

# Chương 2: Động LỰC học chất điểm

---

*Động lực học chất điểm nghiên cứu chuyển động của các vật trong sự tương tác của nó với các vật khác.*

## 1. CÁC ĐỊNH LUẬT NEWTON

## 2. MỘT SỐ LOẠI LỰC

2.1. Lực ma sát.

2.2. Lực quán tính.

## 3. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT.

## 4. ĐỘNG NĂNG. ĐỊNH LÝ ĐỘNG NĂNG.

## 5. THẾ NĂNG.

5.1. Thế năng trong trường lực thế.

5.2. Liên hệ giữa lực và thế năng.

5.3. Định luật bảo toàn cơ năng trong trường lực thế.

# 0. KHÁI NIỆM LỰC

---

- *Lực là đại lượng đặc trưng cho tác dụng(tương tác) của vật này lên vật khác, kết quả là truyền gia tốc cho vật hoặc làm vật biến dạng*
- Các lực trong tự nhiên:
  - **Lực hấp dẫn**
  - **Lực điện từ**
  - Lực liên kết mạnh
  - Lực liên kết yếu

# 1.1. ĐỊNH LUẬT 1 NEWTON

---

- **Định luật 1 Newton:** Khi ngoại lực tác dụng lên chất điểm bằng không thì vận tốc của nó không đổi (chất điểm đang đứng yên sẽ tiếp tục đứng yên, còn nếu đang chuyển động sẽ chuyển động thẳng đều).

*Tính bảo toàn vận tốc gọi là quán tính → còn gọi là định luật quán tính, áp dụng cho tất cả các vật trong hệ quy chiếu quán tính.*

Ví dụ: Xe thắng gấp, người ngồi trên xe bị chúi đầu về phía trước,...

- **Hệ quy chiếu quán tính (HQCQT)** là HQC mà trong đó vật chuyển động với vận tốc không đổi nếu ngoại lực tác dụng lên nó bằng không.

Ví dụ: Trái đất là một HQCQT gần đúng.

*Một HQC chuyển động với vận tốc không đổi so với một HQCQT cũng là HQCQT.*

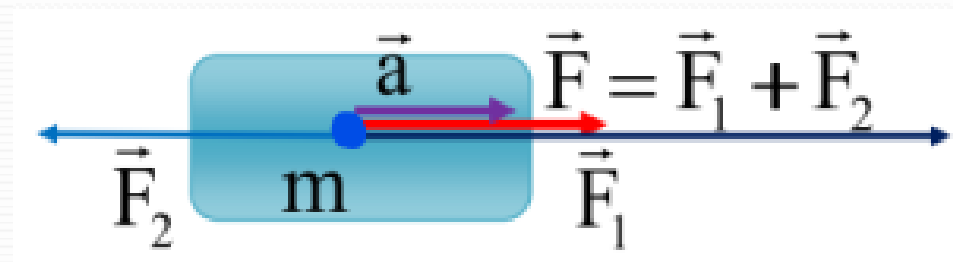
Ví dụ: một chiếc xe chuyển động với vận tốc không đổi so với mặt đất được xem như là HQCQT.

## 1.2. ĐỊNH LUẬT 2 NEWTON

### Định luật 2 Newton:

Dưới tác dụng của ngoại lực tổng hợp, chất điểm thu được gia tốc cùng hướng với lực, độ lớn của gia tốc tỉ lệ thuận với độ lớn của lực và tỉ lệ nghịch với khối lượng của chất điểm.

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



*Suy ra phương trình:  $\vec{F} = m\vec{a}$*

→ Phương trình cơ bản của cơ học chất điểm.

Trong hệ SI, đơn vị của lực là N, của khối lượng là  $kg$ , của gia tốc là  $m/s^2$ . Do đó:  $1\text{ N} = 1\text{ kg} \cdot m/s^2$ .

## 1.2. ĐỊNH LUẬT 2 NEWTON

---

**Dạng khác của định luật 2 Newton (dạng gốc):**

Tốc độ biến thiên động lượng của chất điểm bằng tổng ngoại lực tác dụng lên chất điểm.

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

$$d\vec{p} = \vec{F}dt \rightarrow \int_1^2 d\vec{p} = \int_1^2 \vec{F}dt \rightarrow \Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}dt$$

→ Xung lượng của ngoại lực  $\vec{F}$  trong khoảng thời gian  $\Delta t = t_2 - t_1$  bằng độ biến thiên của động lượng trong khoảng thời gian này.

→ Nếu hình chiếu của ngoại lực tổng hợp lên phương nào đó bằng 0 thì động lượng của vật bảo toàn theo phương đó.

• **Định luật bảo toàn động lượng:** nếu ngoại lực tổng hợp tác dụng lên hệ chất điểm bằng không thì động lượng của hệ bảo toàn.

# 1.3. ĐỊNH LUẬT 3 NEWTON

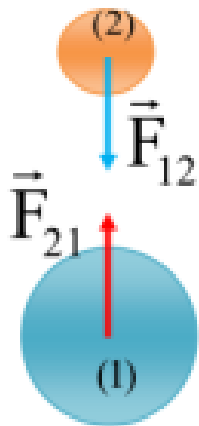
## Định luật 3:

Nếu A tác động lên B một lực  $\vec{F}_{AB}$  thì

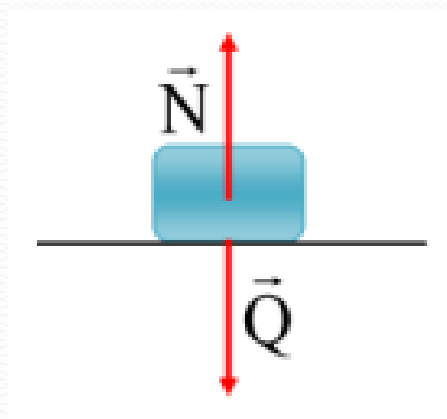
B cũng tác động lên A một lực  $\vec{F}_{BA}$

