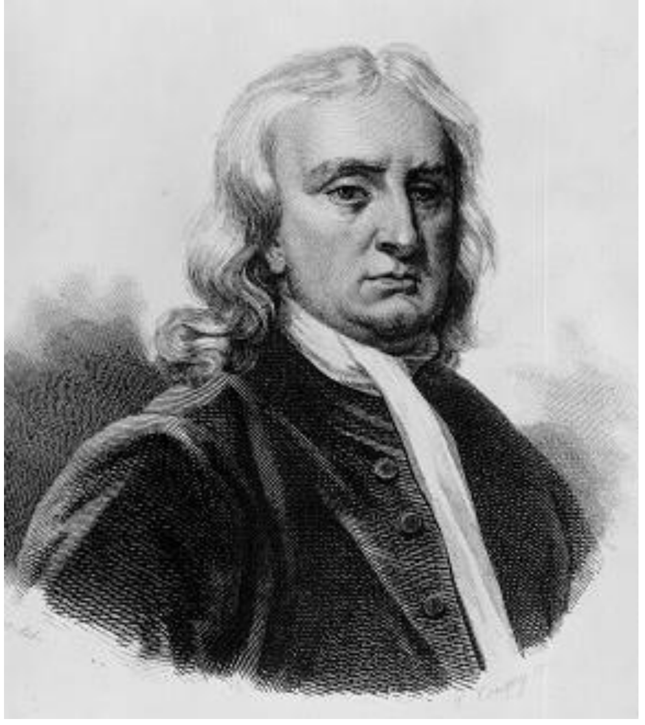
Chương III

ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM



Isaac Newton

§ 1.Các định luật Niutơn

I. Định luật Niutơn thứ nhất

*Vật cô lập:*là vật không chịu bất kỳ một tác dụng bên ngoài nào

Định luật: *Một chất điểm cô lập đang đứng yên sẽ tiếp tục đứng yên, nếu đang chuyển động thì chuyển động của nó là thẳng đều*

Trạng thái chuyển động của nó được bảo toàn -> định luật I còn được gọi là định luật quán tính

Hệ qui chiếu quán tính:

Định luật 1 Niuton chỉ nghiệm đúng đối với HQC đặc biệt gọi là hệ qui chiếu quán tính

Hệ qui chiếu quán tính: Là HQC gắn liền với các vật cô lập

II. Định luật Niutơn thứ hai

1. Định luật: *Chuyển động của một chất điểm chịu tác dụng của các lực có tổng hợp lực* $\vec{F} \neq 0$ *là chuyển động có gia tốc. Gia tốc của chất điểm tỷ lệ với tổng hợp lực tác dụng và tỷ lệ nghịch với khối lượng của chất điểm ấy*

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

Đơn vị của lực:

$$a = 1m/s^2, \quad m = 1kg \quad \rightarrow F = 1kgm/s^2 = 1N$$

2. Phương trình cơ bản của cơ học chất điểm:

$$\boxed{m\vec{a} = \vec{F} \qquad (1)}$$

(1) là phương trình cơ bản của cơ học chất điểm, $\vec{F}$ *là tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm*

Phương trình (1) cho phép xác định chuyển động khi biết lực tác dụng:

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{F}$$

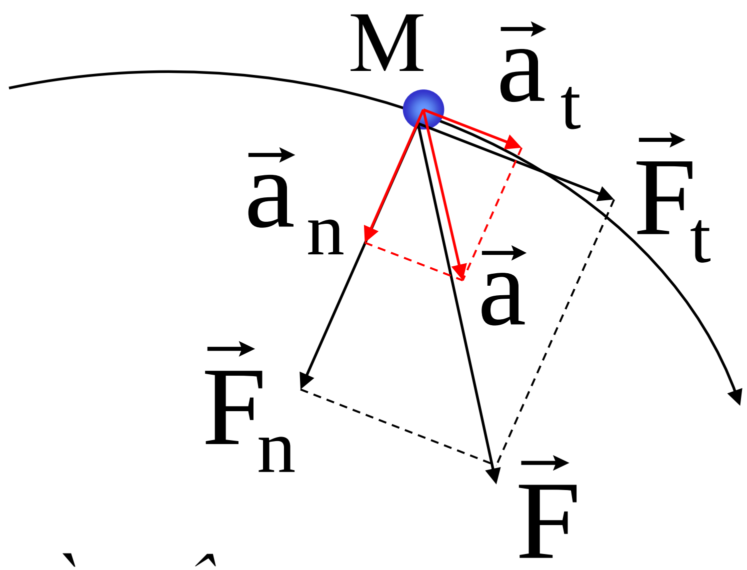
3. Lực tác dụng lên chất điểm trong chuyển động cong

