

## Chương II

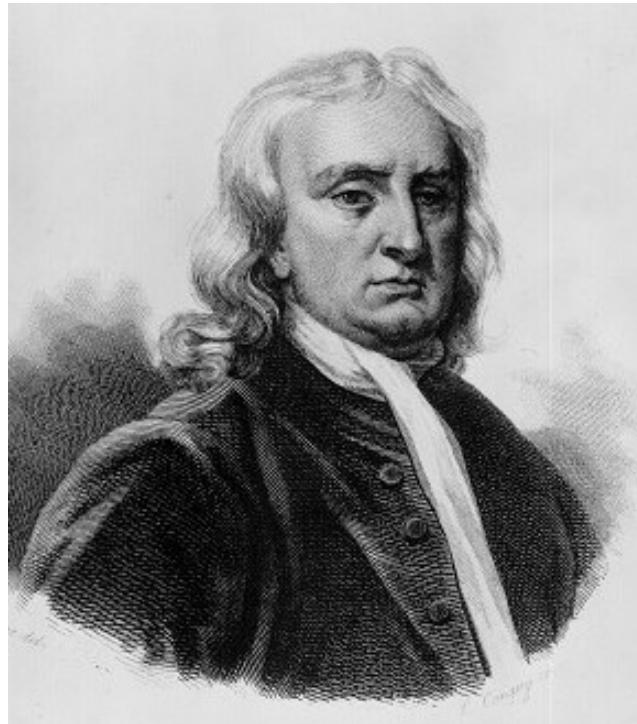
# ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

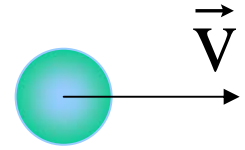


Isaac Newton

# 1. Các định luật Niuton

## 1.1 Định luật Niuton thứ nhất:

Chất điểm cô lập  $\vec{v} = \text{const}$



Không chịu một tác dụng nào từ bên ngoài, chuyển động của nó được bảo toàn

-> định luật quán tính

## 1.2. Định luật Niuton thứ hai: Chuyển động của chất điểm chịu tổng hợp lực $F \neq 0$ là chuyển động có gia tốc

Gia tốc của chất điểm  $\sim F$  và  $\sim$  nghịch với  $m$

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

$$\vec{F} \neq 0 \rightarrow \vec{a} \neq 0$$

Trong hệ SI  $k=1$

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

• Phương trình cơ bản của cơ học chất điểm:

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

• Hệ qui chiếu quán tính:

Nghiệm đúng Phương trình

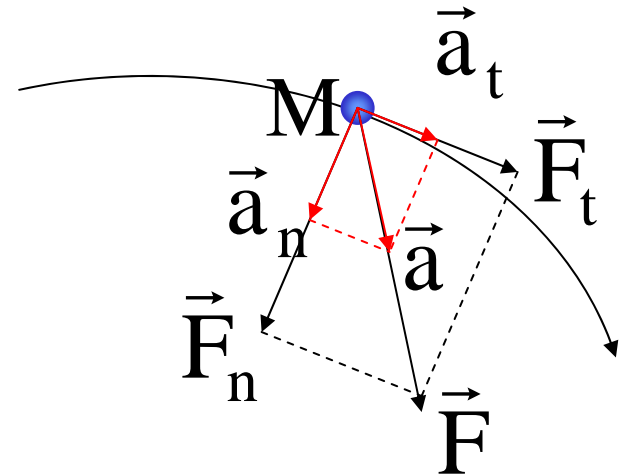
$$m\vec{a} = \vec{F}$$

### 1.3. Lực tác dụng lên chất điểm trong chuyển động cong

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

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

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



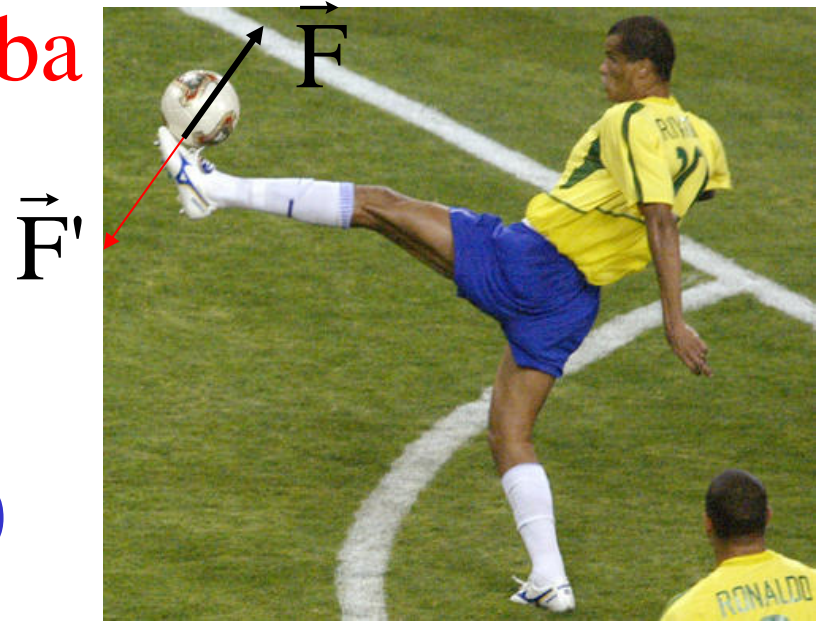
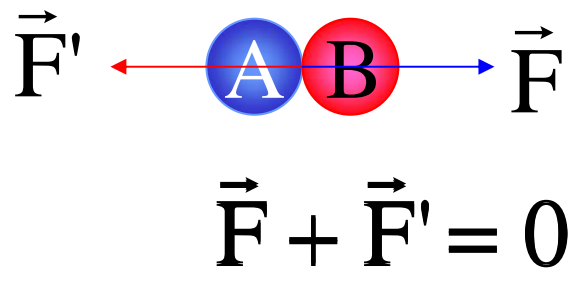
Lực tiếp  
tuyến

