

Chương 1.2. Động lực học chất điểm

A. Tóm tắt lý thuyết

Phương pháp giải một bài toán động lực học:

Bước 1: Xác định đầy đủ và chính xác các lực tác dụng lên vật.

Bước 2: Viết phương trình cơ bản của động lực học (phương trình định luật 2 Newton):

$\vec{F} = m\vec{a}$, trong đó \vec{F} là hợp lực tác dụng lên vật

Bước 3: Chiếu phương trình lên các phương, thu được phương trình đại số và giải.

1. Các loại lực:

a) Lực ma sát nghỉ:

$F_{msn} = F_{td} \leq F_{msn\max} = \mu_n N$, trong đó F_{td} là lực tác dụng, $F_{msn\max}$ là lực ma sát nghỉ cực đại, μ_n là hệ số ma sát nghỉ, N là áp lực vuông góc tác dụng lên vật.

b) Lực ma sát động (gồm ma sát trượt và lăn):

$F_{mst} = \mu_t N; F_{msl} = \mu_l N$, trong đó $\mu_t; \mu_l$ lần lượt là hệ số ma sát trượt và hệ số ma sát lăn.

Chú ý: $\mu_l \leq \mu_t \leq \mu_n$

c) Lực đàn hồi:

Định luật Hooke: $\vec{F}_{dh} = -k\Delta\vec{l}; F_{dh} = k\Delta l$

Lực đàn hồi tỷ lệ thuận và ngược chiều với độ biến dạng.

2. Động lượng và định luật bảo toàn động lượng

a) Động lượng

$\vec{K} = m\vec{v}$, trong đó m là khối lượng của chất điểm, \vec{v} là véc-tơ vận tốc.

Đơn vị của K là kg.m/s

Các định lý động lượng:

Định lý 1: Đạo hàm động lượng của chất điểm theo thời gian có giá trị bằng tổng các ngoại lực tác dụng lên chất điểm đó.

$$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}$$

- Định lý 2: 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.

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

+ Hệ quả: Độ biến thiên động lượng của chất điểm theo thời gian có giá trị bằng lực tác dụng lên chất điểm trong thời gian đó.

$$\vec{F} \equiv \vec{F}_{TB} = \frac{\Delta\vec{K}}{\Delta t}$$

b) Định luật bảo toàn động lượng:

Tổng động lượng của hệ cô lập được bảo toàn.

$$\vec{K} = \text{const}$$

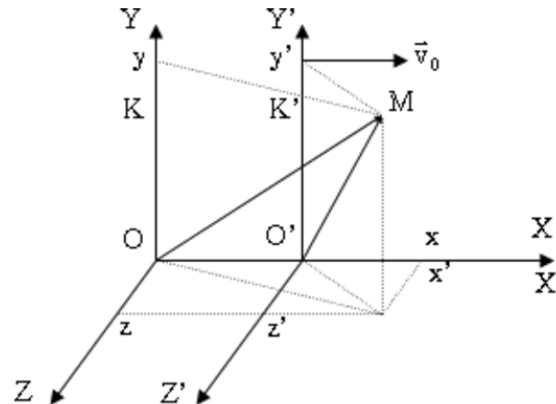
Chú ý:

- Viết trong hệ quy chiếu quán tính (có thể hiểu là hệ quy chiếu đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều, hay đơn giản là hệ quy chiếu gắn với mặt đất)

- Một số bài toán áp dụng được định luật bảo toàn động lượng:

- + Hệ không có ngoại lực tác dụng;
- + Hệ có ngoại lực tác dụng nhưng tổng hợp ngoại lực bằng 0;
- + Hệ có nội lực rất lớn so với ngoại lực (bài toán viên đạn nổ);
- + Hệ có ngoại lực khác 0 nhưng hình chiếu lên 1 phương nào đó của lực bằng 0 thì định luật bảo toàn động lượng có thể áp dụng theo phương đó, tức là:
Nếu $F_x = 0$ thì $K_x = \text{const}$.

