rightarrow \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q}{T}$$

- Quá trình thuận nghịch bất kỳ: Từ nguyên lý I của nhiệt động lực học, ta có:

$$\delta Q = dU - \delta A$$

$$dU = \frac{m}{\mu} C_v dT$$

$$\delta A = -pdV = -\frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow \Delta S &= \int_1^2 \left( \frac{m}{\mu} C_v \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \frac{dV}{V} \right) \\ &= \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1} \\ &= \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}\end{aligned}$$

Do đó:

- 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:  $\Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{p_2}{p_1}$

CLB HỖ TRỢ HỌC TẬP



## Chương 10. Khí thực

### Câu 31

Phân biệt khí thực và khí lý tưởng. Thiết lập phương trình Van der Waals. □

#### [Lời giải]

#### + Phân biệt khí thực và khí lý tưởng

##### – Khí lý tưởng:

- Phân tử khí có kích thước không đáng kể
- Thể tích khối khí chính là thể tích dành cho chuyển động nhiệt tự do của phân tử khí.
- Chỉ xét va chạm đàn hồi, bỏ qua tương tác hút/đẩy giữa các phân tử khí, nên áp suất trong không khí gây bởi tổng hợp lực va chạm của các phân tử khí lên thành bình.

##### – Khí thực:

- Khi nén hoặc hạ nhiệt độ, thể tích của khối khí giảm, lúc đó các phân tử lại gần nhau và không thể bỏ qua lực tương tác giữa chúng.
- Thể tích riêng của các phân tử cũng chiếm một phần đáng kể so với thể tích toàn bộ và không thể bỏ qua.
- Các phân tử khí có tương tác với nhau nên áp suất của khối khí giảm đi do tương tác tĩnh điện làm giảm lực tác dụng lên thành bình.

#### + Phương trình Van der Waals

- Phương trình Van der Waals được thiết lập dựa trên điều chỉnh từ phương trình khí lý tưởng  $pV = nRT$  như sau:

- Cộng tích: Trong khí thực, các phân tử có kích thước nên thể tích chuyển động của các phân tử nhỏ hơn thể tích của bình chứa. Do đó, thể tích thực là  $V - nb$ , trong đó  $b$  là thể tích của một mol phân tử khí. Như vậy, ta thay  $V$  bởi  $V - nb$ .
- Nội áp: Trong khí thực, có lực hút giữa các phân tử làm lực va chạm của các phân tử khí với thành bình so với khí lý tưởng. Do đó có sự giảm áp suất so với khí lý tưởng. Sự giảm áp suất được biểu thị bằng  $\frac{a}{V^2}$ , trong đó  $a$  là hằng số tỷ lệ. Như vậy, ta thay  $p$  bởi  $p + \frac{a}{V^2}$ .

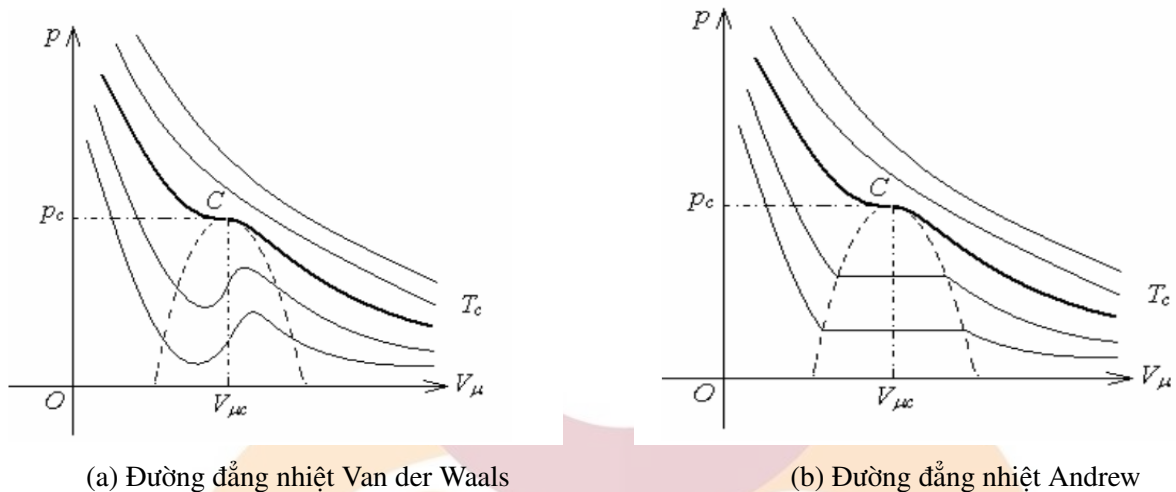
Kết hợp hai điều chỉnh trên, ta thu được phương trình Van der Waals:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

**Câu 32**

So sánh đường đẳng nhiệt Van der Waals và đường đẳng nhiệt thực nghiệm Andrews. □

**[Lời giải]**



**+ So sánh hai đường đẳng nhiệt:**

- Khi  $T$  lớn, cụ thể ở nhiệt độ  $T > T_c$ , đường đẳng nhiệt thực nghiệm trùng với đường đẳng nhiệt lý thuyết.
- Ở nhiệt độ  $T < T_c$ , trong phạm vi vùng parabol úp, đoạn uốn khúc Van der Waals được thay bằng đoạn nằm ngang của đường Andrews. Như vậy trên đoạn này thực nghiệm cho thấy áp suất không thay đổi theo thể tích.
- Các đường đẳng nhiệt tới hạn thực nghiệm và lý thuyết cũng trùng nhau, kể cả giá trị các tham số tới hạn  $p_c$ ,  $V_{\mu c}$  và  $T_c$ .