$$F_t = m \frac{dv}{dt}$$

Lực pháp  
tuyến

$$F_n = m \frac{v^2}{R}$$

# 1.4. Định luật Niuton thứ ba

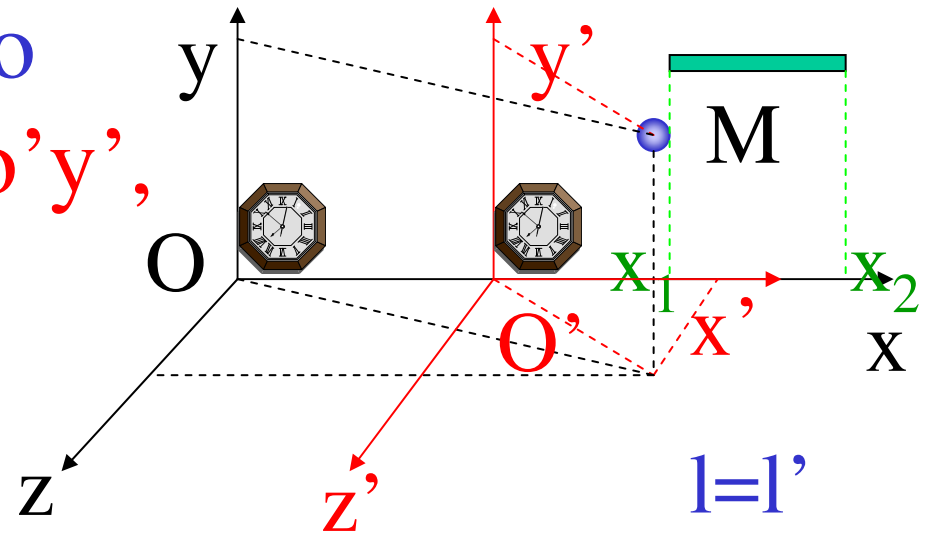


Tổng nội lực trong hệ = 0

# 2. Chuyển động tương đối và nguyên lý Galilê

O' chuyển động dọc theo ox với vận tốc  $\vec{V}$ ,  $oy // o'y'$ ,  $oz // o'z'$

Thời gian là tuyệt đối:  
 $t = t'$



Không gian là tương đối:

$$x = x' + vt'$$

$y = y'$ ;  $z = z' \Rightarrow$  chuyển động là tương đối.

Khoảng không gian là tuyệt đối:  $l = l'$

$$x_1 = x'_1 + vt' ; x_2 = x'_2 + vt' \Rightarrow l = x_2 - x_1 = x'_2 - x'_1 = l'$$

2.1. Phép biến đổi Galilê:

$$x = x' + vt' ; y = y' ; z = z' ; t = t'$$

và ngược lại  $x' = x - vt$ ;  $y' = y$ ;  $z' = z$ ;  $t' = t$

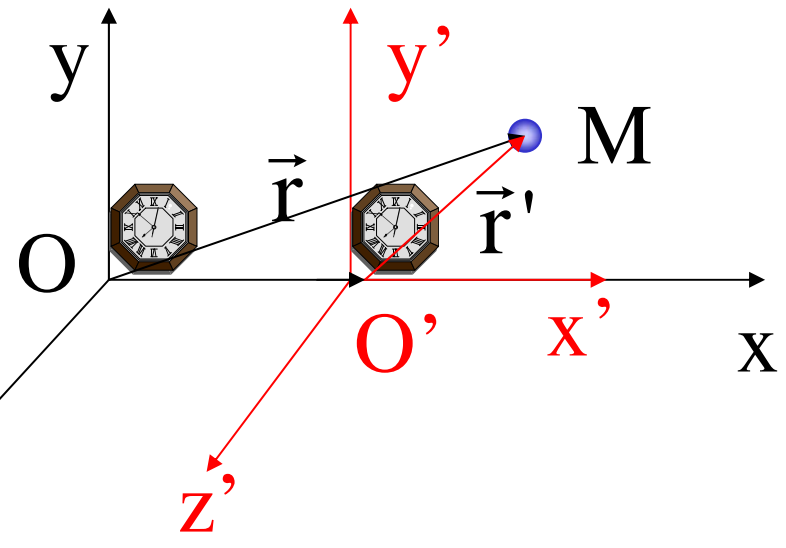
## 2.2. Tổng hợp vận tốc và gia tốc

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

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

$$\frac{d}{dt} = \frac{d}{dt'}$$

$$\Rightarrow \vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$$



$\vec{v}'$  Vtơ vtốc trong hqc O'

