

## CHƯƠNG 2. CHUYỂN ĐỘNG

Giảng viên: Nguyễn Đức Cường

Trường Đại học Công nghệ - ĐHQGHN

*Email: cuongnd@vnu.edu.vn*

Ngày 20 tháng 10 năm 2022

- ❶ 2.1. CHẤT ĐIỂM, CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ BẢN CỦA CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT ĐIỂM
- ❷ 2.2. VÉC-TƠ, HỆ TỌA ĐỘ, CHUYỂN ĐỘNG TRONG HỆ TỌA ĐỘ VUÔNG GÓC
- ❸ 2.3. ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM
- ❹ 2.4. LỰC QUÁN TÍNH, CHUYỂN ĐỘNG DƯỚI TÁC DỤNG CỦA LỰC QUÁN TÍNH
- ❺ 2.5. LỰC MA SÁT, ĐỘNG HỌC LỰC MA SÁT. ĐỘ NHỚT
- ❻ 2.6. ĐỘNG LƯỢNG

## 2.1. Chất điểm, các đại lượng cơ bản của chuyển động của chất điểm

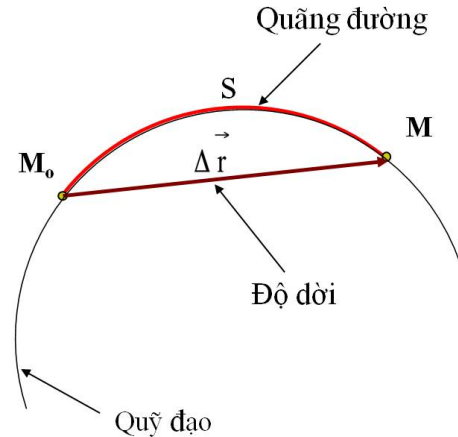
### 2.1.1. Các khái niệm cơ bản

- **Cơ học:** ngành vật lý nghiên cứu về chuyển động của các vật thể.
- **Động học:** ngành vật lý nghiên cứu các tính chất, qui luật chuyển động mà không tính tới nguyên nhân của chuyển động đó.
- **Chuyển động cơ học:** là sự thay đổi vị trí của các vật thể trong không gian.
- **Chất điểm:** là vật thể có kích thước không đáng kể so với những kích thước, khoảng cách mà ta xét.

## 2.1. Chất điểm, các đại lượng cơ bản của chuyển động của chất điểm

### 2.1.1. Các khái niệm cơ bản

- **Quãng đường:** là độ dài của vết mà chất điểm vạch ra trong thời gian khảo sát chuyển động.
- **Độ dời:** là véc-tơ nối từ vị trí đầu đến vị trí cuối.
- **Quỹ đạo:** là tập hợp các vị trí của chất điểm trong quá trình chuyển động.



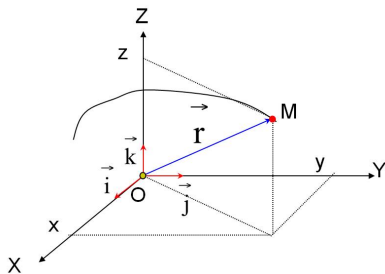
## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.1. Đại lượng vô hướng, đại lượng có hướng, hệ quy chiếu

- **Đại lượng vô hướng:** đại lượng chỉ có một đặc trưng là độ lớn.
- **Đại lượng véc-tơ:** đại lượng có đủ 3 đặc trưng là phương, chiều và độ lớn. Trong không gian, đại lượng véc-tơ được biểu diễn bởi một đoạn thẳng có hướng (mũi tên).
- **Hệ quy chiếu:** Là hệ thống gồm một **vật mốc**, **hệ tọa độ** gắn với vật mốc đó và **đồng hồ** đo thời gian, dùng để xác định vị trí của các vật khác. **Véc-tơ vị trí:**

$$\vec{r} = \vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

Tọa độ điểm M:  $M(x, y, z)$



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.2. Phương trình chuyển động và phương trình quỹ đạo

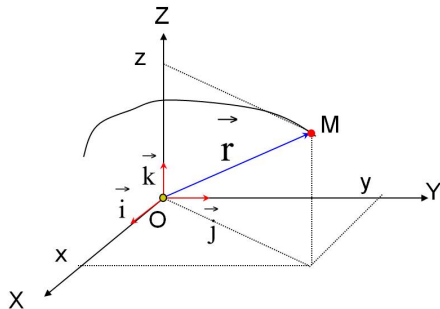
- **Phương trình chuyển động:** Cho biết vị trí của chất điểm ở thời điểm  $t$ :

$$x = f(t)$$

$$y = g(t)$$

$$z = h(t)$$

- **Phương trình quỹ đạo:** Cho biết hình dạng quỹ đạo của chất điểm trong toàn bộ quá trình chuyển động của nó.



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

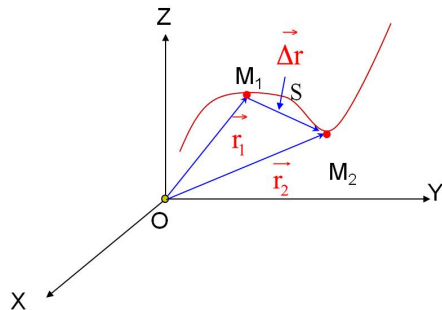
### 2.2.3. Vận tốc

- Vận tốc trung bình:

$$\vec{v}_{tb} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1}$$

- Vận tốc tức thời:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$
$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt}$$



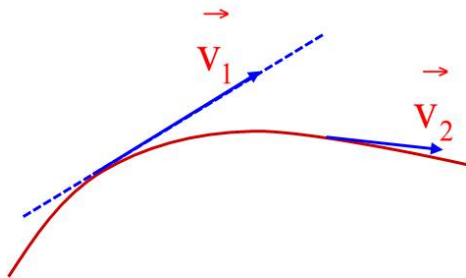
## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.3. Vận tốc

- Véc-tơ vận tốc (tức thời):
  - Phương: Tiếp tuyến với quỹ đạo
  - Chiều: Chiều chuyển động
  - Độ lớn (tốc độ):

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

→ **Vận tốc** là đại lượng véc-tơ đặc trưng cho phương chiều và độ nhanh chậm của chuyển động (vận tốc là tốc độ biến thiên của véc-tơ vị trí).





## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

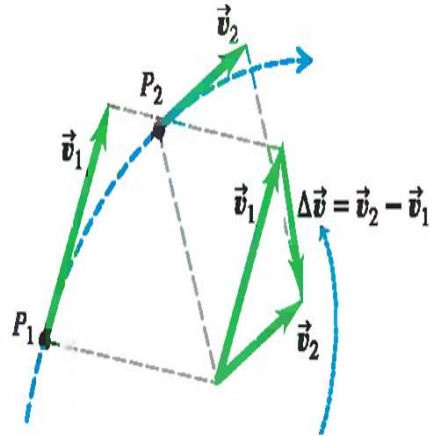
### 2.2.4. Gia tốc

- Gia tốc trung bình:

$$\vec{a}_{tb} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

- Gia tốc tức thời:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$
$$a_x = \frac{dv_x}{dt}, a_y = \frac{dv_y}{dt}, a_z = \frac{dv_z}{dt}$$



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.4. Gia tốc

- Gia tốc là tốc độ biến thiên của vận tốc.
- Độ biến thiên về tốc độ:** Gia tốc tiếp tuyến:

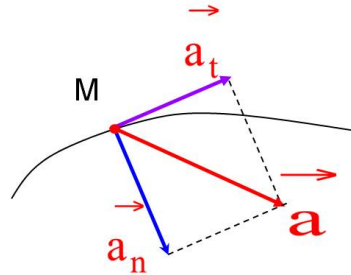
$$a_t = \frac{dv}{dt} = v'$$

- Độ biến thiên về phương chuyển động:** Gia tốc pháp tuyến:

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

với  $R$  là bán kính cong tức thời của quỹ đạo. Với chuyển động tròn thì  $R$  chính là bán kính của đường tròn.

→ Trong quá trình chuyển động, véc-tơ gia tốc luôn hướng về phía lõm của quỹ đạo.



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.5. Một số dạng chuyển động đơn giản

- Chuyển động thẳng đều: Chuyển động trên đường thẳng với tốc độ không đổi.
- Gia tốc:  $a = 0$  ( $a_n = 0$ ;  $a_t = 0$ )

- Vận tốc:

$$\int_{v(0)}^{v(t)} dv = \int_0^t a \cdot dt \rightarrow v(t) - v(0) = 0 \rightarrow v = v_0 = \text{const}$$

- Phương trình chuyển động:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} dx = \int_0^t v \cdot dt \rightarrow x(t) - x(0) = 0 \rightarrow x = x_0 + v \cdot t$$

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.5. Một số dạng chuyển động đơn giản

- Chuyển động thẳng biến đổi đều: Chuyển động trên đường thẳng với gia tốc không đổi.
- Gia tốc:  $a = \text{const}$  và  $a \neq 0$  ( $a_n = 0$ ;  $a_t = \text{const}$ )

- Vận tốc:

$$\int_{v(0)}^{v(t)} dv = \int_0^t a \cdot dt \rightarrow v(t) - v(0) = a \cdot t \rightarrow v = v_0 + a \cdot t$$

- Phương trình chuyển động:

$$\int_{x(0)}^{x(t)} dx = \int_0^t (v_0 + a \cdot t) \cdot dt \rightarrow x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a t^2$$

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.5. Một số dạng chuyển động đơn giản

- **Chuyển động tròn:** Chuyển động trên đường tròn và sử dụng các đại lượng sau:

- Góc quay:

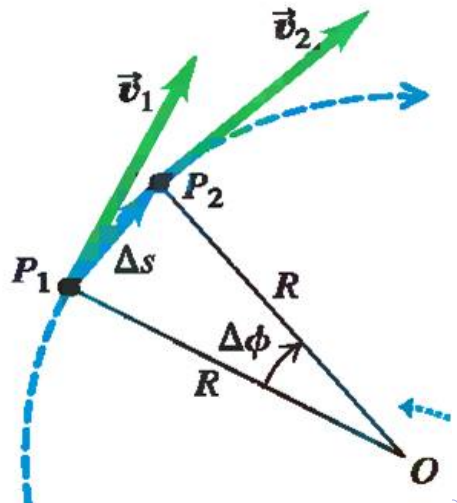
$$\Delta\phi = \Delta s/R \text{ và } d\phi = ds/R$$

- Tốc độ góc (độ lớn của vận tốc góc):

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{R} \frac{ds}{dt} = \frac{v}{R}$$

- Gia tốc góc:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{R} \frac{dv}{dt} = \frac{a_t}{R}$$



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.5. Một số dạng chuyển động đơn giản

- **Chuyển động tròn.** Mối quan hệ giữa vận tốc dài  $\vec{v}$  và vận tốc góc  $\vec{\omega}$ :

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

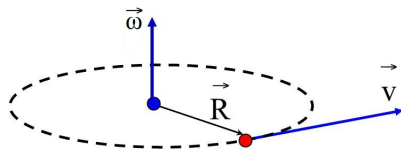
- Gia tốc góc:

$$\vec{\alpha} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

- Gia tốc pháp tuyến (hướng tâm):

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

- Gia tốc tiếp tuyến:  $\vec{a}_t = \vec{\alpha} \times \vec{R}$ .



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.5. Một số dạng chuyển động đơn giản

- Các tích véc-tơ  $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{R}$  và  $\vec{a}_t = \vec{\alpha} \times \vec{R}$  tuân theo **quy tắc tam diện thuận** hay **quy tắc đinh ốc**. Khi vặn đinh ốc theo chiều từ véc-tơ  $\vec{\omega}$  sang véc-tơ  $\vec{R}$  thì chiều tiến của đinh ốc là chiều của véc-tơ  $\vec{v}$ . Tương tự khi vặn đinh ốc theo chiều từ véc-tơ  $\vec{R}$  sang véc-tơ  $\vec{v}$  thì chiều tiến của đinh ốc là chiều của véc-tơ  $\vec{\omega}$  và vặn đinh ốc theo chiều từ véc-tơ  $\vec{v}$  sang véc-tơ  $\vec{\omega}$  thì chiều tiến của đinh ốc là chiều của véc-tơ  $\vec{R}$ .
- Các phương trình trong chuyển động tròn tương tự như trong chuyển động thẳng:

$$\omega = \alpha t + \omega_0$$

$$\phi = \frac{\alpha t^2}{2} + \omega_0 t$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha\Delta\phi$$

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.5. Một số dạng chuyển động đơn giản

**Bảng:** Tổng hợp các phương trình chuyển động

Thẳng đều	Thẳng, biến đổi đều	Tròn đều	Tròn, biến đổi đều
$a = 0$	$a_n = 0; a_t = \text{const} \neq 0$	$\alpha = 0$	$a_n, a_t = \text{const} \neq 0$
$v = \text{const}$	$v = v_0 + at$	$\omega = \text{const}$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$x = x_0 + vt$	$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	$\phi = \phi_0 + \omega t$	$\phi = \phi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$
$s = vt$	$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	$\Delta\phi = \omega t$	$\Delta\phi = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$

Các hệ thức:

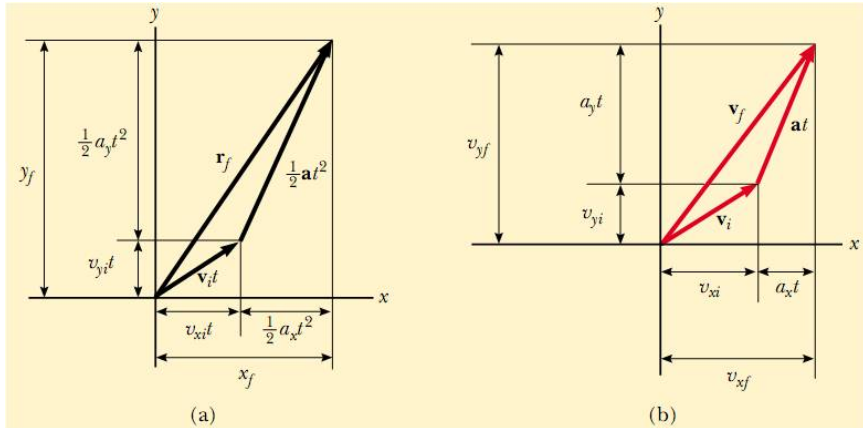
$$2a\Delta s = v^2 - v_0^2; 2\alpha.\Delta\phi = \omega^2 - \omega_0^2; v = \omega R$$

$$a_t = \alpha R; a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.6. Chuyển động trong không gian hai chiều với gia tốc không đổi



Biểu diễn dưới dạng véc-tơ và các thành phần của (a) độ dời và (b) Vận tốc của một chất điểm chuyển động với gia tốc không đổi  $\vec{a}$ .

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.6. Chuyển động trong không gian hai chiều với gia tốc không đổi

- Bán kính véc-tơ của một chất điểm trong mặt phẳng xy:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

- Vận tốc:

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j}$$

- Vận tốc tại hai thời điểm ban đầu và cuối cùng:

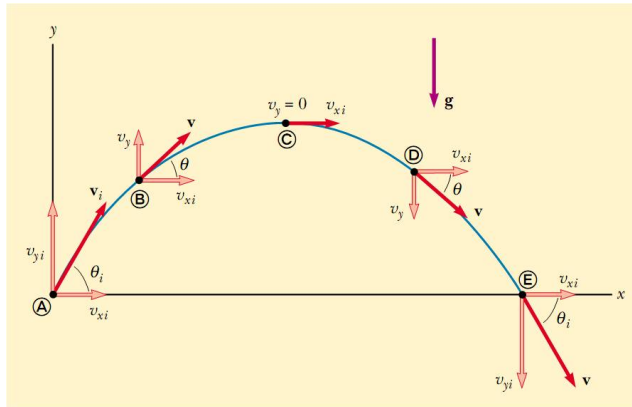
$$\begin{aligned}\vec{v}_f &= (v_{xi} + a_x t)\vec{i} + (v_{yi} + a_y t)\vec{j} \\ &= (v_{xi}\vec{i} + v_{yi}\vec{j}) + (a_x\vec{i} + a_y\vec{j})t \\ \vec{v}_f &= \vec{v}_i + \vec{a}t\end{aligned}$$

- Một cách tương tự, có thể thu được mối quan hệ về bán kính véc-tơ:

$$\vec{r}_f = \vec{r}_i + \vec{v}_i t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$$

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.7. Chuyển động của chất điểm trong trường lực không đổi: chuyển động ném xiên



Chuyển động ném xiên trong gia tốc trọng trường  $\vec{g}$  là tổng hợp của 2 chuyển động: (1) chuyển động theo phương ngang với vận tốc không đổi; (2) chuyển động rơi tự do theo phương thẳng đứng với gia tốc không đổi.

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.7. Chuyển động của chất điểm trong trường lực không đổi: chuyển động ném xiên

- Gia tốc:

$$a_x = 0; a_y = -g$$

- Vận tốc:

$$v_{xi} = v_i \cos \theta_i; v_{yi} = v_i \sin \theta_i$$

$$v_x = v_i \cos \theta_i; v_y = v_i \sin \theta_i - gt$$

- Tọa độ:

$$x = (v_i \cos \theta_i)t$$

$$y = (v_i \sin \theta_i)t - \frac{1}{2}gt^2$$

- Thay  $t = x/(v_i \cos \theta_i)$  vào ta thu được phương trình quỹ đạo:

$$y = (\tan \theta_i)x - \left( \frac{g}{2v_i^2 \cos^2 \theta_i} \right)x^2$$

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

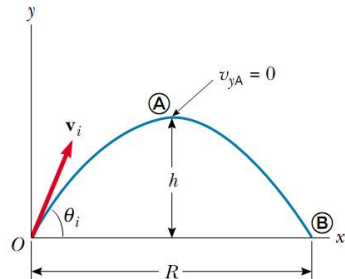
### 2.2.7. Chuyển động của chất điểm trong trường lực không đổi: chuyển động ném xiên

- Khi vật đạt độ cao cực đại,  $v_y = 0$ . Thời gian đạt độ cao cực đại:

$$t_A = \frac{v_i \sin \theta_i}{g}$$

- Độ cao cực đại:

$$h = (v_i \sin \theta_i) \frac{v_i \sin \theta_i}{g} - \frac{1}{2} g \left( \frac{v_i \sin \theta_i}{g} \right)^2$$
$$h = \frac{v_i^2 \sin^2 \theta_i}{2g}$$

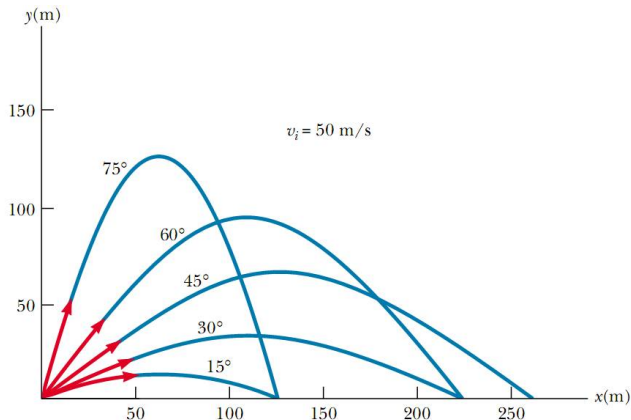


- Khi vật chạm đất (đạt tầm xa  $R$ ), thời gian chuyển động là  $t_B = 2t_A$ :

$$R = (v_i \cos \theta_i) t_B = (v_i \cos \theta_i) \frac{2v_i \sin \theta_i}{g}$$
$$= \frac{2v_i^2 \sin \theta_i \cos \theta_i}{g} = \frac{v_i^2 \sin 2\theta_i}{g}$$

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### 2.2.7. Chuyển động của chất điểm trong trường lực không đổi: chuyển động ném xiên



Chuyển động ném xiên với các góc ném khác nhau. Tầm xa cực đại  $R_{\max}$  đạt được khi góc ném là  $\theta_i = 45^\circ$ .

## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### Ví dụ

Một hòn đá được ném từ nóc một ngôi nhà với góc ném  $30^\circ$  hướng lên trên và tốc độ ban đầu là 20 m/s. Cho độ cao tòa nhà là 45 m. Tính thời gian bay của hòn đá trước khi nó chạm đất và vận tốc của nó khi chạm đất.