Hai lực này cùng giá, ngược chiều, cùng độ lớn

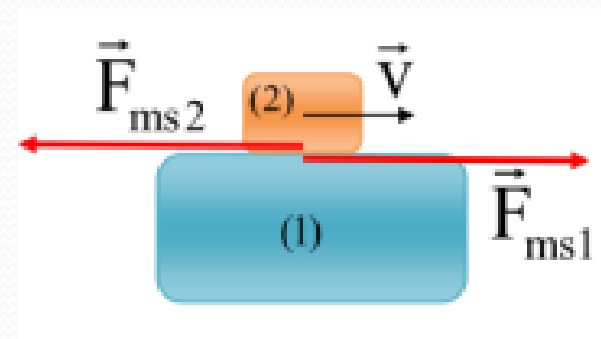
*Biểu diễn về mặt toán học:*  $\vec{F}_{BA} = -\vec{F}_{AB}$



Lực hấp dẫn



Áp lực – phản lực

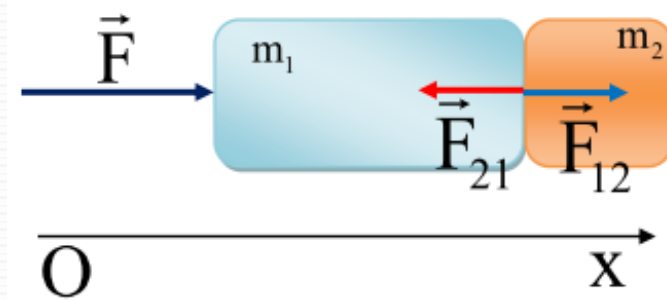


Lực ma sát

# 1.3. ĐỊNH LUẬT 3 NEWTON

**Ví dụ 1:** Hai vật khối lượng  $m_1$  và  $m_2$  đặt tiếp xúc nhau trên mặt phẳng ngang không ma sát. Tác dụng một lực  $F$  lên  $m_1$  sao cho 2 vật vẫn tiếp xúc với nhau trong quá trình chuyển động. Tìm gia tốc và lực tương tác giữa hai vật.

**Hướng dẫn**



## 2.1. LỰC MA SÁT

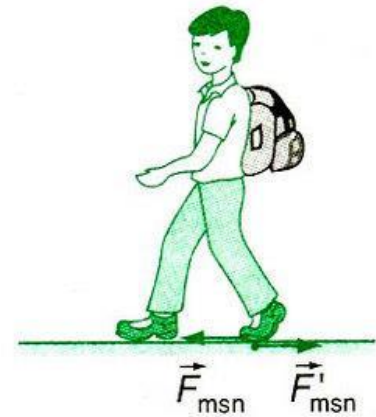
a) **Lực ma sát tĩnh (nghỉ):** xuất hiện giữa hai vật tiếp xúc mà vật này có xu hướng chuyển động so với vật kia nhưng vị trí tương đối của chúng chưa thay đổi.

b) **Lực ma sát động:** xuất hiện giữa hai vật tiếp xúc chuyển động tương đối so với nhau:

- **Ma sát trượt:** xuất hiện khi hai vật trượt lên nhau.

- **Ma sát lăn:** xuất hiện trong chuyển động lăn (bản chất là *mô-men cản lăn*, không phải là lực).

- **Ma sát nhớt:** xuất hiện khi vật rắn chuyển động trong chất lỏng/ khí, hoặc xuất hiện giữa các lớp chất lưu chuyển động tương đối so với nhau.

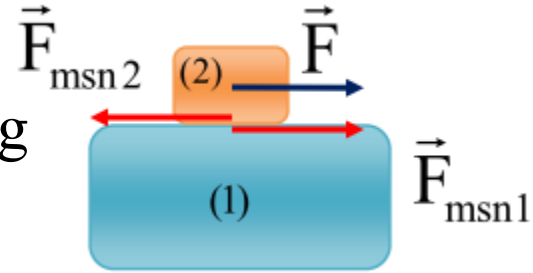




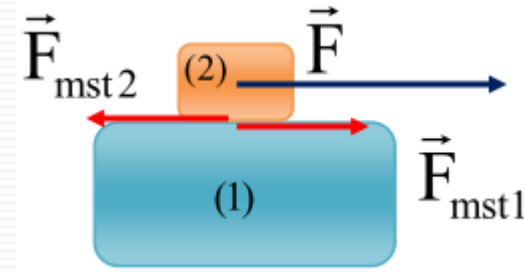
## 2.1. LỰC MA SÁT

### Lực ma sát nghỉ và lực ma sát trượt

- Kéo vật 2 bởi một lực  $F$  nhỏ sao cho vật 2 vẫn đứng yên so với vật 1, sẽ xuất hiện lực ma sát nghỉ  $F_{msn2}$  tác dụng lên vật 2, với  $F_{msn2} = F$ .



- Khi lực  $F$  tăng dần thì lực ma sát nghỉ tăng theo trong khi vật 2 vẫn đứng yên so với vật 1.