$\vec{V}$  Vtơ vtốc trong hqc O

$\vec{V}$  Vtơ vtốc O' đối với O

Véc tơ vận tốc của chất điểm đối với hệ qchiếu O bằng tổng hợp véc tơ vtốc của chất điểm đó đối với hệ qc O' chđộng tịnh tiến đvới hệ qc O và vtơ vtốc tịnh tiến của hệ qc O' đối với hệ qc O

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{V}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

$\vec{a}$  Vtơ gia tốc M trong hqc O

$\vec{a}'$  Vtơ gia tốc M trong hqc O'

$\vec{A}$  Vtơ gia tốc O' đối với hqc O

Véc tơ gia tốc của chất điểm đối với một hệ qchiếu O bằng tổng hợp véc tơ gia tốc của chất điểm đó đối với hệ qc O' chuyển động tịnh tiến đối với hệ qc O và vtơ gia tốc tịnh tiến của hệ qc O' đối với hệ qc O



## 2.3. Nguyên lý tương đối Galilê

Hệ qui chiếu quán tính:  $\vec{m}\vec{a} = \vec{F}$

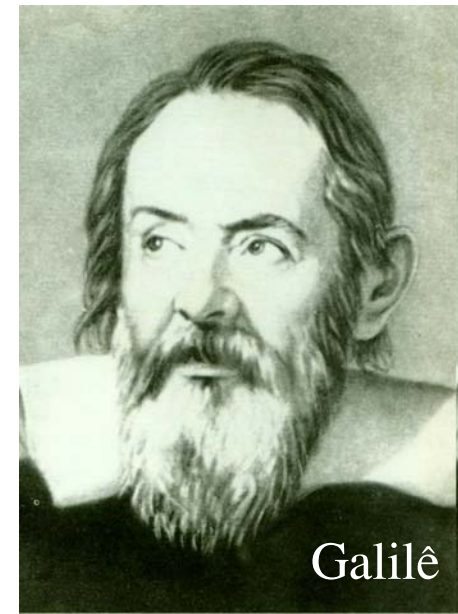
Nếu  $O'$  chuyển động thẳng đều  
đối với  $O$  thì  $A=0$   $\vec{m}\vec{a} = \vec{m}\vec{a}'$

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

$O'$  cũng là hqc quán tính

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

Các định luật Niu tơn nghiệm đúng trong  
mọi hệ qui chiếu chuyển động thẳng đều  
đối với hqc quán tính



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

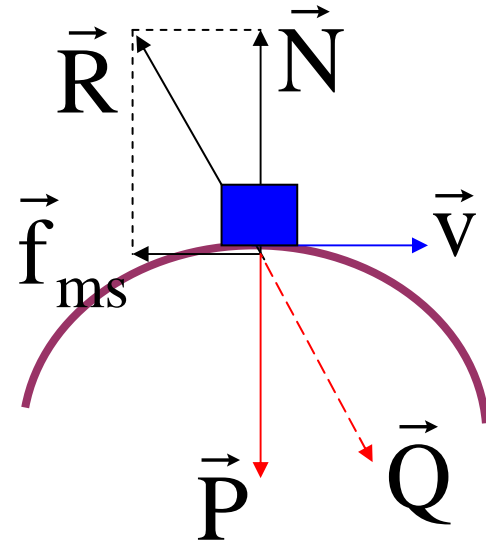
Các phương trình cơ học bất biến đối với phép biến đổi Galilê

### 3. Một số loại lực cơ học:

#### 3.1. Phản lực và lực ma sát

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

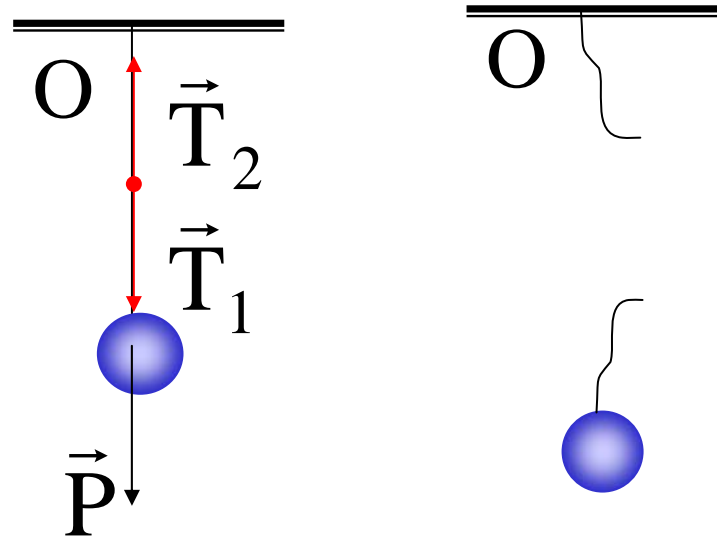
$$f_{ms} = k.N$$



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

## 3.2. Lực căng

Trên toàn sợi dây



## 3.3. Lực quán tính

Nếu hệ qui chiếu  $O'$  chuyển động có gia tốc đối với hệ qui chiếu  $O$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{A}$$

