



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
HANOI UNIVERSITY OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY (HUST)



Viện Vật lý Kỹ thuật

School of Engineering Physics (SEP)

CHƯƠNG 5

CƠ NĂNG VÀ TRƯỜNG LỰC THỂ

- 1. Công và công suất
- 2. Động năng
- 3. Trường lực thể - Thế năng
- 4. Định luật bảo toàn và biến đổi cơ năng
- 5. Trường hấp dẫn
- 6. Bài toán va chạm



1. Công và công suất

Công

☞ Đại lượng đặc trưng cho tác dụng của lực lên một vật làm cho vật có thể di chuyển từ điểm này đến điểm khác (dịch chuyển).

$$A = \vec{F} \bullet \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

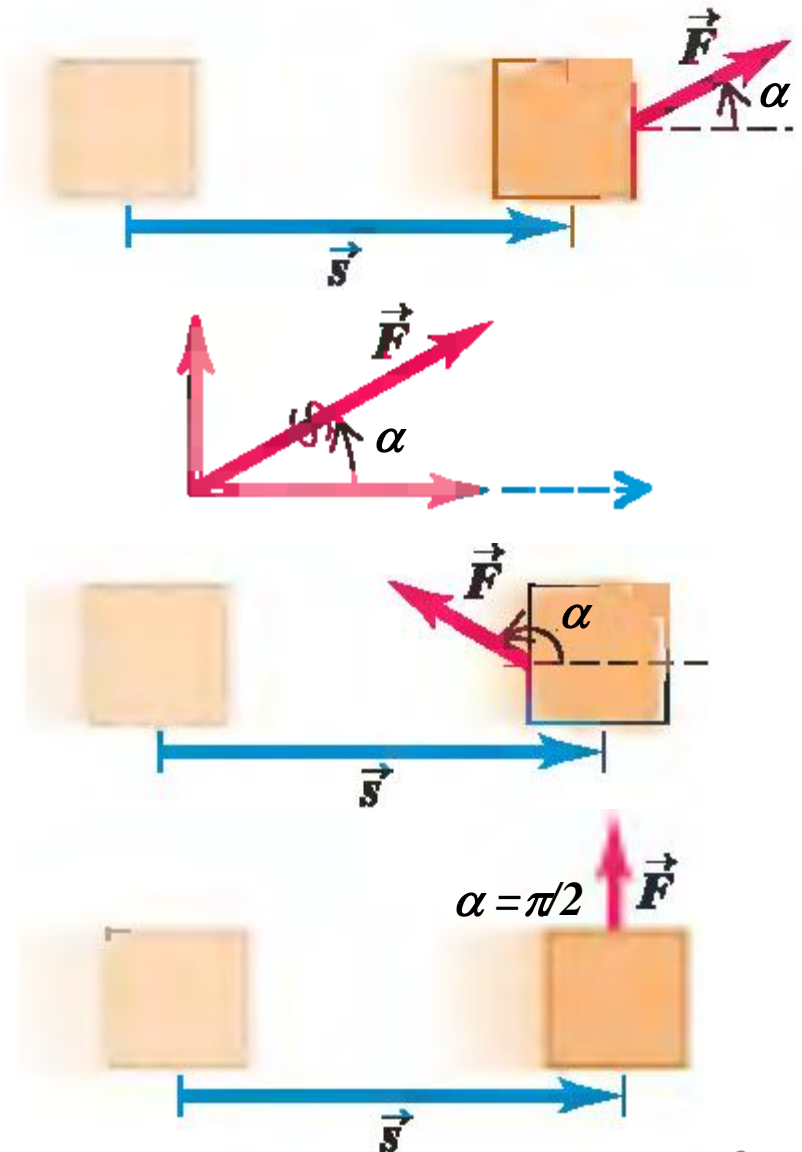
♦ Công là đại lượng vô hướng

Lực không đổi

♦ $A > 0$ khi $\alpha < \pi/2$ (góc nhọn):
 $\Rightarrow \vec{F}$ thực hiện công phát động

♦ $A < 0$ khi $\alpha > \pi/2$ (góc tù):
 $\Rightarrow \vec{F}$ thực hiện công cản

♦ $A = 0$ khi $\alpha = \pi/2$ hay $\vec{F} \perp \vec{s}$
 $\Rightarrow \vec{F}$ không sinh công