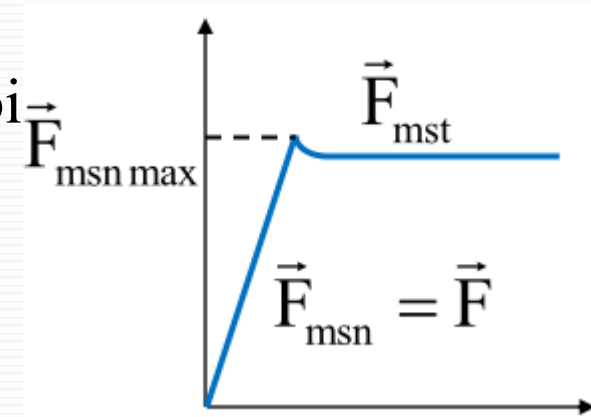


- Lực  $F$  tăng đến một giá trị nào đó, lực ma sát nghỉ đạt giá trị cực đại  $F_{msnMax} = \mu_n N$  và vật 2 bắt đầu trượt. Lúc này lực ma sát giảm đôi chút gọi là lực ma sát trượt:

$$F_{mst} = \mu_t N, \quad \text{với} \quad \mu_t < \mu_n \rightarrow F_{mst} < F_{msnMax}$$

trong đó,  $N$ : phản lực do vật 1 tác dụng lên vật 2.

$\mu_n$  và  $\mu_t$ : hệ số msn và mst (không có đơn vị).



## 2.1. LỰC MA SÁT

**Ví dụ 2:** Một lực  $F$  tác dụng chéo lên trên một góc  $\alpha=60^\circ$  so với phương ngang vào một vật nặng 25 kg đặt trên sàn. Hệ số ma sát tĩnh và động giữa vật và sàn lần lượt là  $\mu_1=0,42$  và  $\mu_2=0,35$ . Hỏi vật đứng yên hay chuyển động?

Tìm lực ma sát và gia tốc của vật trong 2 trường hợp: a.  $F=100\text{N}$       b.  $F=200\text{N}$

### Hướng dẫn

- Để vật chuyển động thì lực đẩy phải lớn hơn lực ma sát nghỉ cực đại:

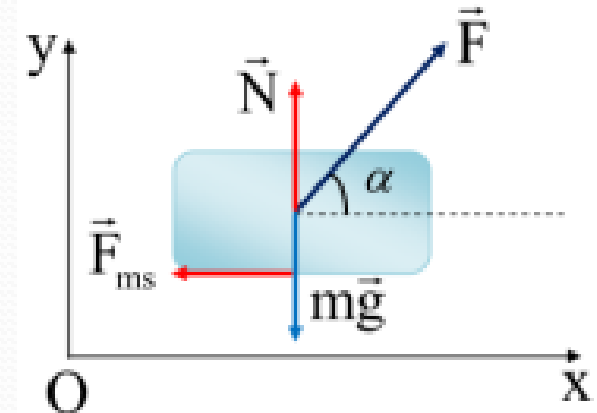
$$F_{\text{msnmax}} = \mu_1 N$$

- Áp dụng định luật 2 Newton cho vật:

$$\vec{F} + \vec{F}_{\text{ms}} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a} \quad (1)$$

- Chiếu (1) lên trục Oy:

$$N + F \sin \alpha - mg = 0 \rightarrow N = mg - F \sin \alpha$$

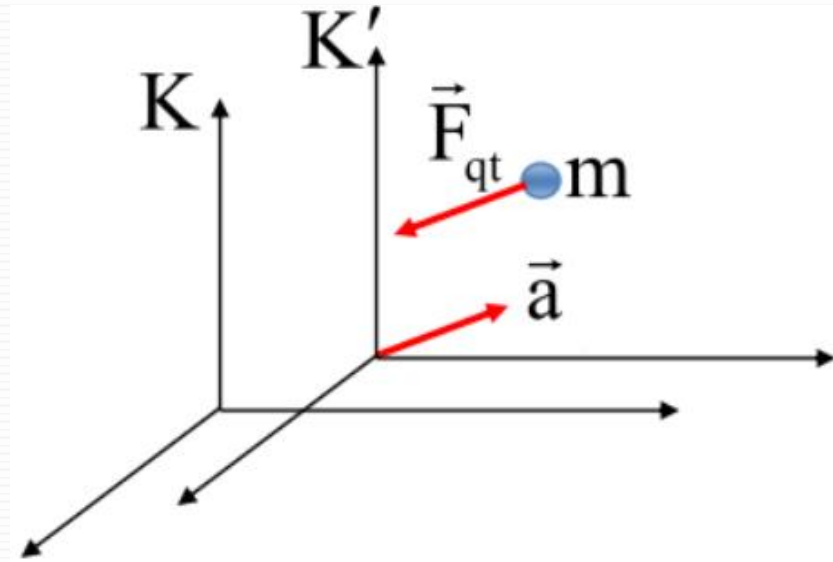


## 2.2. LỰC QUÁN TÍNH

- Hệ quy chiếu **KHÔNG** quán tính (**HQC\_KQT**): là HQC chuyển động có gia tốc so với HQC\_QT.
- Xét HQCBQT  $K'$  chuyển động với gia tốc  $\vec{a}$  so với HQC\_QT  $K$ . Vật  $m$  trong HQC  $K'$  chịu tác dụng của **lực quán tính**:

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

- Lực quán tính là lực đặc biệt, chỉ xuất hiện trong HQC\_KQT, nó không có phản lực.
- Ví dụ: Khi thang máy bắt đầu đi lên (có gia tốc hướng lên), người đứng trong thang máy thấy mình “nặng” hơn (bị kéo xuống) do người đó chịu tác dụng của lực quán tính hướng xuống.



## 2.2. LỰC QUÁN TÍNH

### Lực quán tính ly tâm, Lực quán tính Coriolis trong HỆ QUY CHIỀU QUAY

- Trái đất tự quay quanh trục với vận tốc góc  $\omega$ .  
→ Trái đất có gia tốc hướng tâm → HQC\_KQT.  
(Tuy nhiên vì  $a_{ht} \ll g$  nên đôi khi có thể bỏ qua, xem Trái đất như HQC\_QT gần đúng).