$\vec{a}$  Vơ gia tốc của chất điểm trong hqc  $O$

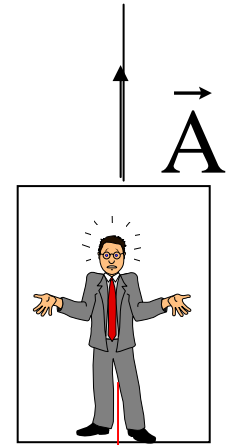
$\vec{a}'$  Vơ gia tốc của chất điểm trong hqc  $O'$

$\vec{A}$  Vơ gia tốc  $O'$  đối với hqc  $O$

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{A} \quad \Rightarrow \quad m\vec{a}' = m\vec{a} - m\vec{A}$$

$$m\vec{a}' = \vec{F} + \vec{F}_{QT}$$

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



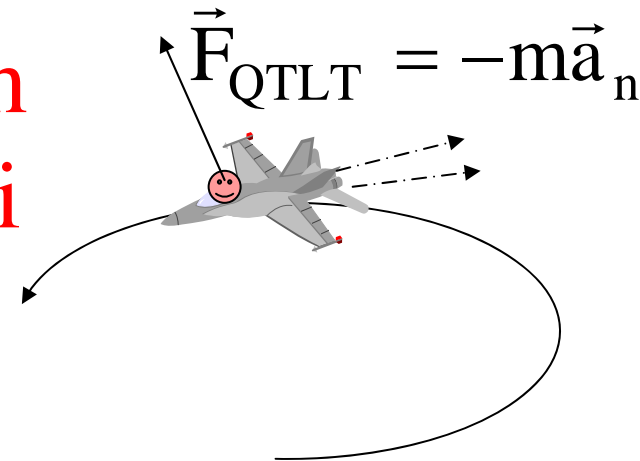
$$\vec{F}_{QT} = -m\vec{A}$$

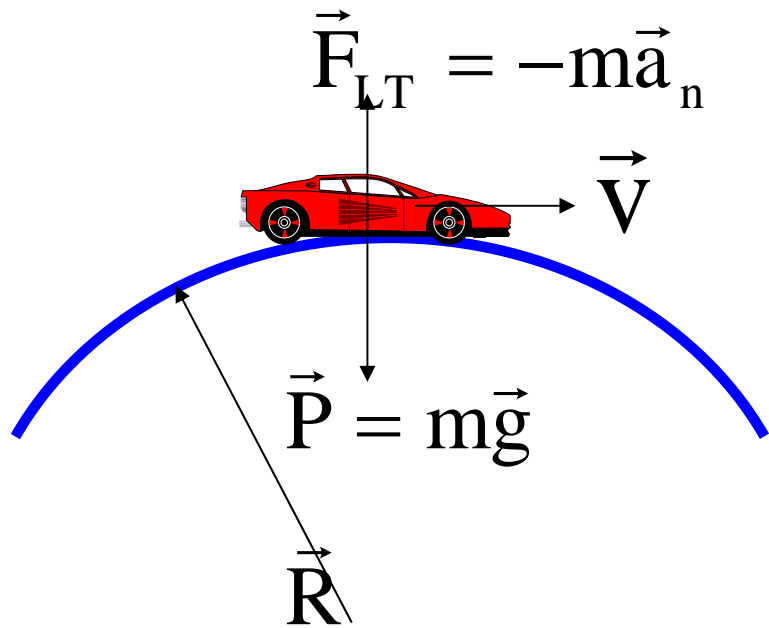
**Lực quán tính**

Hệ  $O'$  gọi là hệ qui chiếu không quán tính

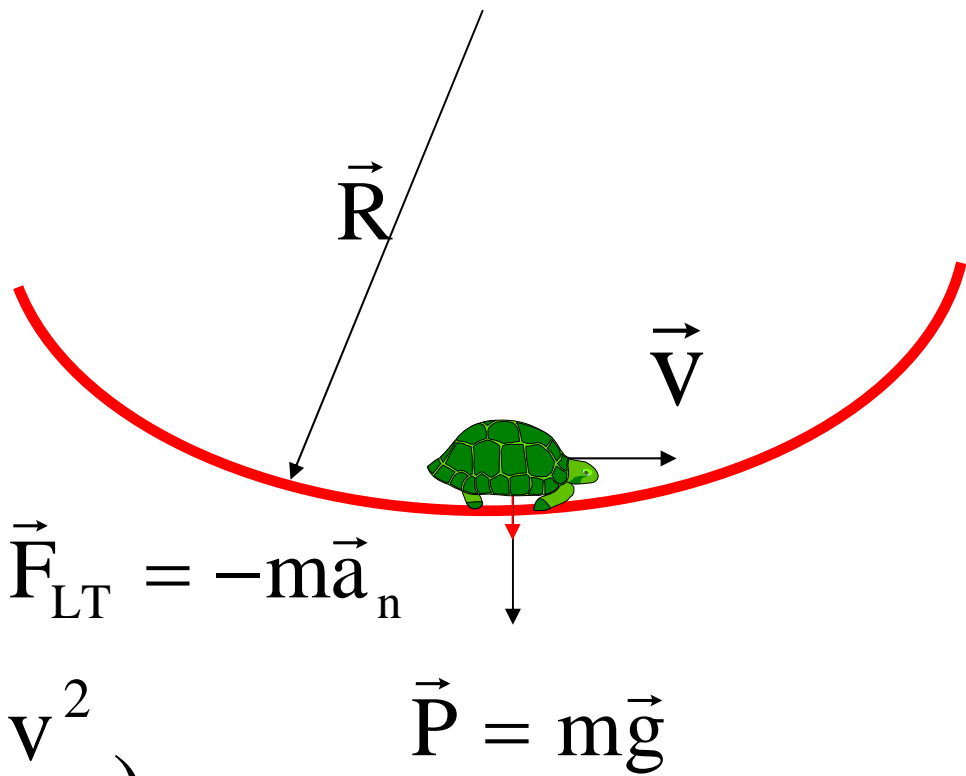
✓ Lực quán tính li tâm xuất hiện khi  $O'$  chuyển động cong so với  $O$