*Lời giải*

Vận tốc ban đầu:

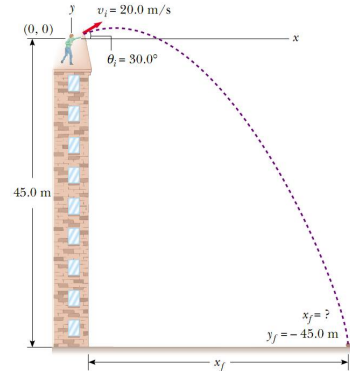
$$v_{xi} = v_i \cos \theta_i = (20 \text{ m/s})(\cos 30^\circ) = 17.3 \text{ m/s}$$

$$v_{yi} = v_i \sin \theta_i = (20 \text{ m/s})(\sin 30^\circ) = 10 \text{ m/s}$$

Giải phương trình  $y = (v_{yi})t - \frac{1}{2}gt^2$  với  $y_f = -45 \text{ m}$ :

$$-45 = (10 \text{ m/s})t - \frac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)t^2$$

tìm được  $t = 4.22 \text{ s}$ .



## 2.2. Véc-tơ, hệ tọa độ, chuyển động trong hệ tọa độ vuông góc

### Ví dụ

Vận tốc khi chạm đất:

$$v_{xf} = v_{xi} = 17.3 \text{ m/s}$$

$$v_{yf} = 10 \text{ m/s} - (9.8 \text{ m/s}^2)(4.22 \text{ s}) = -31.4 \text{ m/s}$$

$$v_f = \sqrt{v_{xf}^2 + v_{yf}^2} = 35.9 \text{ m/s}$$



## 2.3. Động lực học chất điểm

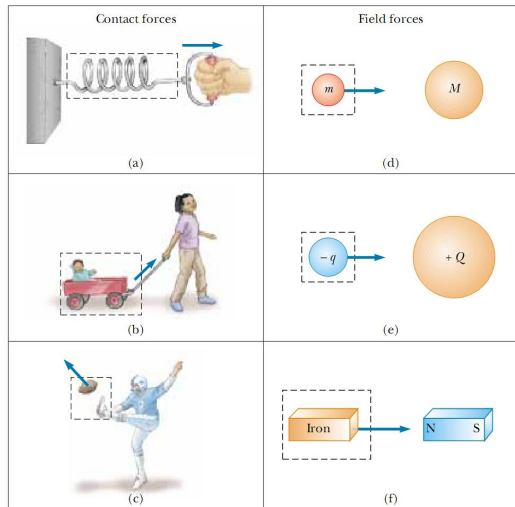
### 2.3.1. Khái niệm lực, khối lượng và trọng lượng

- **Lực (Force)** là một đại lượng vật lý *có hướng* mô tả sự tương tác giữa các vật, ví dụ:
  - Khi đá vào quả bóng, chân đã tác dụng lực lên nó.
  - Mọi vật trên Trái Đất đều chịu tác dụng của lực trọng trường.
  - Nam châm hút hoặc đẩy nhau bằng lực từ.
- Lực gây ra sự thay đổi về vận tốc khi tổng hợp lực lên vật khác 0. Khi tổng hợp lực bằng 0, vật giữ nguyên trạng thái đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều (vận tốc không đổi).
- Lực có thể chia làm 2 nhóm: **lực có tiếp xúc (contact forces)** và lực không có tiếp xúc hay **lực trường (field forces)**.
- **Khối lượng (Mass)** là một đặc tính cố hữu của một vật và không phụ thuộc vào môi trường xung quanh vật đó, cũng như phương pháp dùng để đo nó. Khối lượng là một đại lượng *vô hướng*.
- **Trọng lượng (Weight)** bằng với lực trọng trường tác dụng lên vật và thay đổi theo vị trí (giữa các điểm trên Trái Đất, giữa các hành tinh).

## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.1. Khái niệm lực, khối lượng và trọng lượng

- (a,b,c) Lực có tiếp xúc.
- (d,e,f) Lực trường.



## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

#### Định luật Newton thứ nhất

- Mọi vật giữ nguyên trạng thái đứng yên hay chuyển động thẳng đều nếu tổng hợp các lực tác dụng lên vật bằng 0.
- Trạng thái chuyển động *giữ nguyên như cũ* được gọi là chuyển động theo *quán tính* → **Định luật quán tính**.
- Khi tổng hợp lực tác dụng lên vật bằng không, chúng ta nói rằng vật ở **trạng thái cân bằng**.
- Hệ qui chiếu trong đó định luật I của Newton được nghiệm đúng gọi là **hệ qui chiếu quán tính**.

## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

#### Định luật Newton thứ hai

- Chuyển động của một chất điểm chịu tác dụng của các lực có tổng hợp khác không là một chuyển động có gia tốc.
- Gia tốc của chất điểm tỷ lệ thuận với lực tổng hợp và tỷ lệ nghịch với khối lượng của chất điểm:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$
$$a_x = \frac{\sum F_x}{m}; a_y = \frac{\sum F_y}{m}; a_z = \frac{\sum F_z}{m}$$

→ *Phương trình cơ bản của cơ học chất điểm*

Đơn vị của lực trong hệ SI là newton (N):

$$1 \text{ N} \equiv 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

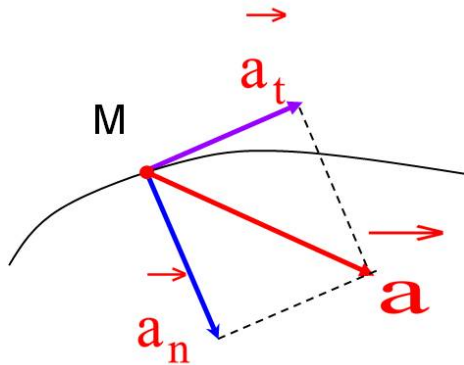
- Lực tác dụng lên chuyển động cong:

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

- Thành phần thứ nhất theo phương tiếp tuyến, có tác dụng thay đổi tốc độ của vật.
- Thành phần thứ hai theo phương pháp tuyến (đóng vai trò là lực hướng tâm), có tác dụng làm vật chuyển động cong:

$$F_n = ma_n = m\frac{v^2}{r}$$

*Chú ý: lực hướng tâm không phải là một loại lực giống lực hấp dẫn, lực ma sát, phản lực, v..v, mà là một vai trò của lực.*



## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

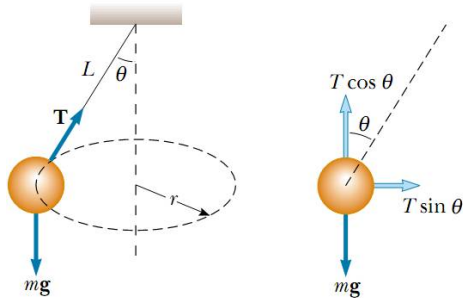
- Xét chuyển động tròn trên quỹ đạo nằm ngang.
- Theo phương trình định luật II Newton:

$$T \cos \theta = mg$$

$$\sum F_r = T \sin \theta = ma_r = \frac{mv^2}{r}$$

- Từ đó:

$$\tan \theta = \frac{v^2}{gr} \text{ hay } v = \sqrt{gr \tan \theta} = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$$