1. Công và công suất

Công

Lực thay đổi

☞ **Chuyển dời thẳng:** chia chuyển dời thẳng thành nhiều đoạn Δx như nhau và coi $F_{xi} = \text{const}$ trong mỗi đoạn chuyển dời Δx :

Có: $A = F_{x_1} \Delta x_1 + F_{x_2} \Delta x_2 + \dots + F_{x_n} \Delta x_n$

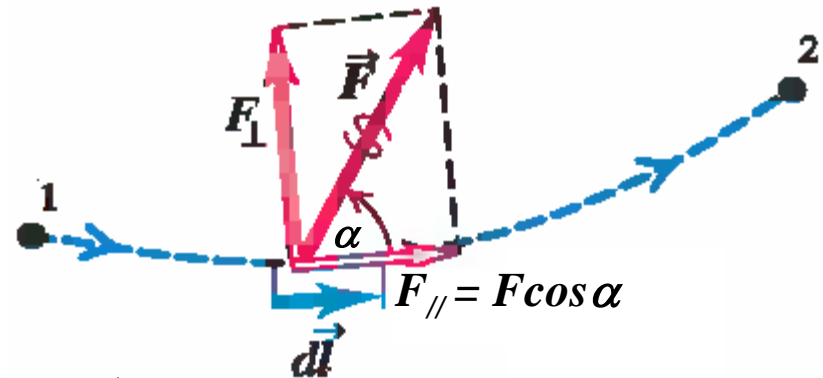
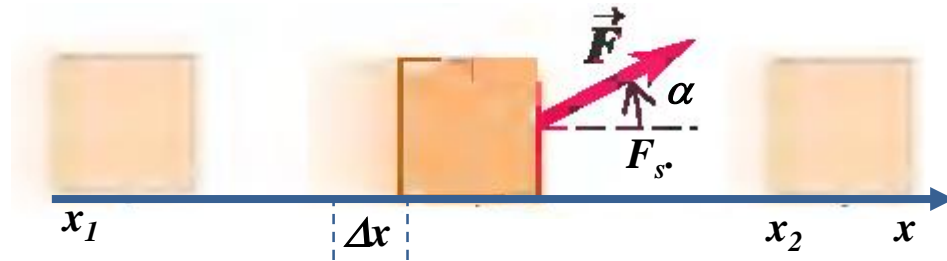
☞ **Chuyển dời bất kỳ** (từ 1 \rightarrow 2)

♦ Chia chuyển dời thành những đoạn vô cùng nhỏ dl để có thể coi là thẳng và có $F = \text{const}$ trên đó.

♦ Công vi phân: $dA = \vec{F} \cdot d\vec{l} = \vec{F}_\perp \cdot d\vec{l} + \vec{F}_\parallel \cdot d\vec{l}$

$$\Rightarrow A = \int_1^2 F_\parallel dl = \int_1^2 F \cos \alpha dl = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

☞ Đơn vị của công: $J = N.m$



1. Công và công suất

Công suất của lực

☞ Đại lượng đặc trưng cho mức độ thực hiện công nhanh hay chậm

♦ Công suất trung bình: $P = \frac{\Delta A}{\Delta t}$

♦ Công suất tức thời: $P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}$

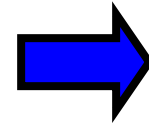
Hay: $P = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{s}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$

☞ Đơn vị: W (watt) = J/s

☞ Đơn vị khác của công suất:

♦ Horsepower (sức ngựa): 1hp = 760 W

♦ kWh (NL điện) : 1kWh = 3600 kJ = 3,6.10⁶ J



2. Động năng

Động năng

☞ Đại lượng thể hiện sự phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của vật thể do công của ngoại lực tác dụng.

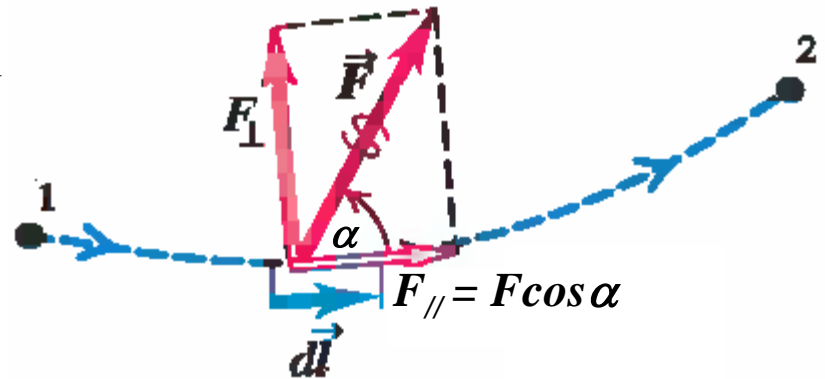
☞ Xét lực tác dụng lên ch/đ trong chuyển dời bất kỳ.