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





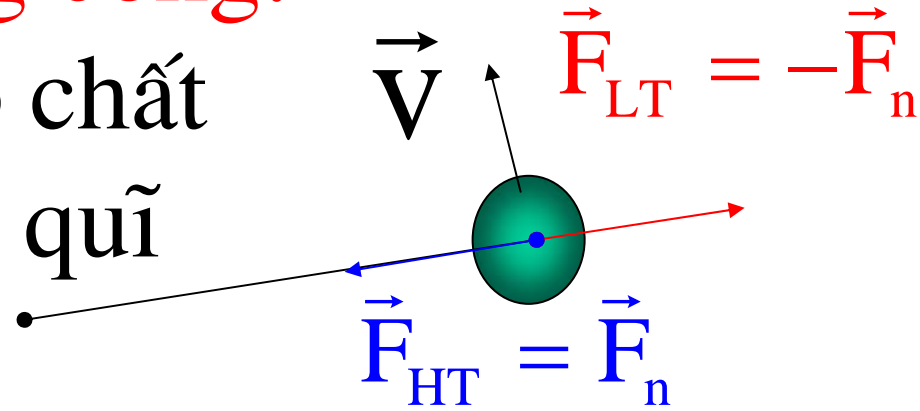
$$F = P - F_{LT} = m\left(g - \frac{v^2}{R}\right)$$



$$F = P + F_{LT} = m\left(g + \frac{v^2}{R}\right)$$

### 3.4. Lực hướng tâm, lực li tâm xuất hiện khi chất điểm chuyển động cong:

- **Lực hướng tâm:** kéo chất điểm về phía lõm của quỹ đạo:



$F_{HT} = T$  lực căng của sợi dây

- **Lực li tâm:** làm chất điểm văng về phía lồi của quỹ đạo cân bằng với lực hướng tâm

$$F_{HT} = F_{LT} = m \frac{v^2}{R}$$

## 4. Động lượng của chất điểm

### 4.1. Các định lý về động lượng

**Định lý I**  $\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}$        $\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \frac{m d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$

$\vec{K} = m\vec{v}$  là véc tơ động lượng       $\frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{F}$

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

Độ biến thiên động lượng =

Xung lượng của lực

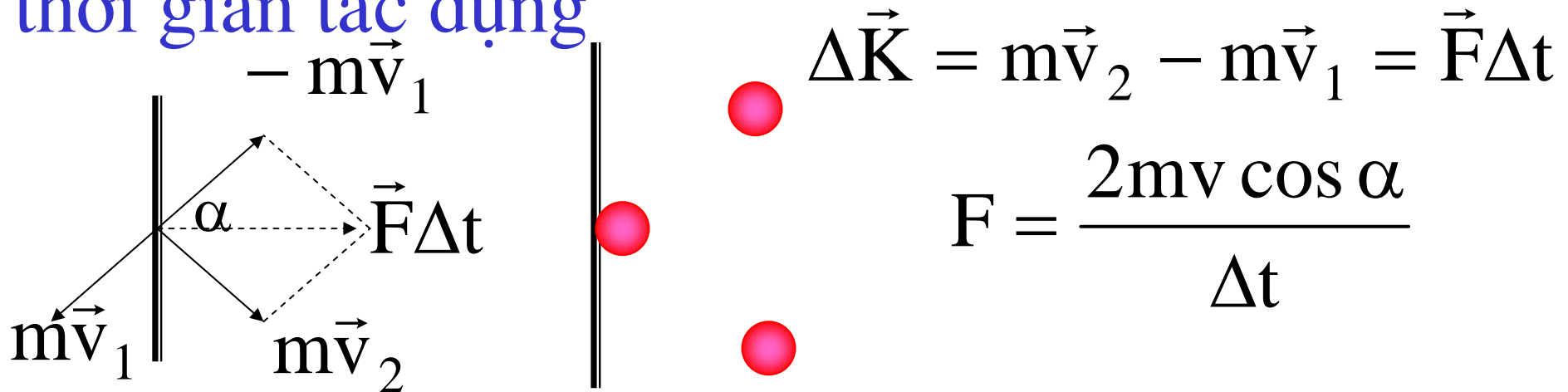
$$\int_{(1)}^{(2)} d\vec{K} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt$$