## 2.3. Động lực học chất điểm

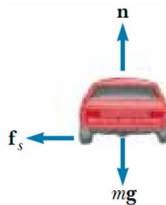
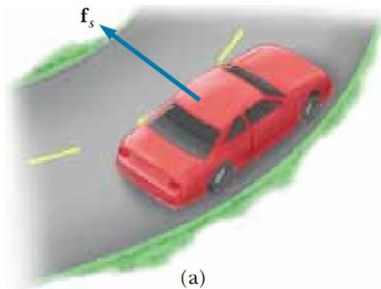
### 2.3.2. Các định luật của Newton

- Xét ô tô chạy trên đường cong phẳng có ma sát.
- Theo phương trình định luật II Newton:

$$\text{Lực ma sát nghỉ: } f_s = m \frac{v^2}{r}$$

- Vận tốc cực đại để ô tô không trượt:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{f_{s,\max} r}{m}} = \sqrt{\frac{\mu_s m g r}{m}} = \sqrt{\mu_s g r}$$



## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

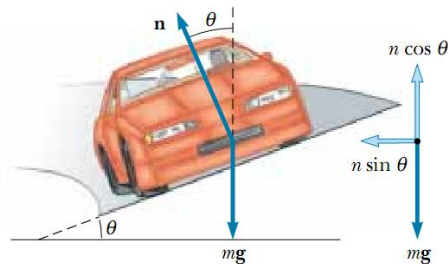
- Xét ô tô chạy trên đường cong nghiêng không ma sát.
- Theo phương trình định luật II Newton:

$$n \cos \theta = mg$$

$$\sum F_r = n \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$$

- Vận tốc cực đại để ô tô không trượt:

$$v_{\max} = \sqrt{gr \tan \theta}$$





## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

- Theo phương trình định luật II Newton:

$$\sum F_t = mg \sin \theta = ma_t \rightarrow a_t = g \sin \theta$$

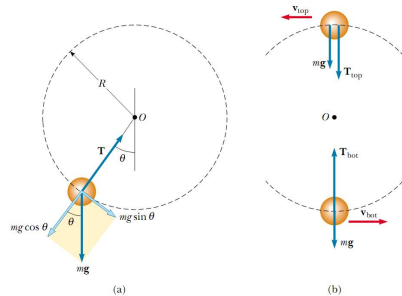
$$\sum F_r = T - mg \cos \theta = \frac{mv^2}{R}$$

$$T = m\left(\frac{v^2}{R} + g \cos \theta\right)$$

- Trường hợp đặc biệt:

$$\text{Đáy quỹ đạo: } T_{\text{bot}} = m\left(\frac{v_{\text{bot}}^2}{R} + g\right)$$

$$\text{Đỉnh quỹ đạo: } T_{\text{top}} = m\left(\frac{v_{\text{top}}^2}{R} - g\right)$$



Chuyển động tròn trên quỹ đạo thẳng đứng.

Điều kiện để vật chuyển động tròn ven quỹ đạo tròn:

$$T_{\text{top}} \geq 0 \rightarrow v_{\text{top}}^2 \geq gR.$$

## 2.3. Động lực học chất điểm

### 2.3.2. Các định luật của Newton

#### Định luật Newton thứ ba

- Định luật III xét mối quan hệ giữa các *lực tương tác* giữa hai vật.
- Nếu vật thứ nhất tác động một lực lên vật thứ hai thì vật thứ hai tác dụng một lực bằng và ngược hướng lên vật thứ nhất:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

*Phản lực luôn bằng độ lớn nhưng ngược chiều với lực.*

## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.1. Thời gian và không gian trong cơ học cổ điển

- Thời gian là tuyệt đối: Thời gian do đồng hồ chỉ trong hai hệ quy chiếu  $O$  và  $O'$  là như nhau.
- Vị trí trong không gian là tương đối. Hệ quả: Chuyển động có tính chất tương đối, phụ thuộc vào hệ quy chiếu.
- Khoảng không gian là tuyệt đối.

*Khi quan sát một chuyển động cơ học ở hai hệ quy chiếu quán tính khác nhau thì hiện tượng sẽ xảy ra như thế nào?*

## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.2. Phép biến đổi Galilei

- Phép biến đổi Galilei (tọa độ):

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

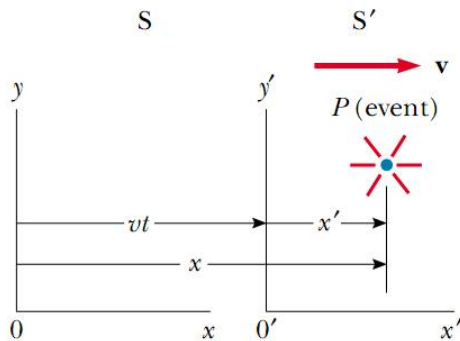
$$t' = t$$

- Phép biến đổi Galilei (vận tốc):

$$\frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} - v \text{ hay } u'_x = u_x - v$$

$$u'_y = u_y$$

$$u'_z = u_z$$



## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.3. Tổng hợp vận tốc và gia tốc

- Xét 2 hệ quy chiếu  $O$  và  $O'$ . Chất điểm  $M$  được xác định bởi các véc-tơ  $\vec{r}$  và  $\vec{r}'$ :

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

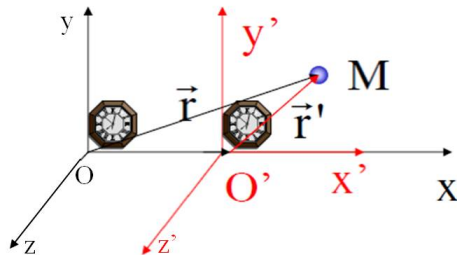
$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d\vec{OO'}}{dt}$$

- Tổng hợp vận tốc:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}_{O'/O}$$

- Tổng hợp gia tốc:

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}_{O'/O}$$



## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

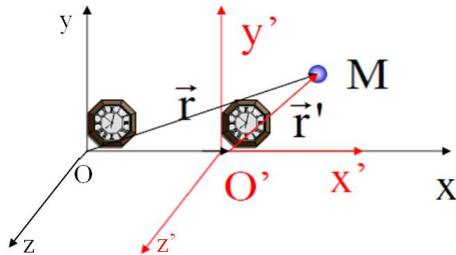
### 2.4.4. Nguyên lý tương đối Galilei

- Xét 2 hệ quy chiếu  $O$  và  $O'$ . Giả sử  $O$  là hệ quy chiếu quán tính:

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

- Nếu  $O'$  chuyển động thẳng đều đối với  $O$  thì  $O'$  cũng là hệ quy chiếu quán tính:

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



## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.4. Nguyên lý tương đối Galilei

- Các phương trình động lực học trong các hệ qui chiếu quán tính có dạng như nhau.
- Các phương trình cơ học bất biến đối với phép biến đổi Galilei.
- Các hệ qui chiếu quán tính là bình đẳng như nhau, không có hệ nào hơn hệ nào.

## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.5. Lực quán tính

- Xét 2 hệ quy chiếu O và O'. Giả sử O là hệ quy chiếu quán tính. Hệ O' được gọi là **hệ quy chiếu không quán tính** nếu chuyển động có gia tốc so với O. Trong hệ O:

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

- Trong hệ O':

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

- Trong các hệ quy chiếu không quán tính, chất điểm phải chịu thêm tác dụng của **lực quán tính**  $\vec{F}_{qt} = -m\vec{A}$  (lực xuất hiện trong thang máy, khi đi vào đường vòng, ...).



## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.5. Lực quán tính

*Lực quán tính trong chuyển động thẳng: con lắc treo trên trần xe chuyển động có gia tốc.*

- (a) Đối với người quan sát đứng yên dưới đất (hệ quy chiếu gắn với mặt đất - quán tính):

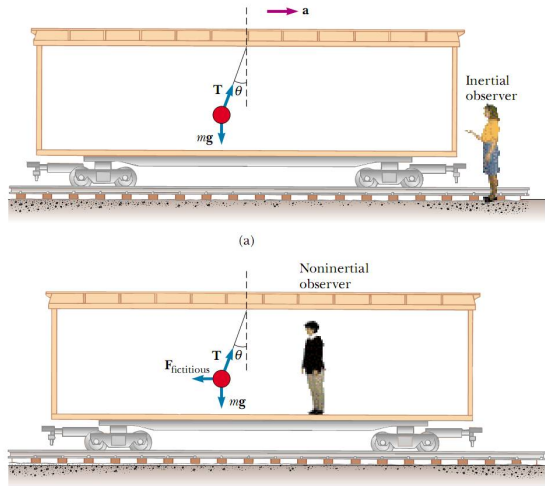
$$F_x = T \sin \theta = ma$$

$$F_y = T \cos \theta - mg$$

- (b) Đối với người quan sát đứng yên trên xe (hệ quy chiếu gắn với xe - không quán tính):

$$F_x = T \sin \theta - F_{qt} = 0$$

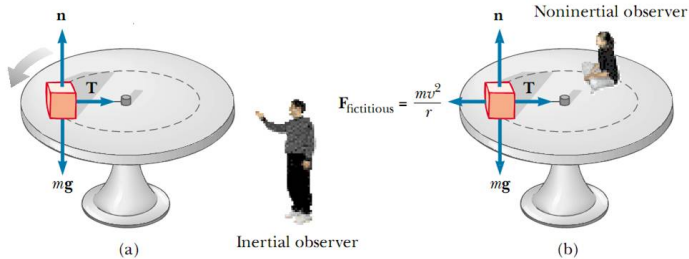
$$F_y = T \cos \theta - mg$$



## 2.4. Lực quán tính, chuyển động dưới tác dụng của lực quán tính

### 2.4.5. Lực quán tính

*Lực quán tính trong chuyển động tròn: vật trên bàn xoay.*



- (a) Đối với người quan sát đứng yên dưới đất (hệ quy chiếu gắn với mặt đất - quán tính): lực căng dây  $\vec{T}$  đóng vai trò **lực hướng tâm** giữ cho vật chuyển động tròn,  $T = mv^2/r$ .
- (b) Đối với người quan sát đứng yên trên bàn xoay (hệ quy chiếu gắn với bàn xoay - không quán tính): vật đứng yên và tác dụng vào vật có thêm **lực quán tính ly tâm** hướng ra xa tâm quay và có độ lớn  $F_{\text{qtl}} = mv^2/r$  và  $T - F_{\text{qtl}} = 0$ .

## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### 2.5.1. Lực ma sát

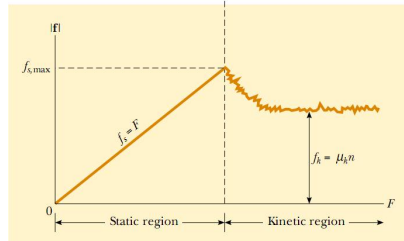
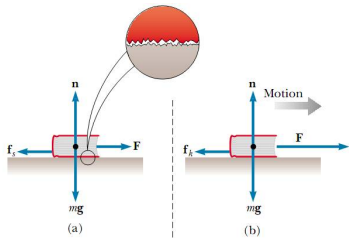
- Lực ma sát: lực cản trở chuyển động khi vật chuyển động hoặc có xu hướng chuyển động trên bề mặt hoặc trong một môi trường nhớt (không khí, nước, v.v) do sự tương tác của vật với môi trường xung quanh. Lực ma sát có nguồn gốc một phần từ sự gồ ghề trên các bề mặt ở cấp độ vi mô, một phần từ liên kết hóa học giữa các phân tử trên hai bề mặt khi chúng tiến lại gần nhau.
- Lực ma sát nghỉ: cản trở xu hướng chuyển động.

$$f_s \leq \mu_s n$$

$\mu_s$  là hệ số ma sát nghỉ,  $n$  là phản lực vuông góc.

- Lực ma sát trượt:

$$f_k = \mu_k n$$



## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

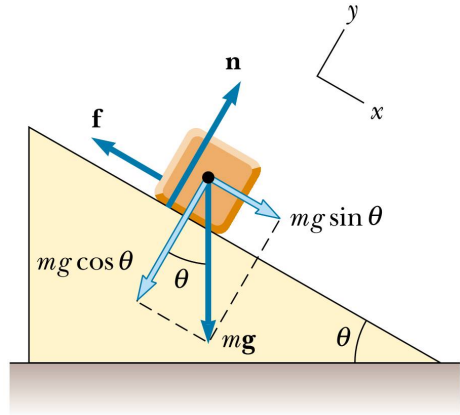
### 2.5.2. Hệ số ma sát

Mặt tiếp xúc	$\mu_s$	$\mu_k$
Thép trên thép	0.74	0.57
Nhôm trên thép	0.61	0.47
Đồng trên thép	0.53	0.36
Cao su trên bê tông	1.0	0.8
Gỗ trên gỗ	0.25–0.5	0.2
Thủy tinh trên thủy tinh	0.94	0.4
Gỗ bóng trên tuyết ướt	0.14	0.1
Gỗ bóng trên tuyết khô	—	0.01
Kim loại trên kim loại (có bôi trơn)	0.15	0.06
Nước đá trên nước đá	0.1	0.03
Teflon trên teflon	0.04	0.04
Khớp trên trong cơ thể người	0.01	0.003

## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### Ví dụ: Xác định hệ số ma sát

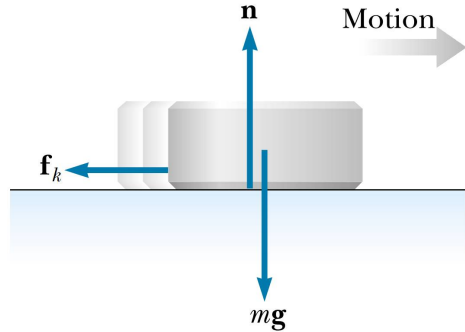
Một khối  $m$  được đặt trên mặt phẳng nghiêng nhám. Góc nghiêng được tăng dần cho đến khi vật bắt đầu trượt. Hãy xác định hệ số ma sát khi đó.



## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### Ví dụ: Khúc côn cầu trên băng

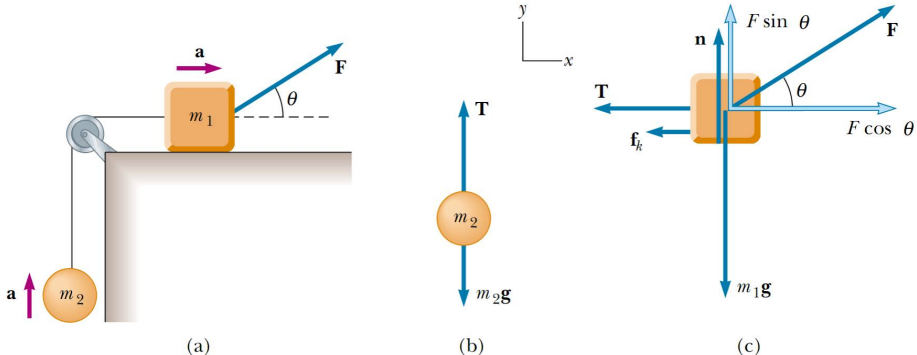
Một quả khúc côn cầu trên băng có vận tốc ban đầu là 20 m/s. Cho quãng đường nó chuyển động được trên băng là 115 m. Hãy xác định hệ số ma sát trượt giữa nó và băng.



## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### Ví dụ: Hệ hai vật có liên kết

Một vật khối lượng  $m_1$  nằm trên mặt phẳng nhám nằm ngang, được nối với một quả cầu khối lượng  $m_2$  thông qua một ròng rọc không ma sát, khối lượng không đáng kể. Một lực  $F$  được đặt vào vật  $m_1$  với góc nghiêng  $\theta$  so với phương ngang. Hệ số ma sát trượt giữa vật và bề mặt là  $\mu_k$ . Hãy xác định độ lớn gia tốc của hai vật.



## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### Ứng dụng: hệ thống chống bó cứng phanh (Antilock Braking System, ABS)

- Trong chuyển động của ô tô, khi bánh xe lăn không trượt, lực ma sát cực đại mà mặt đường có thể tác dụng lên lốp là lực ma sát nghỉ  $\mu_s n$ . Tuy nhiên, nếu lốp xe bắt đầu trượt, lực ma sát giảm xuống giá trị của ma sát trượt  $\mu_k n$ . Vì vậy, để thu được lực ma sát lớn nhất, và giảm thiểu khoảng cách di chuyển trước khi dừng, bánh xe cần phải tiếp tục quay và không trượt. Ngoài ra, việc này còn giúp tránh bị mất lái.
- Trong tình huống khẩn cấp, lái xe có xu hướng đạp mạnh phanh, khiến bánh xe dừng quay và trượt trên mặt đường, làm tăng khoảng cách di chuyển trước khi dừng (mặc dù vẫn ngắn hơn là khi không phanh). Hệ thống chống bó cứng phanh (ABS) ra đời nhằm giải quyết vấn đề này nhờ điều khiển tự động bằng bộ vi xử lý việc nhấn-nhả phanh một cách chính xác để giảm thiểu thời gian nhả phanh, nhưng vẫn đảm bảo được bánh xe luôn quay, nhằm giảm thiểu khoảng cách di chuyển trước khi dừng.



## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### Ứng dụng: hệ thống chống bó cứng phanh (Antilock Braking System, ABS)

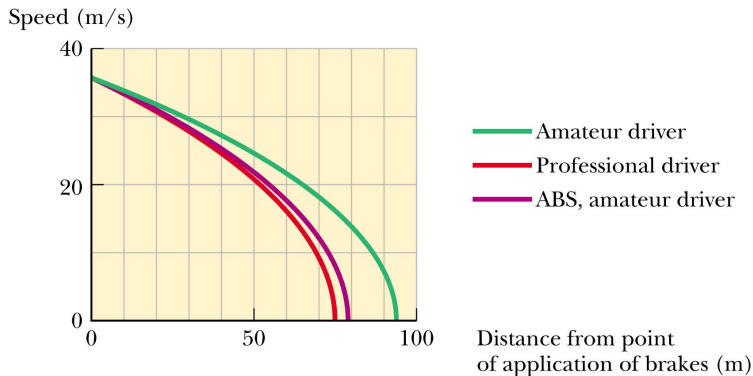
Vận tốc ban đầu (km/h)	K/c dừng (m)	Gia tốc khi phanh ( $\text{m/s}^2$ )
48,24	10,4	-8,67
96,48	43,6	-8,25
128,88	76,5	-8,36

- Lấy giá trị trung bình của gia tốc khi phanh là  $-8,4 \text{ m/s}^2$ , nghĩa là  $0,86g$ , vậy hệ số ma sát nghỉ là  $\mu_s = 0,86$ . Giả sử độ chênh lệch giữa  $\mu_s$  và  $\mu_k$  vẫn là  $0,2$  (theo bảng số liệu về hệ số ma sát giữa cao su và bê tông), thì  $\mu_k = 0,66$ , từ đó xác định được khoảng cách dừng nếu có trượt.

Vận tốc ban đầu (km/h)	K/c dừng không trượt (m)	K/c dừng có trượt (m)
48,24	10,4	13,9
96,48	43,6	55,5
128,88	76,5	98,9

## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhót

### Ứng dụng: hệ thống chống bó cứng phanh (Antilock Braking System, ABS)



Đồ thị mô tả sự phụ thuộc của vận tốc vào khoảng cách trong quá trình phanh, với vận tốc ban đầu là 128,88 km/h, đối với lái xe nghiệp dư, lái xe chuyên nghiệp, và lái xe nghiệp dư có sự hỗ trợ của ABS.

## 2.5. Lực ma sát, động học lực ma sát. Độ nhớt

### 2.5.3. Độ nhớt

- Độ nhớt là đại lượng đặc trưng cho độ lớn của nội ma sát bên trong chất lưu (chất khí, chất lỏng). Lực nội ma sát đó, hay còn gọi là lực nhớt, gắn liền với sự cản trở chuyển động giữa hai lớp chất lưu cạnh nhau, khi chúng có chuyển động tương đối so với nhau. Sự nhớt khiến cho một phần động năng của chất lưu biến thành nội năng (nhiệt). Hiện tượng này tương tự như việc một vật mất dần động năng khi trượt trên một bề mặt nhám.
- Đối với dòng chảy tầng có độ nhớt động lực học (hay độ nhớt tuyệt đối)  $\mu$ , nội ma sát có dạng:

$$\tau = -\mu \frac{\partial v}{\partial n},$$

$v$  là vận tốc tại điểm đang xét,  $n$  là tọa độ theo phương vuông góc với các lớp chất lỏng.