Trong chuyển động cong, gia tốc của vật phân tích ra hai thành phần:

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

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

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



$\vec{F}_t = m\vec{a}_t$ *Lực tiếp tuyến, lực này gây ra gia tốc tiếp tuyến*

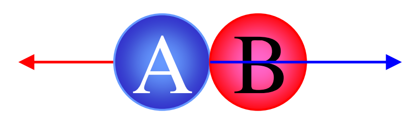
$\vec{F}_n = m\vec{a}_n$ *Lực pháp tuyến, lực này gây ra gia tốc pháp tuyến*

III. Định luật Niutơn thứ ba

Định luật: *Khi chất điểm A tác dụng lên chất điểm B một lực* $\vec{F}$ *thì chất điểm B cũng tác dụng lên chất điểm A một lực* $\vec{F}'$ *cùng phương, ngược chiều và cùng cường độ với* $\vec{F}$.

Tổng hợp lực tương tác giữa hai chất điểm bằng không

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



Trường hợp hệ chất điểm cô lập, giữa các chất điểm chỉ có nội lực $\vec{f}_{i,k}$ tác dụng. Nếu xét từng cặp chất điểmcủa hệ thì tổng hai lực tương tác giữa chúng bằng không. Nếu lấy tổng tất cả các lực, ta có:

$$\sum_{i,k} \vec{f}_{i,k} = 0$$

Tổng nội lực của một hệ chất điểm cô lập bằng không.

§ 2. Chuyển động tương đối và nguyên lý Galilê

I. 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 O, điểm M có tọa độ trong hệ O là: x, y, z.

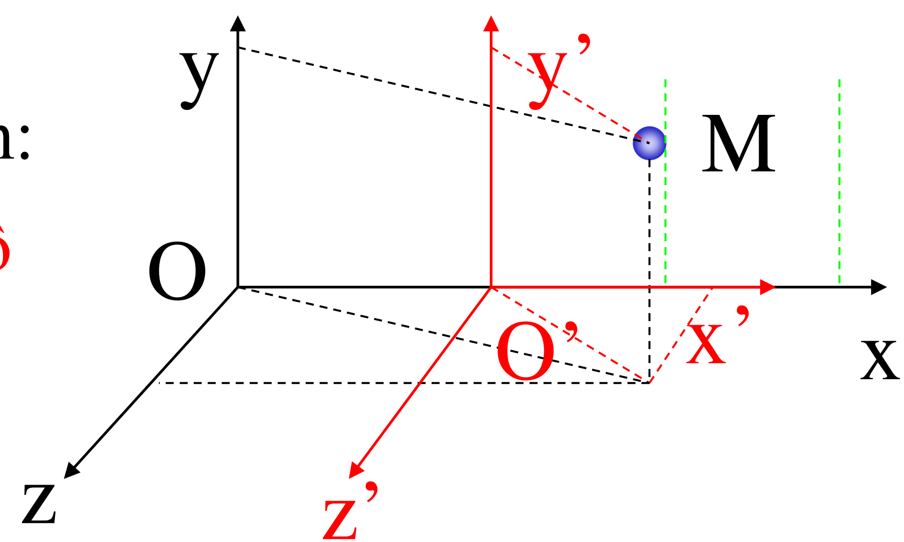
Trong hệ O’: M có tọa độ: x’, y’, z’ và thời gian chỉ bởi đồng hồ trong hệ O’ là t’.

Theo các quan điểm của Niutơn:

1. Thời gian chỉ bởi các đồng hồ trong 2 hệ O và O’ là như nhau.

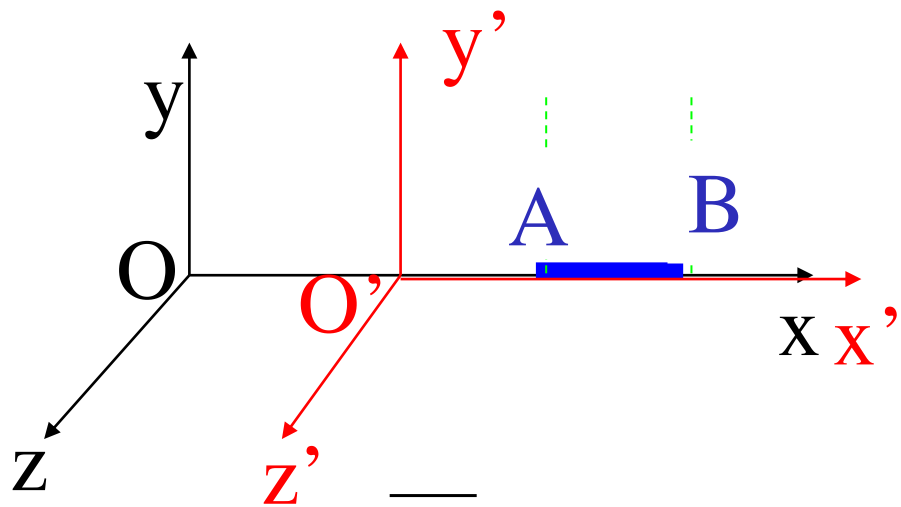
Thời gian có tính tuyệt đối, không phụ thuộc vào HQC:

$$t=t'$$



2. Tính tương đối của vị trí không gian

$$\begin{cases} x = x' + \overline{oo'} \\ y = y' \\ z = z' \end{cases} \qquad (1)$$



$\overline{oo'}$ là độ dài đại số

Vị trí không gian có tính tương đối, phụ thuộc vào HQC

3. 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 của thước là: $l_0 = x'_B - x'_A$

Trong hệ O, chiều dài thước là l, ta có:

$$l = x_B - x_A = (\overline{oo'} + x'_B) - (\overline{oo'} + x'_A)$$

$$l = x'_B - x'_A = l_0 \qquad (3)$$

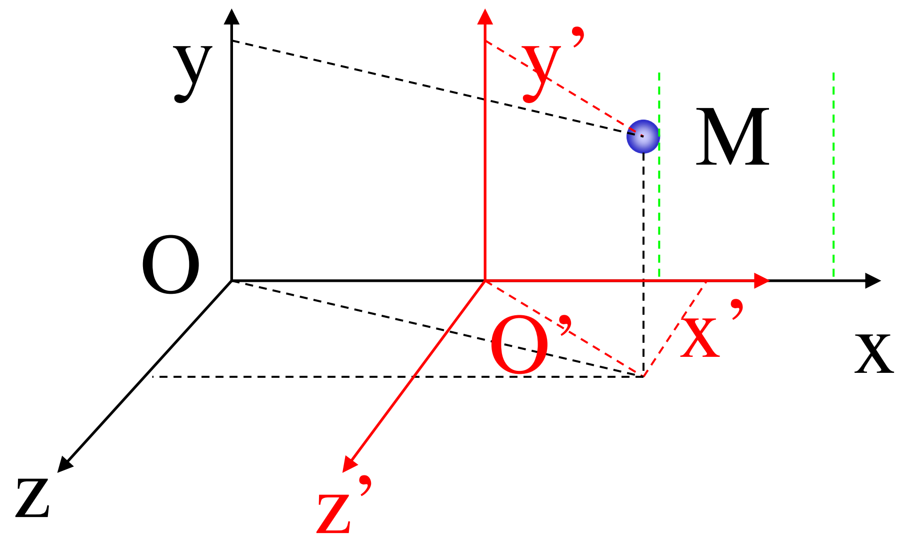
II) Các Phép biến đổi Galilê

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

$$\overline{OO'} = Vt$$

$$\begin{cases} x = x' + Vt' \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases} \quad (3)$$

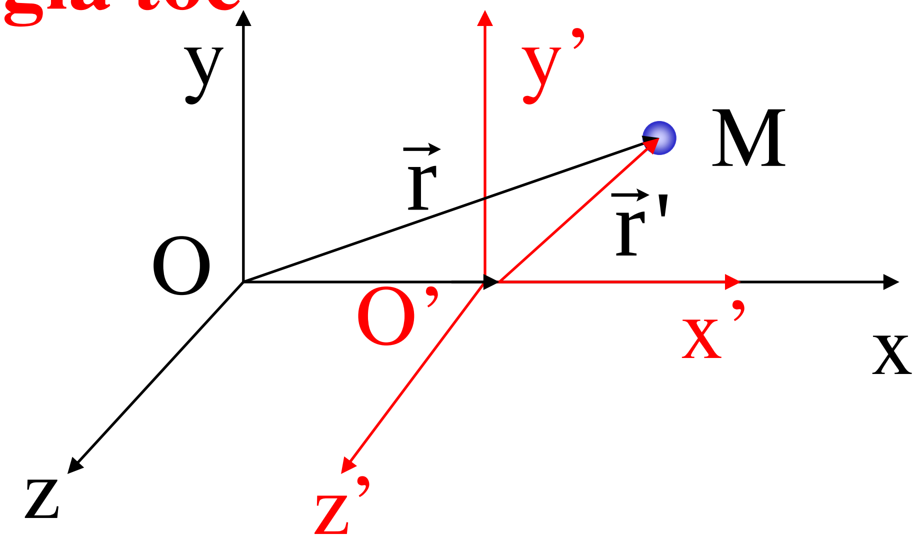


Ngược lại

$$\begin{cases} x' = x - Vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad (4)$$