**Hệ quả:**

$$\frac{\Delta\vec{K}}{\Delta t} = \vec{F} \quad \text{Độ biến thiên động lượng/đvị thời gian=Lực tác dụng}$$

## 4.2. Ý nghĩa của động lượng và xung 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 trong va chạm
- **Ý nghĩa của xung lượng:** Tác dụng của lực không chỉ phụ thuộc vào cường độ, mà cả vào thời gian tác dụng





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

## 5.1. Định luật

Hệ chất điểm	$M_1, M_2, \dots, M_n$
có khối lượng	$m_1, m_2, \dots, m_n$
Chịu tác dụng lực	$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$
Có gia tốc	$\vec{a}_1, \vec{a}_2, \dots, \vec{a}_n$

$$m_i \vec{a}_i = \vec{F}_i$$

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

$$\frac{d\left(\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i\right)}{dt} = \vec{F} = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \overrightarrow{\text{const}}$$

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

Tổng động lượng hệ cô lập bảo toàn

$$\vec{V}_G = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \overrightarrow{\text{const}}$$

Khối tâm hệ cô lập hoặc đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều

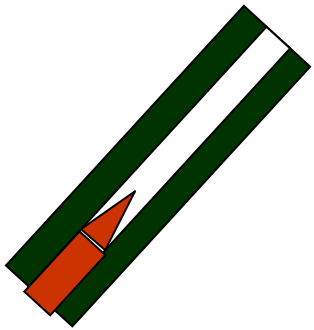
## 5.2. Bảo toàn động lượng theo phương:

Chiếu  $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n = \overrightarrow{\text{const}}$  lên trục x được:

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

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

## 5.3. Ứng dụng ❖ Súng giật



Súng:  $M, \vec{V}$

Đạn:  $m, \vec{v}$

$$M \cdot \vec{V} + m \cdot \vec{v} = 0$$

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

Súng giật về phía sau

## ❖ Chuyển động phản lực:

Tên lửa + thuốc:  $\vec{K}_1 = M\vec{v}$

Thuốc phụt: phụt  $dM_1$  và vận tốc  $\vec{u}$

$$\vec{K}_{\text{thuốc phụt ra}} = dM_1(\vec{u} + \vec{v}) = -dM(\vec{u} + \vec{v})$$

Tên lửa sau khi phụt  $dM$  thuốc:

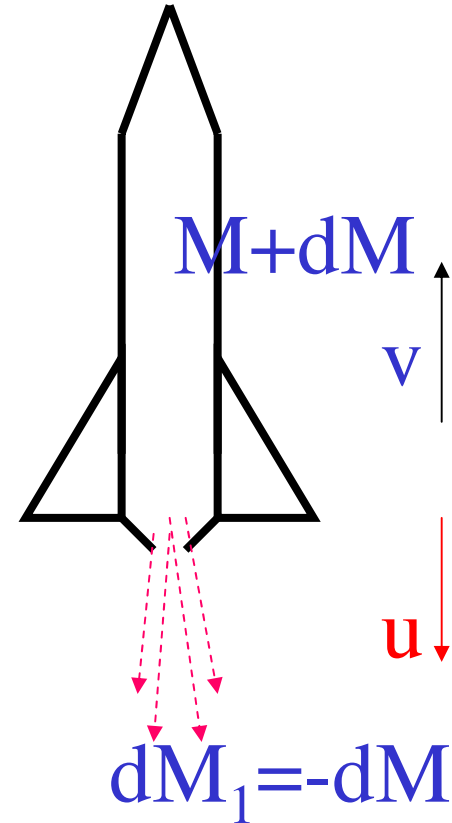
$$\vec{K}_{\text{tên lửa}} = (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v})$$

$$\vec{K}_2 = \vec{K}_{\text{thuốc phụt ra}} + \vec{K}_{\text{tên lửa}} \quad \vec{K}_2 = \vec{K}_1$$

$$-dM(\vec{u} + \vec{v}) + (M + dM)(\vec{v} + d\vec{v}) = M\vec{v}$$

$$Md\vec{v} = \vec{u}dM \quad Mdv = -udM$$

$$\text{Công thức Xiônkôpxki: } v = u \ln \frac{M_0}{M}$$



Tại thời điểm  $t$ : Hệ quy chiếu  $O$   
 chuyển động với vận tốc  $v$  cùng tên  
 lửa và thuốc.