- Xét vật  $m$  tại vĩ độ  $\alpha$  sẽ chịu tác dụng của lực quán tính, thường gọi là **lực quán tính ly tâm**:

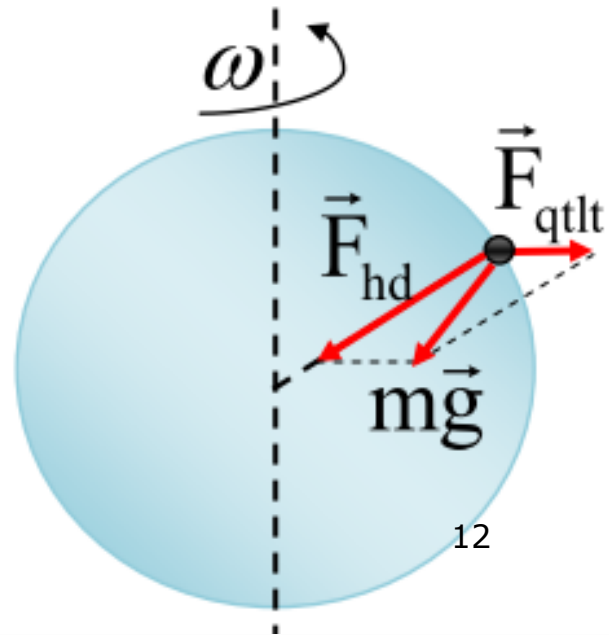
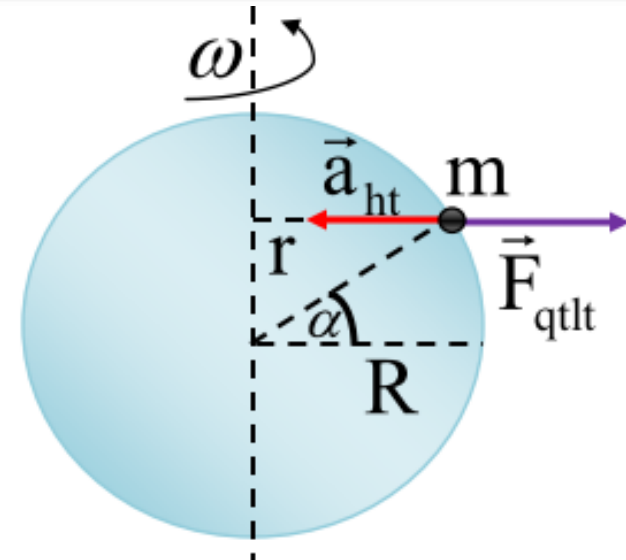
$$\vec{F}_{qtl} = -m\vec{a}_{ht}$$

với  $a_{ht} = \omega^2 r = \omega^2 R \cos \alpha$

- **Trọng lực** là hợp lực của lực hấp dẫn và lực quán tính ly tâm:

$$\vec{m}\vec{g} = \vec{F}_{hd} + \vec{F}_{qtl}$$

- Vì  $F_{qtl} \ll F_{hd}$  nên xem như  $\vec{m}\vec{g} \approx \vec{F}_{hd}$ .

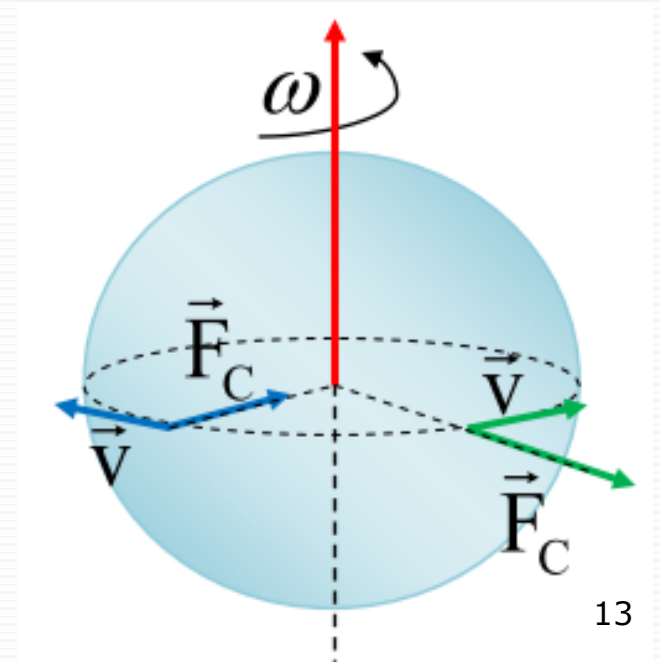
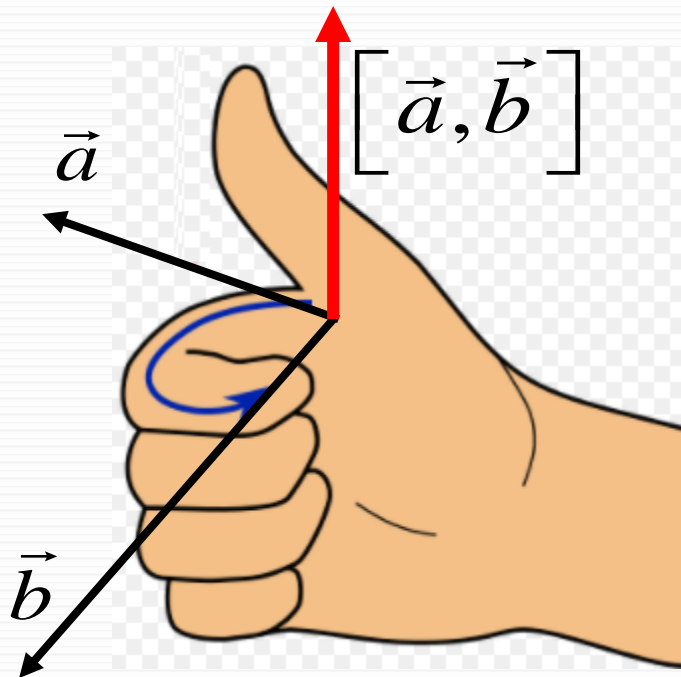