(3), (4) gọi là các phép biến đổi Galilê

III. Tổng hợp vận tốc và gia tốc



Giả sử O’chuyển động tịnh tiến dọc theo Ox. Vị trí điểm M đối với hai hệ O và O’ là $\vec{r}$ và $\vec{r}\,'$

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

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

$$\boxed{\vec{v} = \vec{v}\,' + \vec{V} \qquad (5)}$$

$\vec{v}$ Vectơ vận tốc của M đối với O

$\vec{v}\,'$ Vectơ vận tốc của M đối với O’

$\vec{V}$ Vectơ vận tốc của O’ đối với O

Từ (5) ta có:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}\,'}{dt} + \frac{d\vec{V}}{dt}$$

$$\boxed{\vec{a} = \vec{a}\,' + \vec{A} \qquad (6)}$$

IV. Nguyên lý tương đối Galilê

Xét chuyển động của M trong 2 HQC O và O'. Hệ O quy ước là đứng yên. Hệ O' chuyển động tịnh tiến với vận tốc $\vec{V} = const$ đối với hệ O. Giả thiết O là HQC quán tính $\rightarrow$ các định luật Niutơn thỏa mãn trong hệ O.

Gọi $\vec{a}$ là gia tốc của chất điểm đối với hệ O

$\vec{F}$ là tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm, ta có:

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad (7)$$

Vì O' chuyển động thẳng đều đối với O $\rightarrow$ $\vec{a} = \vec{a}'$

$$\longrightarrow \quad m\vec{a}' = \vec{F} \quad (8)$$

(8) Là phương trình chuyển động của M trong hệ O'. Phương trình này có cùng dạng như (1). Nói cách khác, các định luật Niutơn cũng thỏa mãn trong hệ O' $\rightarrow$ O' cũng là HQC quán tính

Các cách phát biểu khác nhau của Nguyên lý tương đối Galilê

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

Hay là

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

Vì các phương trình động lực học là cơ sở để mô tả, khảo sát các hiện tượng cơ học, nên có thể phát biểu:

Cỏc định luật cơ học đều xảy ra như nhau trong mọi hệ qui chiếu quán tính

V. Lực quán tính

1.Lực quán tính

Nếu HQC O_1 chuyển động có gia tốc $\vec{A}$ đối với HQC quán tính O

$\vec{a}_1$:Vectơ gia tốc của chất điểm đối với HQC O_1

$\vec{a}$:Vectơ gia tốc của chất điểm đối với HQC O

Ta có: $$\boxed{\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{A}} \qquad \boxed{\Rightarrow m\vec{a} = m\vec{a}_1 + m\vec{A}}$$

Vì O là HQC quán tính nên định luật II Niutơn được nghiệm đúng, nghĩa là:

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

$$\rightarrow \vec{F} = m\vec{a}_1 + m\vec{A} \qquad \rightarrow \qquad \boxed{m\vec{a}_1 = \vec{F} - m\vec{A} \quad (9)}$$

$$m\vec{a}_1 = \vec{F} - m\vec{A} \quad (9)$$

Từ (9) suy ra: Khi khảo sát chuyển động của M trong HQC O_1 chuyển động tịnh tiến có gia tốc $\vec{A}$ đối với HQC quán tính O thì ngoài lực $\vec{F}$ tác dụng lên chất điểm còn phải kể thêm lực

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

Lực $\vec{F}_{QT} = m\vec{a}$ gọi là lực quán tính

Hệ O_1 gọi là hệ qui chiếu không quán tính.

Phương trình chuyển động của chất điểm trong HQC không quán tính:

$$m\vec{a}_1 = \vec{F} + \vec{F}_{QT} \quad (10)$$

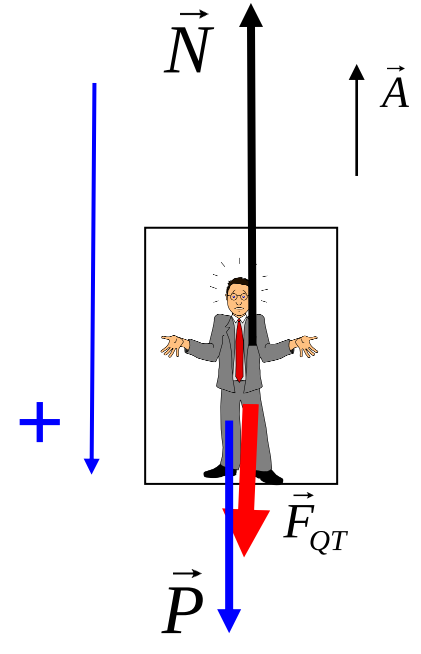
$$m\vec{a}_1 = \vec{F} + \vec{F}_{QT} \quad (10)$$