Tên lửa phụt  $dM$  thuốc với vận tốc  $u$   
 so với  $O$ :

$$\rightarrow K_{\text{thuốc}} = dM \cdot u$$

Vận tốc tên lửa tăng lên  $dv$  so với  $O$

$$\rightarrow K_{\text{Tên lửa}} = (M - dM)dv$$

So với hệ quy chiếu  $O$ :

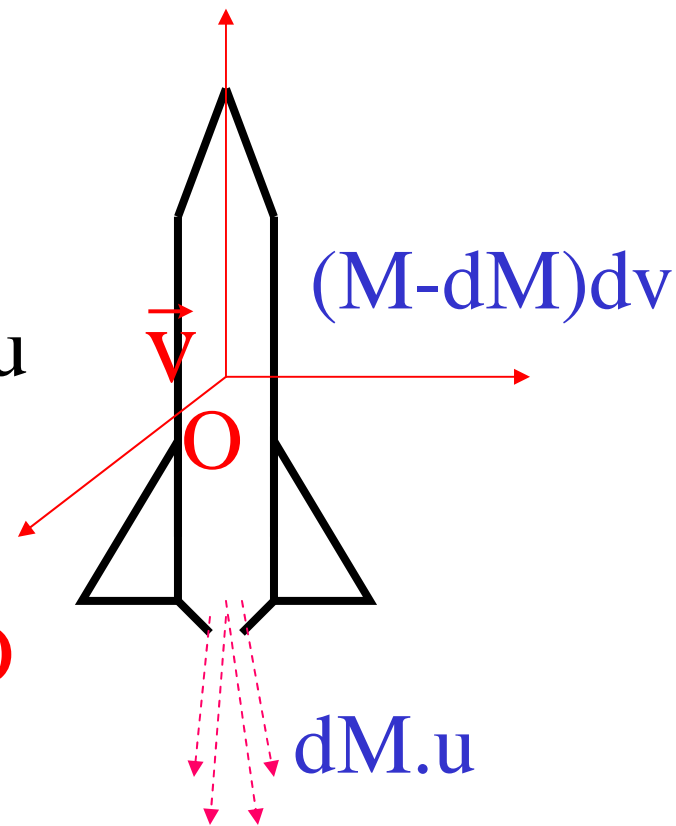
$$K_{\text{Tên lửa}} + K_{\text{thuốc}} = 0$$

$$(M - dM)dv + dMu = 0$$

$$Mdv = -udM$$

Công thức Xiônkôpxki:

$$v = u \ln \frac{M_0}{M}$$



$v$  - Vận tốc tên lửa

## 5. Ứng dụng phương trình cơ bản của cơ học để khảo sát chuyển động của các vật

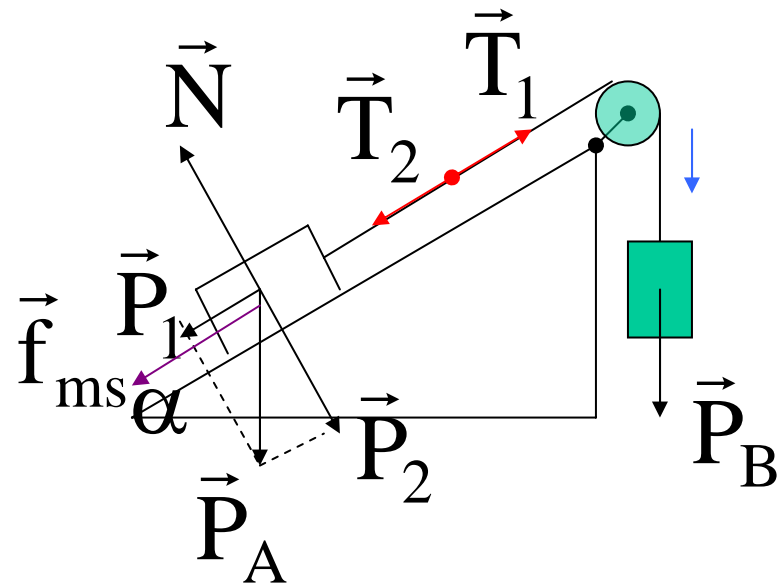
$m\vec{a} = \vec{F}$       F là tổng hợp lực tác dụng lên chất điểm = Lực phát động- Lực cản

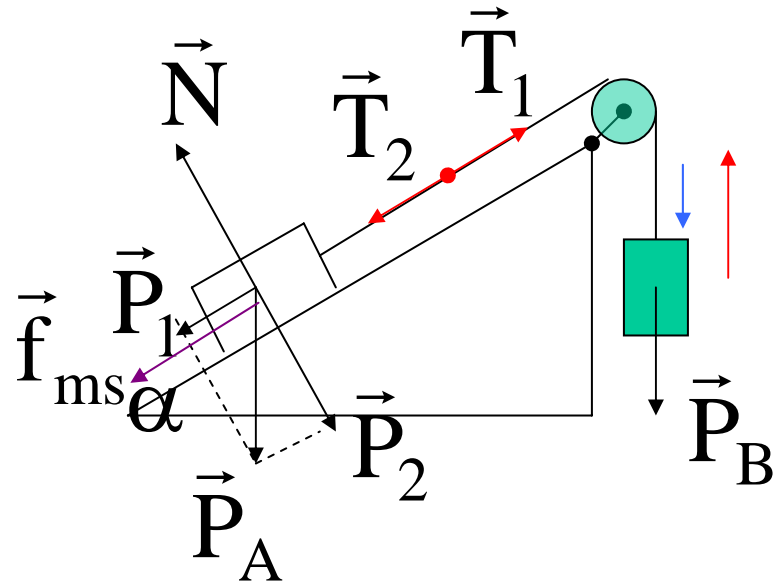
Ví dụ: Hệ gồm  $m_A$ ,  $m_B$ , hệ số ma sát  $k$ , dây không giãn, ròng rọc không ma sát và khối lượng