## 2.2. LỰC QUÁN TÍNH

- Nếu vật  $m$  trên trái đất chuyển động với vận tốc  $\vec{v}$  thì nó còn chịu tác dụng bởi **lực quán tính Coriolis**:

$$\vec{F}_C = -m\vec{a}_C = -2m[\vec{\omega}, \vec{v}]$$

với  $\vec{a}_C = 2[\vec{\omega}, \vec{v}]$ : **gia tốc Coriolis**.



## 2.2. LỰC QUÁN TÍNH

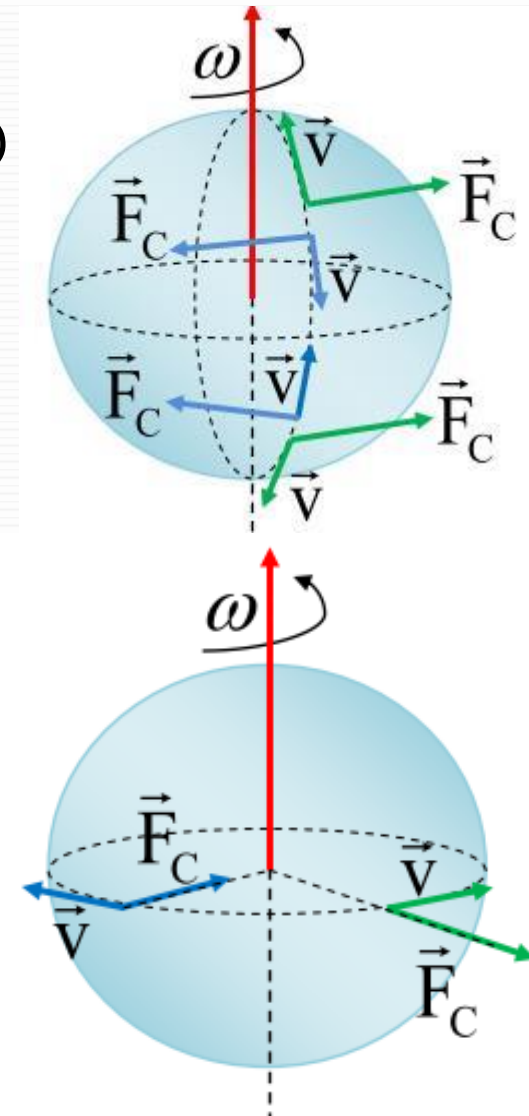
→ Ở Bắc bán cầu, vật chuyển động **bị kéo lệch phải** so với hướng chuyển động. (Nam bán cầu ngược lại)

+ Bờ sông bị lở bờ phải theo hướng dòng chảy.

+ Xoáy nước, vòi rồng nhìn từ trên xuống xoáy theo chiều ngược kim đồng hồ.

→ Vật chuyển động từ Đông sang Tây thì nặng hơn, Tây sang Đông thì nhẹ hơn.

→ Vật rơi tự do bị lệch về phía Đông, vật ném lên bị lệch về phía Tây.

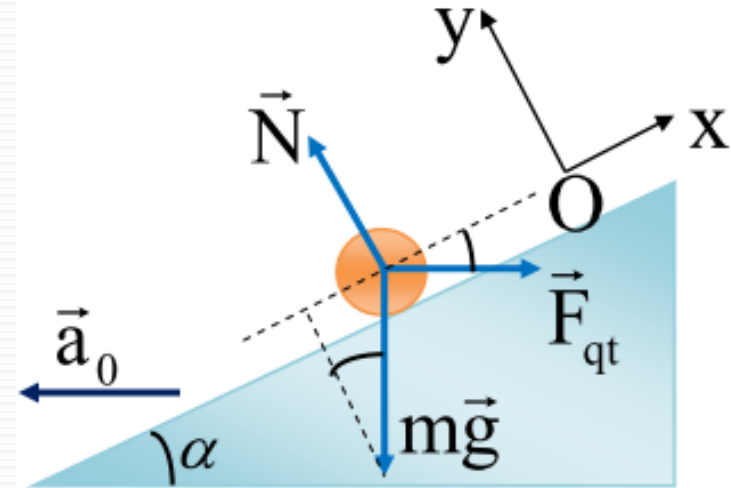


## 2.2. LỰC QUÁN TÍNH

**Ví dụ 3:** Vật  $m$  đặt trên một cái nêm góc  $\alpha$ . Giữa vật và nêm không có ma sát. Nêm chuyển động với gia tốc  $a_0$  hướng sang trái như hình vẽ. Tìm gia tốc của nêm để vật đi lên so với nêm.