$\vec{F}_{QT}$

+ Là lực ảo, chỉ quan sát được trong HQC không quán tính
+ Luôn cùng phương ngược chiều với gia tốc $\vec{A}$ của HQC không quán tính
+ $\left|\vec{F}_{QT}\right| = mA$

Ví dụ: Giải thích hiện tượng tăng trọng lượng của người khi con tàu xuất phát đi lên

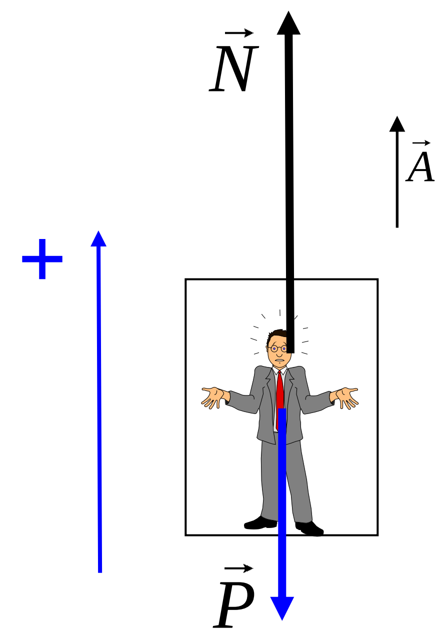
Cách 1: Chọn HQC gắn với con tầu, chiều dương hướng xuống



$$\vec{P} + \vec{F}_{QT} + \vec{N} = 0$$

$$P + \left|F_{QT}\right| - N = 0 \Rightarrow N = P + mA$$

Cách 2: Chọn HQC gắn với Trái đất, chiều dương hướng lên trên



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

$$N - P = mA \Rightarrow N = P + mA$$

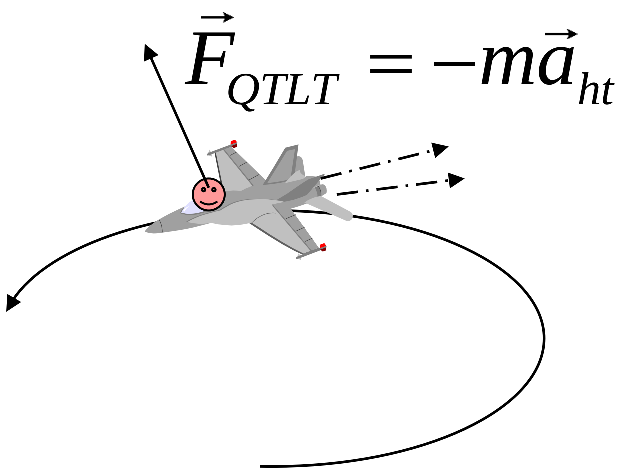
2. Lực quán tính ly tâm

Giả sử HQC không quán tính O_1 chuyển động tròn quanh HQC quán tính O với gia tốc hướng tâm $\vec{A}_{ht}$

$$\vec{F}_{QT} = -m\vec{A}_{ht} \qquad \left|F_{qt}\right| = m\frac{v^2}{R}$$

$\vec{F}_{QT}$ Ngược chiều với $\vec{A}_{ht}$ nên gọi là lực quán tính ly tâm

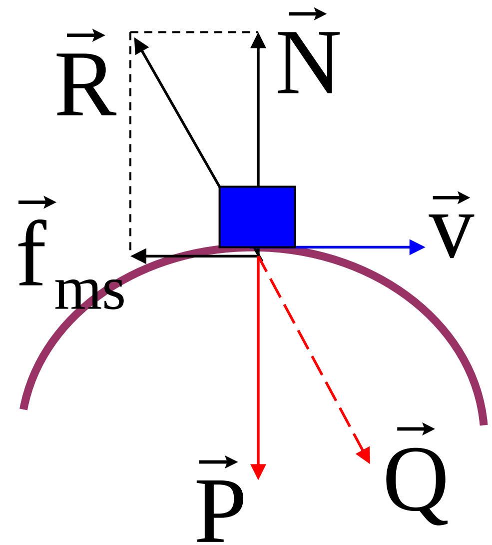
$$\left|F_{QTLT}\right| = m\frac{v^2}{R}$$