Lực phát động:  $P_B$

Lực cản  $P_1 + f_{ms}$

Lực tổng hợp:  $P_B - P_1 - f_{ms}$





$$(m_A + m_B)a = m_B g - m_A g(\sin \alpha + k \cos \alpha)$$

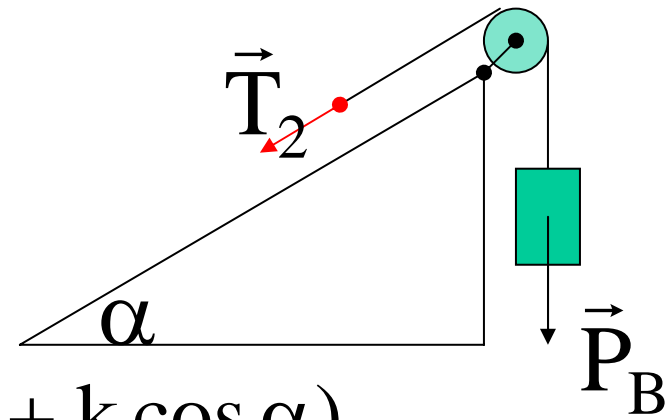
$$a = \frac{m_B g - m_A g(\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)}$$

$a > 0$  đúng

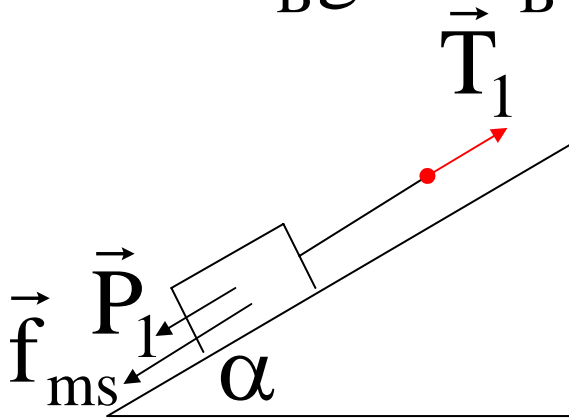
$a < 0$  giả thiết chiều chuyển động lại và tính lại từ đầu

$$m_B \cdot a = P_B - T_2$$

$$T = T_1 = T_2 = P_B - m_B a$$



$$T = m_B g - m_B \frac{m_B g - m_A g (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)}$$



$$m_A a = T_1 - P_1 - f_{ms}$$

$$T = T_2 = T_1 = m_A a + P_1 + f_{ms}$$

$$T = m_A \frac{m_B g - m_A g (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)} + m_A g \cdot \sin \alpha + m_A g k \cos \alpha$$

$$T = m_A m_B g \cdot \frac{1 + (\sin \alpha + k \cos \alpha)}{(m_A + m_B)}$$



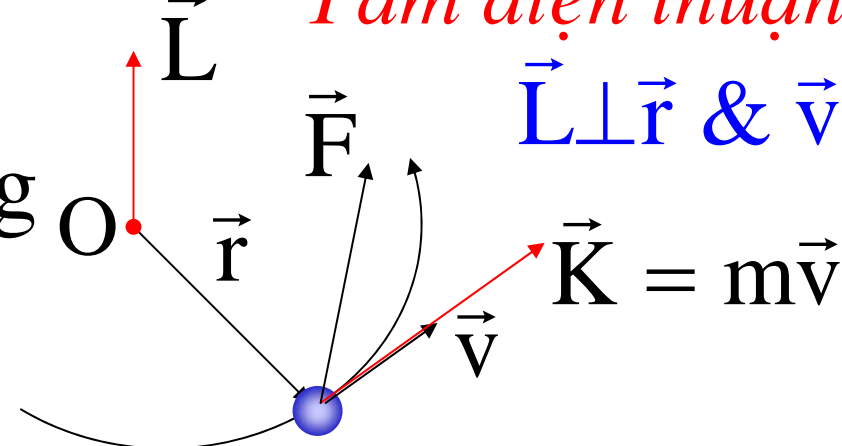
## 6. Mômen động lượng

6.1. Định nghĩa mômen động lượng của chất điểm chuyển động so với 1 điểm *Tam diện thuận*

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

$$\vec{L} \perp \vec{r} \ \& \ \vec{v}$$

6.2. Định lý về mômen động lượng



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

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

$$= 0$$

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

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

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

**Hệ quả:** Định luật bảo toàn mômen động lượng của chất điểm

$$\vec{\mu}_{/o}(\vec{F}) = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$$

➤ Chất điểm chuyển động trên mặt phẳng cố định

Trường hợp chuyển động tròn

$$|\vec{L}| = R \times mv = mR^2\omega$$

$$L = I\omega$$

$mR^2 = I$  mômen quán tính của chất điểm

$\vec{L} = I\vec{\omega}$  đối với O

$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_n \quad \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}_n) = 0 \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} = \vec{\mu}_{/o}(\vec{F}_t)$$

