



CHƯƠNG I.2: ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

Bài giảng môn Vật lý 1 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 22 tháng 2 năm 2023

1 Động lực học chất điểm

- 1.1. Các định luật Newton
 - 1. Định luật Newton thứ nhất
 - 2. Định luật Newton thứ hai
 - 3. Hệ quy chiếu quán tính
 - 4. Lực tác dụng trong chuyển động cong
 - 5. Định luật Newton thứ ba
- 1.2. Các định lý về động lượng
 - 1. Định lý 1
 - 1. Định lý 2
- 1.3. Ý nghĩa của động lượng và xung lượng

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

- 2.1. Các lực liên kết
 - 1. Lực ma sát
 - 2. Lực căng
- 2.2. Bài toán ví dụ khảo sát chuyển động

3 Mômen động lượng

- 3.1. Mômen của một véc tơ đối với một điểm
- 3.2 Tính chất
- 3.3. Định lý về mômen động lượng

4 Chuyển động tương đối và nguyên lý Galiléo

- 4.1. Không gian và thời gian theo cơ học cổ điển
- 4.2. Tổng hợp vận tốc và gia tốc
- 4.3 Nguyên lý tương đối Galiléo
- 4.4. Lực quán tính

Định luật Newton thứ nhất

Chất điểm cô lập: Là chất điểm không tác dụng lên chất điểm khác và cũng không chịu tác dụng nào từ chất điểm khác.



Phát biểu

Khi một chất điểm cô lập (nếu không chịu tác động nào từ bên ngoài) nếu đang đứng yên, nó sẽ tiếp tục đứng yên, nếu đang chuyển động thì chuyển động của nó là thẳng đều.

⇒ chuyển động của chất điểm được bảo toàn ⇒ định luật quán tính!!!

2. Định luật Newton thứ hai

- Vật chịu tác dụng đồng thời của nhiều lực \Rightarrow vật chịu tác dụng của $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$
- Chuyển động của chất điểm chịu tác dụng của lực $\vec{F} \neq 0$ là chuyển động có gia tốc
- Gia tốc của chất điểm $\sim F$ và $\sim 1/m$

2. Định luật Newton thứ hai

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad (1)$$

- $\vec{F} \neq 0 \rightarrow \vec{a} \neq 0$
- Trong hệ SI $k = 1 \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$
- Nghiệm đúng với hệ quy chiếu quán tính
- Phương trình cơ bản của động lực học chất điểm

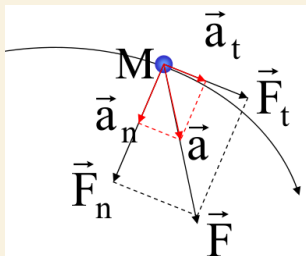
$$m\vec{a} = \vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

- Định luật Newton I: $\vec{F} = 0 \rightarrow \vec{a} = 0 \rightarrow \vec{v} = \text{const}$
- Định luật Newton II: $\vec{F} \neq 0 \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \neq 0$

3. Hệ quy chiếu quán tính

- Định nghĩa: Hệ quy chiếu quán tính trong đó một vật cô lập nếu đang đứng yên sẽ đứng yên mãi mãi còn nếu chuyển động sẽ chuyển động thẳng đều \Rightarrow hệ quy chiếu quán tính. Nghiệm đúng phương trình $m\vec{a} = \vec{F}$

4. Lực tác dụng trong chuyển động cong



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

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

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

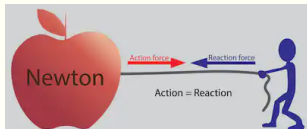
- Lực tiếp tuyến: $F_t = ma_t$
- Lực pháp tuyến:
 $F_n = ma_n = m \frac{v^2}{R}$

5. Định luật Newton thứ ba

Phát biểu

Khi chất điểm A tác dụng lên chất điểm B một lực \vec{F} thì đồng thời chất điểm B cũng tác dụng lên chất điểm \vec{F}' . Hai lực \vec{F} và \vec{F}' đồng thời tồn tại, cùng phương, ngược chiều, cùng cường độ và đặt lên hai chất điểm A và B khác nhau.

$$\vec{F} = -\vec{F}'$$



Tổng các nội lực tương tác giữa hai chất điểm bằng không

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

Tổng quát: Hệ gồm n chất điểm, \vec{F}'_i : nội lực tác dụng lên chất điểm i

$$\vec{F}'_1 + \vec{F}'_2 + \dots + \vec{F}'_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}'_i = 0$$

1. Định lý 1

- Chất điểm $m, \vec{F} \Rightarrow \vec{a} : m\vec{a} = \vec{F} \Leftrightarrow m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$
- $m = \text{const}$

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F} \quad (2)$$

- $\vec{p} = m\vec{v}$: vector động lượng của chất điểm.
 - Cùng hướng với vector vận tốc v
 - Đặc trưng cho trạng thái chuyển động của vật về mặt động lực học.
 - Đơn vị: **kg.m/s**

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad (3)$$

- Đạo hàm động lượng của một chất điểm theo thời gian bằng tổng hợp các ngoại lực tác dụng lên chất điểm đó.