§3.Một số lực cơ học

I. Các lực liên kết

Lực liên kêt là lực tương tác giữa một vật đang chuyển động với các vật khác có liên kết với nó



1. Phản lực và lực ma sát

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

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

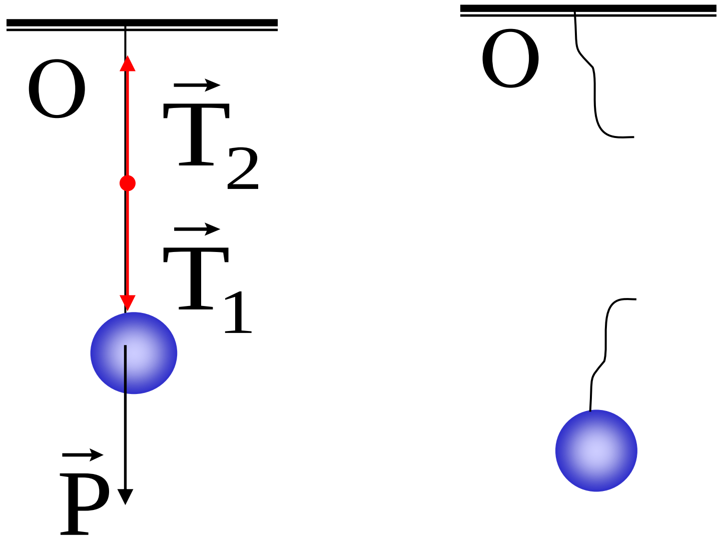
$\vec{N}$: phản lực pháp tuyến

$\vec{f}_{ms}$: cùng phương ngược chiều với vận tốc

k: Hệ số ma sát, phụ thuộc:

- ✓ Tính chất của vật chuyển động và mặt;
- ✓ Tính chất tiếp xúc.

2. Lực căng



Trong các bài toán thông thường, lực căng có cường độ không đổi dọc theo sợi dây.

§ 4. Động lượng - Các định lý về động lượng

I. Các định lý về động lượng

1. Định lý I

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad \Rightarrow \quad \frac{md\vec{v}}{dt} = \vec{F} \longrightarrow \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}$$

$\vec{K} = m\vec{v}$ là véc tơ động lượng

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

Phát biểu định lý 1: *Đạo hàm động lượng của một chất điểm đối với thời gian có giá trị bằng tổng hợp các lực tác dụng lên chất điểm đó*

§ 4. Động lượng - Các định lý về động lượng

I. Khái niệm động lượng

Động lượng của một vật chuyển động là một vectơ bằng tích của khối lượng với vận tốc của vật đó.

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

II. Các định lý về động lượng

1. Định lý I

Theo định luật II Niutơn, chất điểm có khối lượng m, chịu tác dụng của lực $\vec{F}$ sẽ có gia tốc $\vec{a}$

$$m\vec{a} = \vec{F} \Rightarrow \frac{md\vec{v}}{dt} = \vec{F} \Rightarrow \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F} \rightarrow \boxed{\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}}$$

Phát biểu định lý 1: *Đạo hàm động lượng của một chất điểm đối với thời gian có giá trị bằng tổng hợp các lực tác dụng lên chất điểm đó*

2. Định lý II

Từ phương trình

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

Tích phân 2 vế (1) trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 ứng với sự biến thiên động lượng từ $\vec{K}_1 \rightarrow \vec{K}_2$

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

Phát biểu 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*

Nếu $\vec{F}$ không phụ thuộc vào t

$$\Delta\vec{K} = \vec{F}\Delta t \qquad \boxed{\frac{\Delta\vec{K}}{\Delta t} = \vec{F}}$$

Độ biến thiên động lượng của một chất điểm trong một đơn vị thời gian có giá trị bằng lực tác dụng lên chất điểm đó

II.Ý nghĩa của động lượng và xung lượng

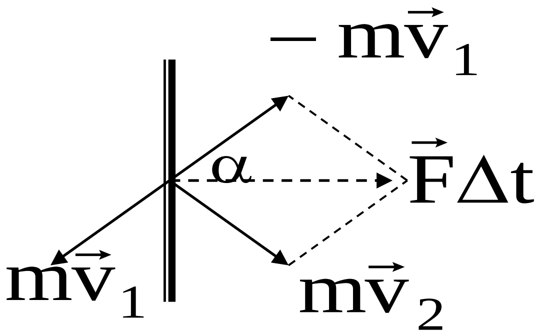
1.□ nghĩa của động lượng:

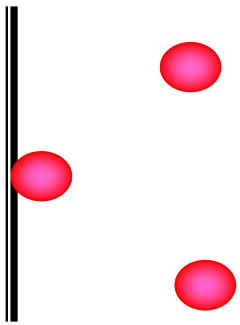
- Động lượng kết hợp cả khối lượng và vận tốc. Độ biến thiên của nó trong một đơn vị thời gian bằng ngoại lực tác dụng lên vật. Vì vậy ta nói động lượng đặc trưng cho chuyển động về mặt động lực học;
- Trong các hiện tượng va chạm, động lượng đặc trưng cho khả năng truyền chuyển động.

2.□ nghĩa của xung lượng:

- Xung lượng của lực trong khoảng thời gian Δt đặc trưng cho tác dụng của lực trong khoảng thời gian đó;
- Lực tuy lớn song thời gian tác dụng ngắn thì xung lượng của nó nhỏ và làm thay đổi trạng thái chuyển động ít hơn so với cùng lực đó tác dụng trong thời gian dài;
- Tác dụng của lực không chỉ phụ thuộc vào cường độ, mà cả vào thời gian tác dụng.

Ví dụ: Quả cầu m chuyển động với vận tốc $\vec{v}_1$ va chạm đàn hồi vào tường. Vận tốc $\vec{v}_1$ hợp với phương pháp tuyến của tường một góc α. Thời gian va chạm là Δt. Xác định lực do tường tác dụng lên quả cầu khi va chạm.





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

$$F\Delta t = 2mv\cos\alpha$$

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

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

I. Định luật bảo toàn động lượng của 1 hệ chất điểm cô lập

Hệ chất điểm cô lập $M_1, M_2, ..., M_n$

Có khối lượng $m_1, m_2, ..., m_n$

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

Áp dụng định lý 1 về động lượng cho từng chất điểm:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\vec{K}_1}{dt} &= \vec{F}_1 \\ \frac{d\vec{K}_2}{dt} &= \vec{F}_2 \\ \frac{d\vec{K}_n}{dt} &= \vec{F}_n \end{aligned}\right\}$$

$$\frac{d\vec{K}_1}{dt} + \frac{d\vec{K}_2}{dt} + ... + \frac{d\vec{K}_n}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = 0$$

$$\frac{d}{dt}\left(\vec{K}_1 + \vec{K}_2 + ... + \vec{K}_n\right) = 0 \rightarrow \vec{K}_1 + \vec{K}_2 + ... + \vec{K}_n = \overrightarrow{const}$$

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

Định luật: *Tổng động lượng của 1 hệ cô lập là đại lượng bảo toàn*

II. Bảo toàn động lượng theo phương:

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

Nếu hình chiếu của $\vec{F}$ lên phương x bằng không,

Chiếu phương trình

$$\frac{d}{dt}\left(\vec{K}_1 + \vec{K}_2 + \ldots + \vec{K}_n\right) = \vec{F}$$

lên phương x

$$\frac{d}{dt}\left(\vec{K}_1 + \vec{K}_2 + \ldots + \vec{K}_n\right)_x = \vec{F}_x = 0$$

$$\Rightarrow \quad K_{1x} + K_{2x} + \ldots + K_{nx} = const$$

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

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

III. Ứng dụng: Hiện tượng Súng giật lùi

Súng có khối lượng M đặt lên giá nằm ngang

Đạn có khối lượng m

Trước khi bắn: tổng động lượng bằng 0

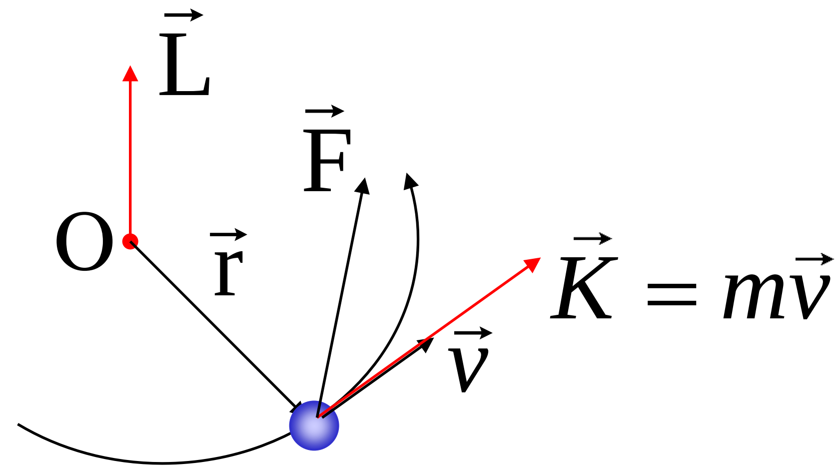
Sau khi bắn: Súng có $\vec{V}$, đạn có $\vec{v}$