3. Phép biến đổi Galile



Từ K' sang K

$$x = OO' + x' = x' + v_0 t'$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = t'$$

Từ K sang K'

$$x' = x - v_0 t'$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

Vận tốc:

$$\vec{v}(v_x, v_y, v_z) = \vec{v}'(v'_x, v'_y, v'_z) + \vec{v}_0(v_0, 0, 0)$$

Gia tốc:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{v}_0}{dt} = \vec{a}' + \vec{A}$$

\vec{A} là gia tốc của hệ K' đối với hệ K.

Phương trình định luật 2 Newton trong hệ quy chiếu không quán tính:

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

trong đó: $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$ là lực quán tính.

B. Bài tập

Các bài tập thầy sẽ chữa trên lớp

2.1, 2.5, 2.9, 2.11, 2.13, 2.15, 2.16, 2.22, 2.24, 2.34, 2.35

Bài tập phải làm để nộp:

2.3, 2.4, 2.6, 2.10, 2.12, 2.25, 2.31, 2.36

Bài 2.1. Một xe có khối lượng 20000 kg, chuyển động chậm dần đều dưới tác dụng của 1 lực bằng 6000 N, vận tốc ban đầu của xe bằng 15 m/s. Hỏi:

a) Gia tốc của xe;

b) Sau bao lâu xe dừng lại;

c) Đoạn đường xe đã chạy được kể từ lúc hãm cho đến khi xe dừng hẳn.

Tóm tắt:

$$m = 2.10^4 \text{ (kg)}; F_c = -6000 \text{ (N)}$$

$$v_0 = 15 \text{ (m/s)}$$

$$a) a = ?$$

$$b) t = ? (v = 0)$$

$$c) s = ?$$

Bài giải:

$$a) a = \frac{F_c}{m} = \frac{-6000}{2.10^4} = -0,3 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$b) v = v_0 + at \rightarrow t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 15}{-0,3} = 50 \text{ (s)}$$

$$c) s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0^2 - 15^2}{-2.0,3} = 375 \text{ (m)}$$

Bài 2.5. Một vật có khối lượng $m = 5 \text{ kg}$ được đặt trên một mặt phẳng nghiêng hợp với mặt phẳng nằm ngang một góc $\alpha = 30^\circ$. Hệ số ma sát giữa vật và mặt phẳng nghiêng bằng $k = 0,2$. Tìm gia tốc của vật trên mặt phẳng nghiêng.

Tóm tắt:

$$m = 5 \text{ (kg)}; \alpha = 30^\circ; k = 0,2$$

$$a = ?$$

Bài giải:

Phương trình định luật 2 Newton:

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_{ms} = m\vec{a}$$

Chiếu lên phương chuyển động:

$$P \sin \alpha - F_{ms} = ma \rightarrow mg \sin \alpha - kN = ma \quad (1) \text{ Chiếu lên phương vuông góc với phương chuyển động:}$$

$$P \cos \alpha - N = 0 \rightarrow N = mg \cos \alpha$$

Thế biểu thức trên vào (1) ta được:

$$mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha = ma$$

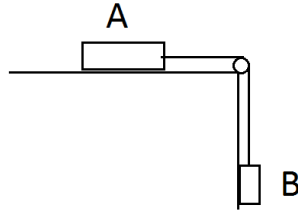
$$\rightarrow a = \frac{mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha}{m} =$$

$$= g \sin \alpha - kg \cos \alpha$$

Thay số:

$$a = 10 \cdot \sin 30^\circ - 10 \cdot 0,2 \cdot \cos 30^\circ = 3,3 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

Bài 2.11. Một bản gỗ A được đặt trên một mặt phẳng nằm ngang. Bản A được nối với một bản gỗ B khác bằng một sợi dây vật qua một ròng rọc cố định. Khối lượng của ròng rọc và của dây coi như không đáng kể.



a) Tính lực căng của dây nếu cho $m_A = 200 \text{ g}$; $m_B = 300 \text{ g}$, hệ số ma sát giữa bản A và mặt phẳng nằm ngang là $k = 0,25$.

b) Nếu thay đổi vị trí của A và B thì lực căng của dây sẽ bằng bao nhiêu? Xem hệ số ma sát vẫn như cũ.