- Độ nhớt của một chất lỏng  $\mu$  là độ giảm vận tốc chuyển động  $\Delta v$  tính từ bề mặt đến độ sâu  $h = 1 \text{ m}$  tại áp suất nén ngang  $p = 1 \text{ N/m}^2$ .
- Độ nhớt động học  $\nu$ :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ với } \rho \text{ là khối lượng riêng của chất lỏng.}$$

## 2.6. Động lượng

### 2.6.1. Động lượng và các định lý về động lượng

#### Khái niệm về động lượng

- Một chất điểm có khối lượng  $m$  chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  sẽ có động lượng:

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

- Động lượng là một đại lượng véc-tơ, đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực học.
- Động lượng đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động.

## 2.6. Động lượng

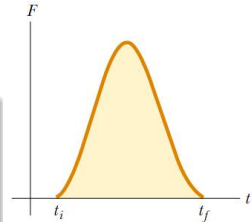
### 2.6.1. Động lượng và các định lý về động lượng

#### Định lý 1 về động lượng

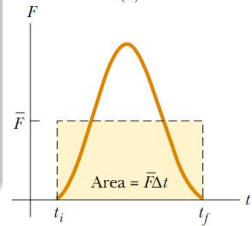
- Lấy đạo hàm của động lượng theo thời gian và giả thiết khối lượng của chất điểm không đổi, ta có:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F}$$

*Đạo hàm động lượng của chất điểm theo thời gian có giá trị bằng tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm đó.*



(a)



(b)

## 2.6. Động lượng

### 2.6.1. Động lượng và các định lý về động lượng

#### Định lý 2 về động lượng

- Từ biểu thức định lý 1:  $d\vec{p} = \vec{F}dt$ .
- Lấy tích phân hai vế:

$$\Delta\vec{p} = \int d\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt$$

*Độ biến thiên động lượng 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.*

#### Ý nghĩa của xung lượng

Tác dụng của lực không chỉ phụ thuộc vào cường độ mà còn phụ thuộc vào cả thời gian tác dụng lực.

## 2.6. Động lượng

### 2.6.1. Động lượng và các định lý về động lượng

#### Định luật bảo toàn động lượng

- Xét hệ chất điểm cô lập có khối lượng và vận tốc của từng chất điểm tương ứng là  $m_i$  và  $\vec{v}_i$ . Theo định lý 1 về động lượng ta có tổng hợp lực tác dụng lên tất cả các chất điểm của hệ:

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i = \sum \frac{d\vec{p}_i}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \sum \vec{p}_i \right)$$

- Vì hệ cô lập nên tổng hợp lực bằng không, do đó:

$$\vec{p} = \sum \vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \text{const}$$

## 2.6. Động lượng

### 2.6.1. Động lượng và các định lý về động lượng

- **Chú ý:** Thực tế ở trên Trái Đất không tồn tại hệ cô lập vì mọi vật đều chịu tác dụng của lực hút của Trái Đất. Tuy động lượng toàn phần của mọi hệ chất điểm trên Trái Đất không bảo toàn, nhưng ta vẫn có sự bảo toàn riêng phần của véc-tơ động lượng của hệ. Nếu  $F_x = 0$  thì:

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

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

- Ví dụ, khi bắn súng, khối lượng và vận tốc của súng là  $M$  và  $\vec{V}$ , khối lượng và vận tốc của đạn là  $m$  và  $\vec{v}$ . Khi đó:

$$M\vec{V} + m\vec{v} = 0 \rightarrow \vec{V} = -\frac{m\vec{v}}{M}$$

*Súng giật về phía sau với vận tốc  $\vec{V}$ .*

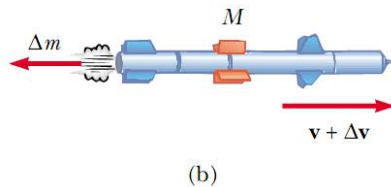
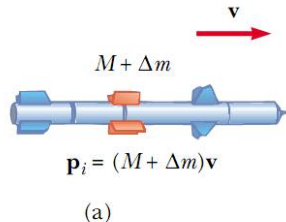


## 2.6. Động lượng

### 2.6.2. Chuyển động của tên lửa

- Tại thời điểm  $t$ , động lượng của tên lửa và nhiên liệu là  $(M + \Delta m)v$ , với  $v$  là vận tốc của tên lửa so với Trái Đất. Trong khoảng thời gian nhỏ  $\Delta t$ , tên lửa phụt ra lượng nhiên liệu  $\Delta m$  và sau đó vận tốc tên lửa là  $v + \Delta v$ . Nếu nhiên liệu được phụt ra với vận tốc  $v_e$  so với tên lửa thì vận tốc nhiên liệu so với Trái Đất là  $v - v_e$ . Theo định luật bảo toàn động lượng:

$$\begin{aligned}(M + \Delta m)v &= M(v + \Delta v) + \Delta m(v - v_e) \\ \rightarrow M\Delta v &= v_e\Delta m\end{aligned}$$



## 2.6. Động lượng

### 2.6.2. Chuyển động của tên lửa

- Khi  $\Delta t \rightarrow 0$ ,  $\Delta v \rightarrow dv$ , và  $\Delta m \rightarrow dm$ . Ngoài ra:  $dm = -dM$  (độ giảm của khối lượng tên lửa bằng khối lượng nhiên liệu cháy phụt ra), vì vậy:

$$Mdv = v_e dm = -v_e dM$$

$$\int_{v_i}^{v_f} dv = v_e \int_{M_i}^{M_f} \frac{dM}{M}$$

$$v_f - v_i = v_e \ln \left( \frac{M_i}{M_f} \right)$$

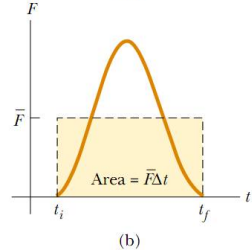
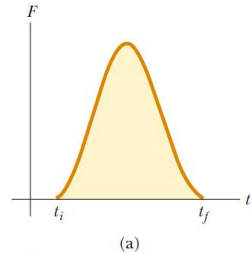
- Lực đẩy tên lửa:

$$F_{\text{đẩy}} = M \frac{dv}{dt} = \left| v_e \frac{dM}{dt} \right|$$

## 2.6. Động lượng

### Ví dụ: Quả bóng golf

Một quả bóng golf khối lượng  $m = 50 \text{ g}$  được đánh bởi gậy. Lực tác động vào bóng phụ thuộc thời gian như đồ thị. Quả bóng có thể bay xa nhất là 200 m. Xác định xung lượng mà gậy truyền cho bóng.



# The End