**Hướng dẫn:**

- Chọn HQC gắn với nêm. Vì nêm chuyển động có gia tốc nên nêm là HQC\_KQT.
- Vật trong HQC gắn với nêm sẽ chịu *thêm tác dụng của lực quán tính*:  $\vec{F}_{qt} = -m\vec{a}_0$
- PT lực tác dụng lên vật trong HQC\_KQT:  $\vec{F}_{qt} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$  với  $\vec{a}$  là gia tốc của vật so với nêm.



$$\vec{F}_{qt} + m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$$

# 3. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT

## a. Công

Công do lực  $\vec{F}$  tác dụng lên vật làm vật dịch chuyển một đoạn nhỏ  $d\vec{r}$  là

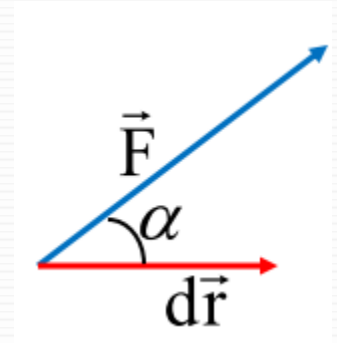
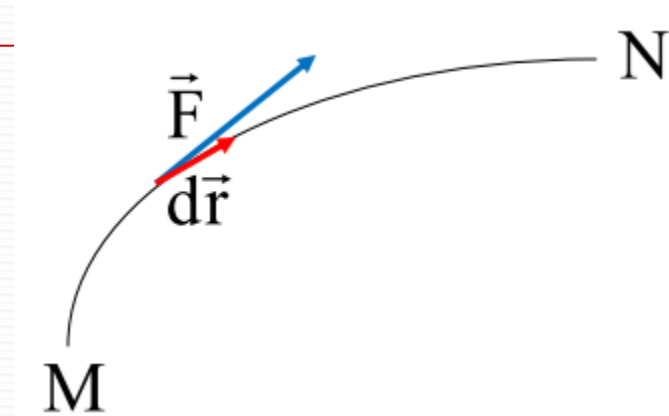
$$dA = \vec{F}d\vec{r} = Fdr \cos \alpha$$

Công thức hiện trên toàn quãng đường từ  $M \rightarrow N$ :

$$A_{MN} = \int_M^N dA = \int_M^N \vec{F}d\vec{r} = \int_M^N (F_x dx + F_y dy + F_z dz)$$

Nếu  $\vec{F}$  không đổi:  $A = \vec{F} \Delta \vec{r} = F \Delta r \cos \alpha$

- Nếu  $0 < \alpha < 90^\circ$  thì  $dA > 0$ : công phát động
- Nếu  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$  thì  $dA < 0$ : công cản (lực ma sát, lực đàn hồi).
- Nếu  $\alpha = 90^\circ$  thì  $dA = 0$ : lực hướng tâm, phản lực vuông góc.
- Đơn vị của công là J:  $1J = 1Nm = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$





### 3. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT

**b. Công suất:** là công do lực thực hiện trong một đơn vị thời gian:

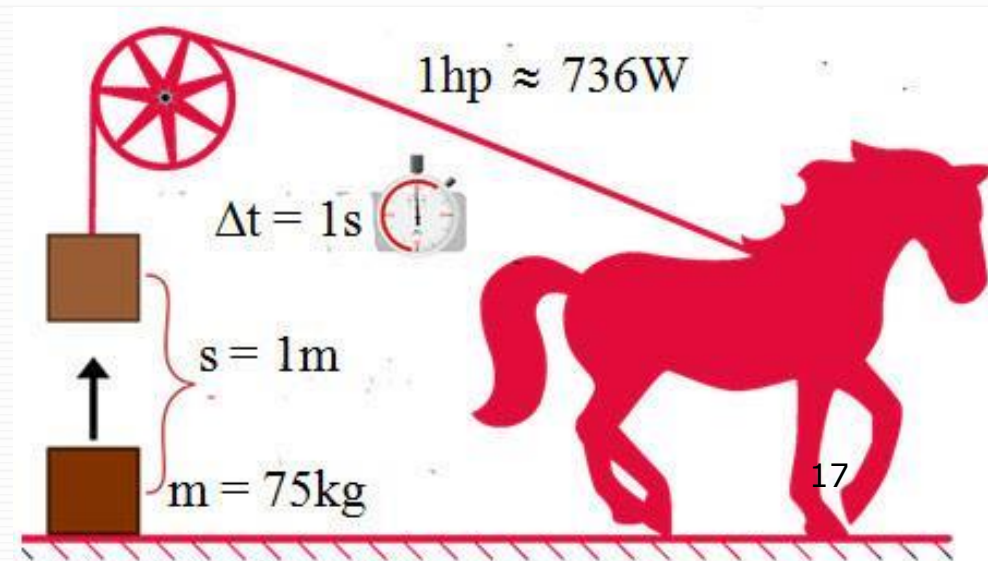
$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{\vec{F}d\vec{r}}{dt} = \vec{F}\vec{v}$$

→ Công suất đặc trưng cho tốc độ thực hiện công.

*Đơn vị công suất là Watt (W):  $1W = 1J/s = 1\text{ kgm}^2/s^3$ .*

*Trong kỹ thuật dùng đơn vị mã lực Hp:  $1Hp \approx 736W - 746W$*

Ứng dụng: hộp số xe máy



### 3. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT

---

**Ví dụ 4:** Một chất điểm chuyển động trong mặt phẳng Oxy từ điểm A(5, 1) đến điểm B(1, 3) dưới tác dụng của lực  $\vec{F} = 3\vec{i} + 4\vec{j}$ . Tìm công của lực. Lực F là lực cản hay lực phát động? Các đại lượng sử dụng đơn vị trong hệ SI.