Bài giải:

a) Các lực tác dụng vào vật A là:

$$\vec{P}_A, \vec{N}_A, \vec{T}, \vec{F}_{ms}$$

Phương trình định luật 2 Newton:

$$\vec{P}_A + \vec{N}_A + \vec{T} + \vec{F}_{ms} = m_A \vec{a}$$

Chiếu lên phương ngang, chiều dương là chiều chuyển động (giả sử vật B đi xuống):

$$T - F_{ms} = m_A a \rightarrow T - kN_A = m_A a \quad (1)$$

Chiếu lên phương thẳng đứng ta được:

$$N_A - P_A = 0 \rightarrow F_{ms} = kN_A = kP_A$$

Thay vào biểu thức (1) được: $T - kP_A = m_A a$

Đối với vật B, các lực tác dụng là \vec{P}_B, \vec{T} , phương trình định luật 2 Newton:

$$\vec{P}_B - \vec{T} = m_B \vec{a}$$

Chiếu lên phương thẳng đứng (chiều dương là chiều chuyển động) ta được: $P_B - T = m_B a \quad (2)$

Cộng (1) và (2) ta được:

$$P_B - kP_A = (m_A + m_B) a \rightarrow a = \frac{P_B - kP_A}{m_A + m_B}$$

$$= g \frac{m_B - km_A}{m_A + m_B}$$

Thay giá trị này của gia tốc a vào biểu thức (1) để tính lực căng T:

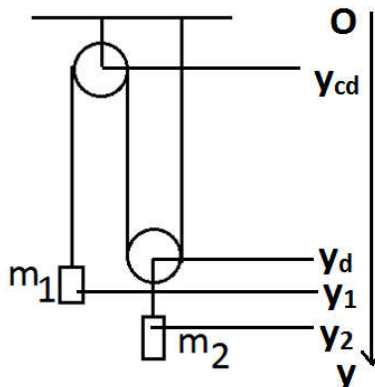
$$T = km_A g + m_A a = m_A \left(kg + g \frac{m_B - km_A}{m_A + m_B} \right) =$$

$$= g \frac{m_A m_B (k+1)}{m_A + m_B} \quad (*)$$

Thay số ta được:

$$T = 10 \cdot \frac{(0,25+1) \cdot 0,2 \cdot 0,3}{0,2+0,3} = 1,5 \text{ (N)}$$

b) Từ biểu thức (*) tổng quát của lực căng T ta thấy vai trò của A và B có tính hoán vị, vì thế nếu đổi vị trí A và B cho nhau thì lực căng T không đổi.



Chứng minh $a_1 = 2a_2$ (đọc thêm để biết cách chứng minh cho những bài có cơ hệ phức tạp hơn), tất nhiên có thể nói ngắn gọn là vì vật 1 chuyển động được quãng đường là s , thì vật 2 chỉ chuyển động được quãng đường $0,5s$ nên nếu ban đầu hệ đứng yên, dễ dàng suy ra gia tốc của vật 1 lớn gấp đôi gia tốc vật 2. Dưới đây là 1 cách thú vị để chứng minh cho những cơ hệ phức tạp (nghĩa là gồm nhiều ròng rọc động hơn, nhiều vật hơn). 🌟🌟🌟

Gọi y_{cd} là tọa độ của ròng rọc cố định,

y_d là tọa độ ròng rọc động, y_1 và y_2 lần lượt là tọa độ của vật 1 và 2.