1. Định lý 2

- Từ (3)

$$d\vec{p} = \vec{F} dt \quad (4)$$

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt \quad (5)$$

$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$: xung lượng của lực \vec{F} trong khoảng thời gian $t_1 \rightarrow t_2$

- Khi $\vec{F} = \text{const}$

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}(t_2 - t_1) = \vec{F}\Delta t \quad (6)$$

- Độ biến thiên động lượng của một chất điểm trong một khoảng thời gian nào đó bằng xung của lực tác dụng lên chất điểm trong khoảng thời gian đó.

1. Ý nghĩa của động 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 của chất điểm trong va chạm

2. Ý nghĩa xung lượng

- Tác dụng của lực không những phụ thuộc vào cường độ của lực, mà còn phụ thuộc vào thời gian tác dụng.

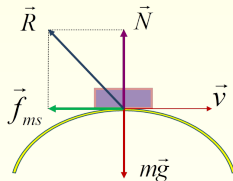
1. Lực ma sát

Lực ma sát trượt

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

$$f_{ms} = kN$$

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



Tên vật liệu	k	Tên vật liệu	k
Gỗ rắn trên gỗ rắn	0.25	Thép trên thép	0.17
Lốp cao su/đất cứng	0.4÷0.6	Thép/đất cứng	0.2÷0.4

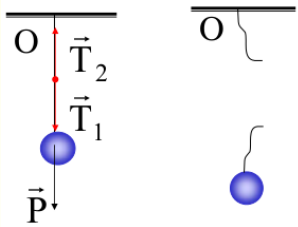
Lực ma sát lăn

$$f_{ms} = \mu \frac{N}{r}$$

Lực ma nhớt

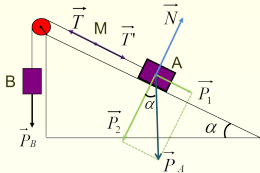
$$\vec{f}_{ms} = -r\vec{v}; f_{ms} = 3\pi\eta dv$$

2. Lực căng



- Dây không dẫn, \vec{F} , vật có trạng thái động học (đứng yên hay chuyển động với gia tốc bất kì).
- Tại điểm M (\vec{T} và \vec{T}'): $\vec{T} = \vec{T}'$
- Lưu ý: thông thường lực căng có cường độ không đổi dọc theo sợi dây !!!

2.2. Bài toán ví dụ khảo sát chuyển động



- Vật A, B: m và m' . Vật A trượt không ma sát.
- Lực tác dụng lên vật A:
 - Lực căng \vec{T}
 - Trọng lực \vec{P}_A

Khi đó:

- $\vec{P}_A = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$
- $\vec{P}_2 \perp$ mặt phẳng nghiêng, $\vec{P}_2 + \vec{N} = 0$: $P_2 = P_A \cos \alpha$, $P_1 = P_A \sin \alpha$
- Ngoại lực tác dụng lên A: $\vec{P}_1 \parallel \vec{T}$

Giả sử: A \downarrow , B \uparrow . Chiều (+): chiều chuyển động.

- $P_1 - T = m_A g \sin \alpha - T = m_A a$
- $T - P_B = m_B a \Rightarrow T = m_B(a + g)$

$$\Rightarrow a = \frac{m_A \sin \alpha - m_B}{m_A + m_B} g$$

Sức căng T: $T = \frac{m_A m_B}{m_A + m_B} (1 + \sin \alpha) g$

Bài tập 1: Một tàu điện, sau khi xuất phát, chuyển động với gia tốc không đổi $0,5\text{m/s}^2$. Sau khi bắt đầu chuyển động được 12s , người ta tắt động cơ của tàu và tàu chuyển động chậm dần đều cho tới khi dừng hẳn. Trên toàn bộ quãng đường hệ số ma sát bằng $k = 0,01$. Tìm:

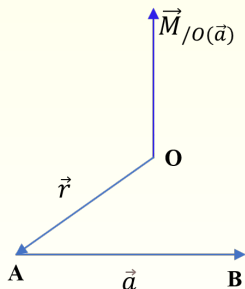
1. Vận tốc lớn nhất của tàu.
2. Thời gian toàn bộ kể từ khi tàu xuất phát cho tới khi tàu dừng hẳn.
3. Gia tốc của tàu trong chuyển động chậm dần đều.
4. Quãng đường toàn bộ mà tàu đã đi được. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

Bài tập 2: Một ô tô khối lượng $2,5$ tấn chuyển động với vận tốc không đổi 54km/h qua một chiếc cầu. Xác định lực nén của ô tô lên cầu, nếu:

1. Cầu nằm ngang.
2. Cầu vồng lên với bán kính cong là 50m .
3. Cầu lõm xuống dưới với bán kính cong là 50m (tương ứng với vị trí ô tô ở giữa cầu).

Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

3.1. Mômen của một véc tơ đối với một điểm



Mômen của \vec{a} đối với điểm O:

$$\vec{M}_{O(\vec{a})} = \overrightarrow{OA} \wedge \vec{a} = \vec{r} \wedge \vec{a}$$

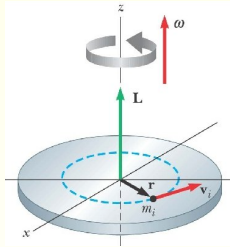
Mômen $\vec{M}_{O(\vec{a})}$ là một véctơ:

- Gốc tại O
- Phương \perp mặt phẳng (O, \vec{a})
- Chiều là chiều thuận đối với chiều quay \overrightarrow{OA} sang \overrightarrow{AB}
- Độ lớn: $|\vec{M}_{O(\vec{a})}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{r}| \cdot \sin(\vec{a}, \vec{r})$

3.2 Tính chất

- $\vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{a})} = 0$ khi $\vec{a} = 0$ hoặc có phương đi qua O.
- $\vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{a}+\vec{b})} = \vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{a})} + \vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{b})}$
- Khi \vec{a}, \vec{b} cùng phương, ngược chiều và cùng độ lớn:
$$\vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{a})} + \vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{b})} = 0$$

3.3. Định lý về mômen động lượng



- Đạo hàm của $\vec{p} = m\vec{v}$:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F} \quad (7)$$

- Vì:

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

- Nhân hữu hướng hai vế (7) với $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$:

$$\vec{r} \wedge \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{r} \wedge \vec{F} \Rightarrow \frac{d}{dt}(\vec{r} \wedge m\vec{v}) = \frac{d}{dt}(\vec{r} \wedge m\vec{v}) = \frac{d}{dt}(\vec{r} \wedge \vec{p})$$

3.3. Định lý về mômen động lượng

- Vậy:

$$\frac{d}{dt}(\vec{r} \wedge \vec{p}) = \vec{r} \wedge \vec{F} \quad (8)$$

- Đặt $\vec{L} \equiv \vec{r} \wedge m\vec{v}$
- Phương trình (8) viết lại

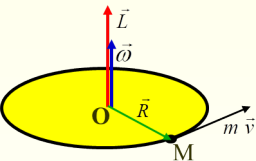
$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mathcal{M}}_{/O(\vec{F})}$$



Định lý về mô men động lượng:

Đạo hàm theo thời gian của mômen động lượng đối với điểm O của chất điểm chuyển động bằng tổng mômen đối với điểm O của các lực tác dụng lên chất điểm.

Chất điểm chuyển động tròn



- Chất điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn (O, R):

$$\vec{L} = \overrightarrow{OM} \wedge m\vec{v} \rightarrow |\vec{L}| = Rmv = (mR^2)\omega = I\omega$$

với $I = mR^2$: mômen quán tính của chất điểm đối với điểm O.

- Theo hình vẽ $\vec{L} = I\vec{\omega}$

- Lực tác dụng $\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_n$
- Mômen của lực hướng tâm \vec{F}_n : $\vec{M}_{O(\vec{F}_n)} = 0$

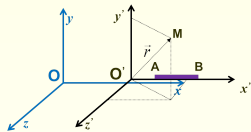
$$\Leftrightarrow \vec{M}_{O(\vec{F})} = \vec{M}_{O(\vec{F}_t)}$$

- Định lý mômen động lượng:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d}{dt}(I\vec{\omega}) = \vec{M}_{O(\vec{F}_t)}$$

Cơ học cổ điển xây dựng trên cơ sở quan điểm Newton về không gian, thời gian và chuyển động.