**Hướng dẫn:**

## 4. ĐỘNG NĂNG. ĐỊNH LÝ ĐỘNG NĂNG

Ta có: 
$$dA = \vec{F}d\vec{r} = m\vec{a}d\vec{r} = m \frac{d\vec{v}d\vec{r}}{dt} = m\vec{v}d\vec{v} = d\left(\frac{1}{2}m\vec{v}^2\right) \quad (1)$$

Đặt:  $K = \frac{1}{2}mv^2$ ,  $(1) \rightarrow dA = dK \quad (2)$

Công của lực  $\vec{F}$  làm vật chuyển động từ M  $\rightarrow$  N:

$$A_{MN} = \int_M^N dA = \int_M^N dK = K_N - K_M = \Delta K \quad (3)$$

Từ (3), ta thấy  $K = \frac{1}{2}mv^2$  : có thứ nguyên năng lượng, liên quan đến chuyển động  $\rightarrow$  **ĐỘNG NĂNG**

**(3)  $\rightarrow$  Định lý động năng:** công do ngoại lực tác dụng lên chất điểm bằng độ biến thiên động năng của chất điểm đó.

## 4. ĐỘNG NĂNG. ĐỊNH LÝ ĐỘNG NĂNG

---

**Ví dụ 5:** Một viên đạn có khối lượng 10g bay với vận tốc 500 m/s xuyên vào tấm gỗ một đoạn  $L = 5$  cm. Hãy xác định:

- a) Lực cản trung bình của tấm gỗ tác dụng lên viên đạn.
- b) Vận tốc của viên đạn sau khi xuyên qua tấm gỗ nếu tấm gỗ chỉ dày  $L' = 2,4$  cm.

**Hướng dẫn:**

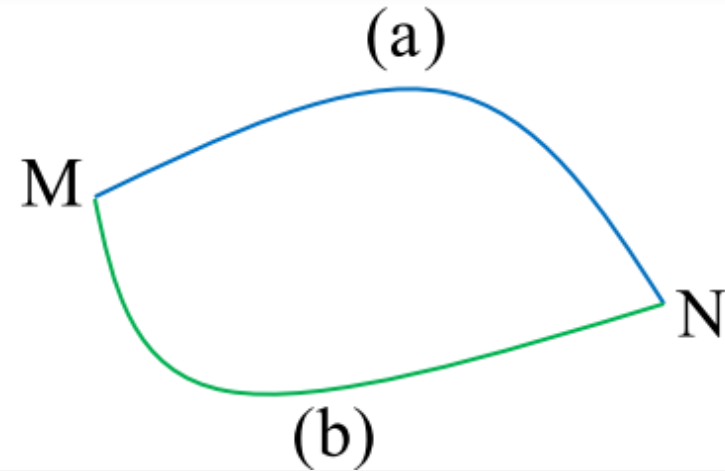
## 5.1. THỂ NĂNG TRONG TRƯỜNG LỰC THỂ

- **Lực thể (lực bảo toàn)** là lực mà công do nó thực hiện khi chuyển dời một chất điểm chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối mà không phụ thuộc vào dạng quỹ đạo giữa 2 điểm này.

$$A_{MN} = \int_{Ma}^{Na} \vec{F} d\vec{r} = \int_{Mb}^{Nb} \vec{F} d\vec{r}$$

- Ví dụ lực thể: lực đàn hồi, lực hấp dẫn.
- Khi quỹ đạo chuyển động của chất điểm là khép kín (MaNbM) thì công bằng 0:

$$A_{MaNbM} = \int_{Ma}^{Na} \vec{F} d\vec{r} + \int_{Nb}^{Mb} \vec{F} d\vec{r} = \int_{Ma}^{Na} \vec{F} d\vec{r} - \int_{Mb}^{Na} \vec{F} d\vec{r} = 0$$



## 5.1. THẾ NĂNG TRONG TRƯỜNG LỰC THẾ

• **Thế năng của trường thế:** một hàm  $U(\vec{r})$  gọi là thế năng sao cho giá trị của hàm  $U$  tại hai điểm  $M$  và  $N$  sẽ xác định công của lực  $\vec{F}$  khi dịch chuyển chất điểm từ điểm  $M$  đến  $N$ .

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F} d\vec{r} = U_M - U_N = -\Delta U$$

trong đó  $U_M$  và  $U_N$  là thế năng của chất điểm tại  $M$  và  $N$ .

• **Định lý thế năng:** công do lực thế thực hiện khi dịch chuyển chất điểm trong trường thế bằng độ giảm thế năng của nó.

Hay, lực thế thực hiện công bằng cách tiêu tốn thế năng của hệ.

# 5.1. THỂ NĂNG TRONG TRƯỜNG LỰC THỂ

## Đối với trường hấp dẫn

- Lực hấp dẫn giữa 2 chất điểm  $m_1$  và  $m_2$  cách nhau khoảng  $r$  là:

$$F_{hd} = F_{12} = F_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

trong đó  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  là hằng số hấp dẫn.

- Nếu một vật  $m$  cách tâm trái đất  $M$  một đoạn  $r > R$  ( $R$ : bán kính trái đất) sẽ chịu tác dụng của lực hấp dẫn:

$$\vec{F}_{hd} = -G \frac{Mm}{r^2} \vec{e}_r$$

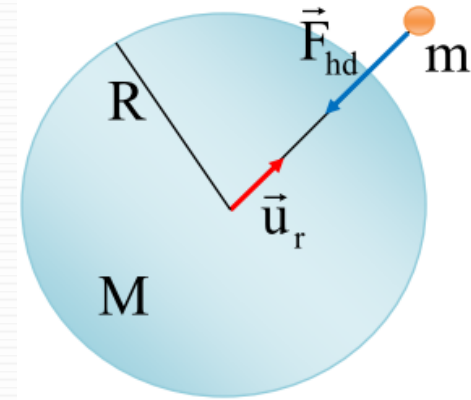
trong đó,  $\vec{e}_r$  là vector đơn vị hướng ra xa tâm trái đất.