Chiều dài sợi dây trong thí nghiệm trên chính là:

$$y_1 - y_{cd} + (y_d - y_{cd}) + y_d = \text{const}$$

đạo hàm biểu thức trên 2 lần và chú ý $y_{cd} = \text{const}$, ta được:

$a_1 = -2a_d$, tức là gia tốc của vật 1 gấp đôi và ngược chiều với gia tốc của ròng rọc động (tức là gia tốc của vật 2), như vậy về độ lớn $a_1 = 2a_2$.

OK!, giờ bắt đầu vào bài toán của chúng ta:

Đối với vật 1, các lực tác dụng là \vec{P}_1, \vec{T} , ta có:

$$\vec{P}_1 + \vec{T} = m_1 \vec{a}, \text{ chiếu lên phương chuyển động ta được: } P_1 - T = m_1 a_1 \quad (1)$$

Tương tự đối với vật 2:

$\vec{P}_2 + 2\vec{T} = m_2 \vec{a}$ (vì sợi dây không giãn, không có khối lượng nên lực căng ở chỗ nào cũng bằng nhau).

Chiếu lên phương chuyển động:

$$P_2 - 2T = -m_2 a_2 = -\frac{m_2 a_1}{2} \quad (2)$$

Nhân 2 lần phương trình (1) rồi trừ đi (2) theo vế ta được:

$$\begin{aligned} 2P_1 - P_2 &= \left(2m_1 + \frac{m_2}{2} \right) a_1 \rightarrow a_1 = \frac{2(2P_1 - P_2)}{4m_1 + m_2} = \\ &= 2g \frac{(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2}, \text{ với trường hợp } m_1 = m_2 = m \end{aligned}$$

$$\text{Ta có: } a_1 = \frac{2g}{5}; a_2 = \frac{g}{5}$$

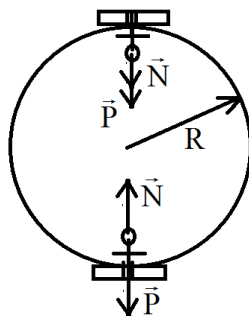
Bài 2.22. Tính lực đẩy trung bình của hơi thuốc súng lên đầu đạn ở trong nòng một súng bộ binh, biết rằng đầu đạn có khối lượng $m = 10 \text{ g}$; thời gian chuyển động của đạn trong nòng là $\Delta t = 0,001 \text{ giây}$, vận tốc của viên đạn ở đầu nòng là $v = 865 \text{ m/s}$.

Lời giải:

Bài này nên áp dụng định lý về động lượng như sau:

$$\Delta K = F\Delta t \rightarrow F = \frac{\Delta K}{\Delta t} = \frac{mv - 0}{\Delta t} = \frac{mv}{\Delta t} = \frac{0,01.865}{0,001} = 8650(\text{N})$$

Bài 2.35. Xác định lực nén phi công vào ghế máy bay ở các điểm cao nhất và thấp nhất của vòng nhào lộn nếu khối lượng của phi công bằng 75 kg, bán kính của vòng nhào lộn bằng 200 m, và vận tốc của máy bay trong vòng nhào lộn luôn luôn không đổi và bằng 360 km/h.



Lời giải:

Các lực tác dụng vào vật gồm có \vec{P} ; \vec{N} . Ta có:

$$\vec{P} + \vec{N} = m\vec{a}$$

Xét tại vị trí thấp nhất của vòng nhào lộn, chiếu phương trình trên lên phương bán kính:

$$N - P = ma_{ht} = m \frac{v^2}{R} \text{ suy ra:}$$

$$N = P + \frac{mv^2}{R} = 75.10 + \frac{75.100^2}{200} = 4500(\text{N})$$

Xét tại vị trí cao nhất của vòng nhào lộn, chiếu phương trình trên lên phương bán kính:

$$N + P = ma_{ht} = \frac{mv^2}{R} \rightarrow N = \frac{mv^2}{R} - P$$

Thay số:

$$N = \frac{mv^2}{R} - P = \frac{75.100^2}{200} - 75.10 = 3000(\text{N})$$