Hệ Oxyz đứng yên:



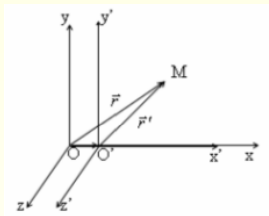
- O' chuyển động theo trục ox với vận tốc \vec{V} : $oy // o'y'$, $oz // o'z'$.
- Tại M bất kì. Trong hệ O: $M(x, y, z, t)$, hệ O': $M(x'y'z', t')$

Quan điểm của Niuton:

- Thời gian có tính tuyệt đối: $t = t'$
- Không gian là tương đối: $x = x' + \overline{OO'}$, $y = y'$, $z = z'$
- Khoảng cách giữa 2 điểm của không gian có tính chất tuyệt đối.

Giả thiết thước AB đặt dọc theo trục O'x'.

- Chiều dài thước trong hệ O': $\ell_0 = x'_B - x'_A$
- Chiều dài thước trong hệ O: $\ell = x_B - x_A$
- Do $x_A = x'_A + \overline{OO'}$, $x_B = x'_B + \overline{OO'}$
 $\Rightarrow x_B - x_A = x'_B - x'_A \Leftrightarrow \ell = \ell_0$
- Phép biến đổi Galiléo $\overline{OO'} = Vt \Rightarrow x = x' + Vt$, $y = y'$, $z = z'$ và ngược lại $x' = x - Vt$, $y' = y$, $z' = z$



- Giả sử $O'x'y'z'$ chuyển động đối với $Oxyz: O'x' // Ox, O'y' // Oy, O'z' // Oz$
- $\overrightarrow{OM} = \vec{r}, \overrightarrow{O'M} = \vec{r}'$
- $\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OO'} + \overrightarrow{O'M} \Leftrightarrow \vec{r} = \overrightarrow{OO'} + \vec{r}'$
- Đạo hàm theo thời gian:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d(\overrightarrow{OO'})}{dt} \quad (9)$$

$$\Rightarrow \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V} \quad (10)$$

- Đạo hàm theo thời gian hai vế (10)

$$\Rightarrow \vec{a} = \vec{a}' + \vec{A} \quad (11)$$

- \vec{a} : gia tốc của chất điểm đối với hệ O
- \vec{a}' : gia tốc của chất điểm đối với hệ O'
- \vec{A} : gia tốc của chuyển động của hệ O' với hệ O

- Xét chất điểm chuyển động O và O' : O là hệ quán tính, các định luật Newton được thỏa mãn.

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad (12)$$

với \vec{a} là gia tốc trong O và \vec{F} là lực tác dụng trong hệ O

- Nếu O' chuyển động thẳng đều đối với O thì $\vec{A} = 0 \Rightarrow \vec{a} = \vec{a}'$
 $\Rightarrow m\vec{a}' = \vec{F}$
- Vậy, O' cũng là hệ quy chiếu quán tính

Mọi hệ quy chiếu chuyển động thẳng đều đối với hệ quy chiếu quán tính cũng là hệ quy chiếu quán tính.

Nguyên lý tương đối Galiléo

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

- Các hiện tượng (định luật) cơ học xảy ra giống nhau trong các hệ quy chiếu quán tính khác nhau.
- Các phương trình cơ học bất biến qua phép biến đổi Galiléo.

4.4. Lực quán tính

- Xét hệ quy chiếu O' chuyển động có gia tốc \vec{A} với O .
- Khi đó $\vec{a} = \vec{a}' + \vec{A} \Leftrightarrow m\vec{a} = m\vec{a}' + m\vec{A}$
- Vì O là hệ quy chiếu quán tính nên $\vec{F} = m\vec{a}$
- Do đó: $\vec{F} = m\vec{a}' + m\vec{A}$

$$m\vec{a}' = \vec{F} + (-m\vec{A}) \quad (13)$$

- \Rightarrow trong hệ O' chuyển động có gia tốc đối với hệ O , các định luật chuyển động của chất điểm \neq như trong hệ O .
- Trong O' , có thêm lực $\vec{F}_{qt} = (-m\vec{A})$: *lực quán tính*
- $\Rightarrow O'$ là *hệ quy chiếu không quán tính*.
- Phương trình động lực học trong hệ O' :

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{qt} \quad (14)$$

Ý nghĩa: Giải thích được hiện tượng tăng, giảm trọng lượng và không trọng lượng trên tàu vũ trụ...

Bài tập 3:

Một thang máy được treo ở đầu một dây cáp đang chuyển động lên phía trên. Lúc đầu thang máy chuyển động nhanh dần đều sau đó chuyển động đều và trước khi dừng lại chuyển động chậm dần đều. Hỏi trong quá trình đó, lực căng của dây cáp thay đổi như thế nào? Cảm giác của người trên thang máy ra sao?