- Theo định luật 2 Newton, dưới tác dụng của lực  $\vec{F}_{hd}$  vật  $m$  sẽ thu được gia tốc  $\vec{g}$  gọi là gia tốc trọng trường:  $\vec{g} = -G \frac{m}{r^2} \vec{e}_r$

**Chú ý:** +nếu  $m$  ở độ sâu  $d$  so với mặt đất:  $g_d = g_0 \left(1 - \frac{d}{R}\right)$

+nếu  $m$  ở độ cao  $h$  so với mặt đất:

( $g_0$  là gia tốc trọng trường tại mặt đất)  $g_h = g_0 \left(\frac{R}{R+h}\right)^2$



# 5.1. THẾ NĂNG TRONG TRƯỜNG LỰC THẾ

## Đối với trường hấp dẫn

- Thế năng của vật  $m$  trong trường hấp dẫn của trái đất:

$$A_{PQ} = U_P - U_Q = \int_P^Q \vec{F}_{hd} d\vec{r} = - \int_P^Q G \frac{Mm}{r^2} \vec{u}_r d\vec{r} = \left( -G \frac{Mm}{r_P} \right) - \left( -G \frac{Mm}{r_Q} \right)$$

$$U = -G \frac{mM}{r} + C$$

- Nếu chọn gốc thế năng ở vô cùng:

$$U(\infty) = 0 + C = 0 \rightarrow C = 0 \rightarrow U = -G \frac{mM}{r}$$

- Nếu chọn gốc thế năng ở mặt đất:

$$U(R) = -G \frac{mM}{R} + C = 0 \rightarrow C = G \frac{mM}{R} \rightarrow U = -GmM \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) (*)$$

Nếu vật ở độ cao  $h$  so với mặt đất ( $h \ll R$ ) thì  $r \approx R$ :

$$(*) \Leftrightarrow U = -GMm \left( \frac{1}{R+h} - \frac{1}{R} \right) = G \frac{Mmh}{R(R+h)} \approx G \frac{Mmh}{R^2} = mgh \quad 24$$



## 5.2. LIÊN HỆ GIỮA LỰC VÀ THỂ NĂNG

- Từ định lý thế năng xét theo trục Ox ta có:

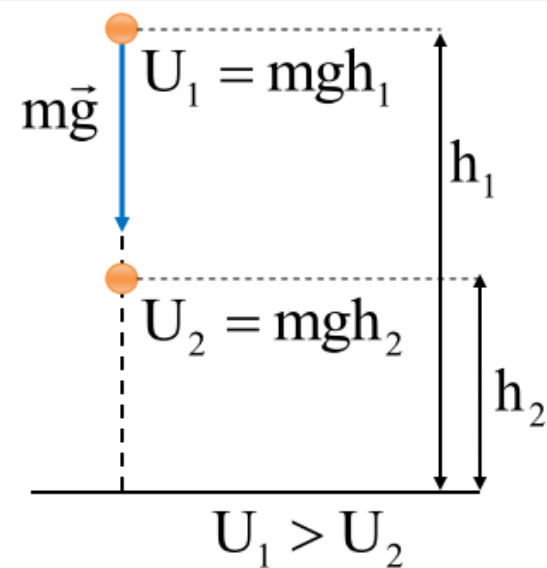
$$dU = -dA = -F_x dx$$

$$F_x = -\frac{dU}{dx}$$

- Xét trong không gian 3 chiều:

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{k}\right) = -gradU = -\nabla U$$

→ **Ý nghĩa:** Lực thế có chiều là chiều giảm của thế năng. Nói cách khác, vật có xu hướng chuyển động về nơi có thế thấp hơn.



## 5.3. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN CƠ NĂNG

- Cơ năng của một chất điểm bao gồm động năng và thế năng của chất điểm đó:

$$E = K + U$$

- Nếu chất điểm chuyển động trong trường lực thế và **chỉ chịu tác dụng của lực thế** thì theo định lý động năng và định lý thế năng ta có:

$$A = \Delta K, \quad A = -\Delta U$$

$$\Delta E = \Delta K + \Delta U = 0$$

→ Cơ năng được bảo toàn.

- Nếu có các lực phi thế tác dụng lên chất điểm thì cơ năng của chất điểm không được bảo toàn. Độ biến thiên cơ năng bằng công của các lực phi thế:  $\Delta E = A_{\text{phi}}$

- Ví dụ hệ chịu tác dụng của lực ma sát trượt là lực phi thế:  $A_{\text{ms}} < 0$

→  $\Delta E' < 0 \rightarrow$  cơ năng của hệ giảm

## 5.3. ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN CƠ NĂNG

**Ví dụ 6:** Một vật  $m = 5,7 \text{ kg}$  trượt trên mặt bàn nằm ngang, không ma sát, với tốc độ không đổi  $v = 1,2 \text{ m/s}$ , và đụng phải một lò xo làm lò xo nén lại. Giả sử sau va chạm vật đứng yên vì truyền toàn bộ động năng cho lò xo. Hằng số của lò xo là  $1500 \text{ N/m}$ . Hỏi lò xo bị nén lại một đoạn lớn nhất bằng bao nhiêu?

### Hướng dẫn

- Xét hệ vật – lò xo: các lực phi thế không sinh công nên cơ năng bảo toàn. Chọn gốc thế năng đàn hồi khi lò xo có trạng thái tự nhiên.
- Cơ năng ban đầu:  $E_1 = K_1 + U_1 = \frac{1}{2}mv^2$
- Cơ năng lúc lò xo nén cực đại:  $E_2 = K_2 + U_2 = \frac{1}{2}k\Delta l^2$