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

§ 6. Mômen động lượng

I. Định nghĩa:

- Cho chất điểm khối lượng *m*
- Tại thời điểm *t*, chất điểm có bán kính vectơ $\vec{r}$ chuyển động với vận tốc $\vec{v}$
- mômen động lượng của chất điểm đối với gốc O được định nghĩa

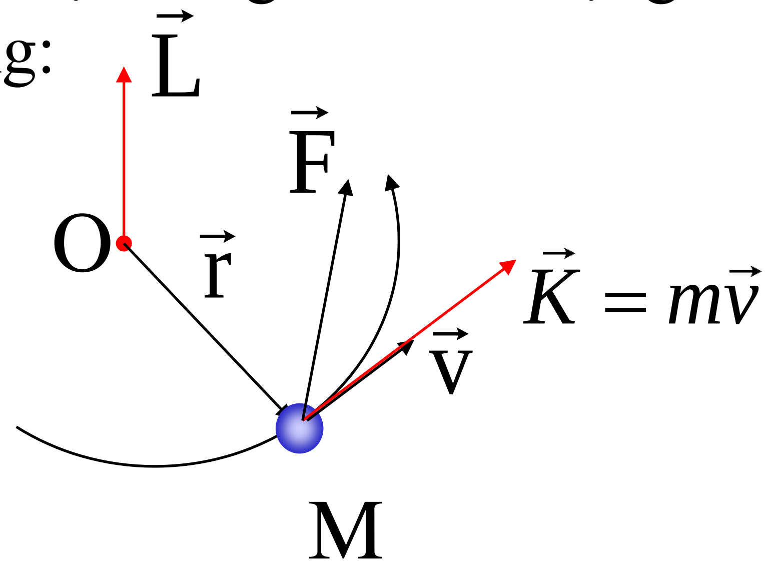


$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} \qquad (1)$$

$$\vec{L} \text{ có } \begin{cases} +\ \textit{gốc tại O} \\ +\ \textit{Phương vuông góc với mặt phẳng chứa 0 và } m\vec{v} \\ +\textit{Chiều:Là chiều quay thuận từ } \vec{r} \textit{ sang } m\vec{v} \end{cases}$$

II.Định lý về mômen động lượng

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



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

Nhân có hướng hai vế (2) với $\vec{r} = \overrightarrow{OM}$

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

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

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

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

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

Định lý về mô men động lượng: *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.*

III. Định luật bảo toàn mômen động lượng

a) Khi

$$\vec{F} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{L} = const$$

b) 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:

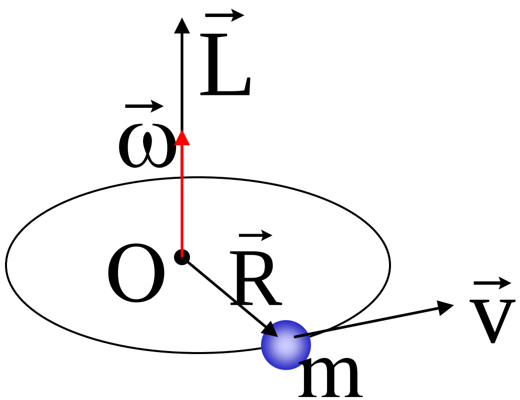
$$\vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = 0 \quad \rightarrow \quad \vec{L} = const$$

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

IV.Trường hợp chuyển động tròn

Xét chuyển động của chất điểm theo quỹ đạo tròn tâm O, bán kính R. Mômen động lượng của chất điểm đối với O là:

$$|\vec{L}| = \left|\vec{R} \times m\vec{v}\right| = Rmv = mR^2\omega$$



Đặt $mR^2 = I$ gọi là mômen quán tính của chất điểm đối với O

$$L = I\omega$$

Vì $\vec{\omega} \nearrow\nearrow \vec{L} \Rightarrow$ $\vec{L} = I\vec{\omega}$

Trong chuyển động tròn lực tác dụng có thể phân tích làm 2 thành phần:

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

Lực $\vec{F}_n$ luôn hướng về tâm O $\rightarrow$ $\vec{\mu}_{/o}(\vec{F}_n) = 0$

$$\rightarrow \quad \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}_t)$$

$$\boxed{\frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = \vec{\mu}/_0(\vec{F}_t)}$$