♦ Công: $A = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l}$

♦ Ph/tr ĐLH với ch/đ: $\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$

$$\Rightarrow A = \int_1^2 m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 m \frac{d\vec{l}}{dt} d\vec{v} = \int_1^2 m \vec{v} d\vec{v} = \int_1^2 m \frac{d(\vec{v}^2)}{2} = \int_1^2 d\left(\frac{m\vec{v}^2}{2}\right)$$

$$\text{Hay: } A = \int_1^2 d\left(\frac{mv^2}{2}\right)$$



2. Động năng

Động năng

👉 **Biểu thức:**

♦ $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = W_{đ2} - W_{đ1}$

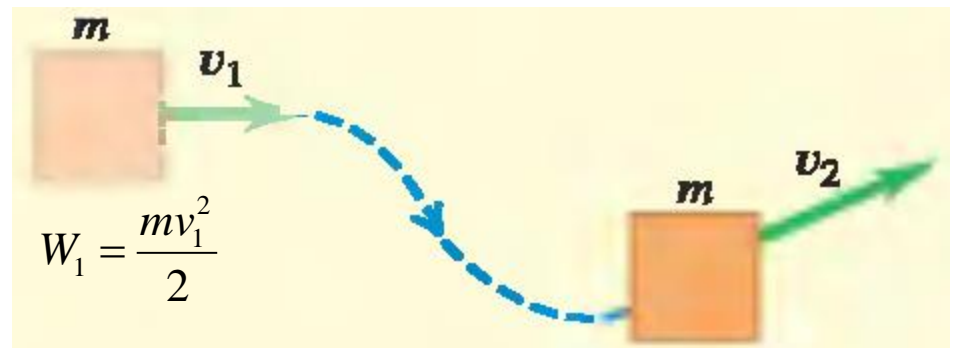
♦ $\frac{mv_i^2}{2} = W_{đi} \Rightarrow$ Gọi là Động năng của chất điểm ở vị trí i

👉 **Định lý động năng:**

♦ *Độ biến thiên động năng của chất điểm trong một chuyển dời bằng công ngoại lực tác dụng lên chất điểm trong chuyển dời đó.*

♦ Khi ngoại lực thực hiện công phát động $A > 0$: động năng chất điểm tăng.

♦ Khi ngoại lực thực hiện công cản $A < 0$: động năng chất điểm giảm.



$$W_2 = \frac{mv_2^2}{2} = W_1 + A$$

4.5. Thế năng và định lý thế năng trong trọng trường đều

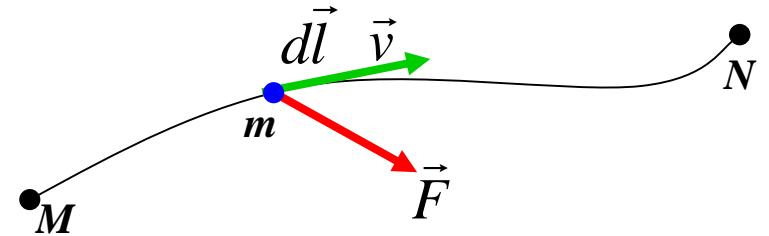
1. Trường lực thế

☞ **Trường lực:** Không gian mà chất điểm khi chuyển động trong đó tại mỗi vị trí luôn chịu tác dụng của một lực \vec{F} .

♦ Lực F là hàm tọa độ: $\vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z)$

♦ Công của lực F để chất điểm di chuyển từ $M \rightarrow N$:

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F}(\vec{r}) \cdot d\vec{l}$$



☞ **Trường lực thế:** Trường lực sinh ra lực $\vec{F}(\vec{r})$ để thực hiện công dịch chuyển, sao cho công A này không phụ thuộc vào hình dạng đường đi mà chỉ phụ thuộc vị trí của điểm đầu và cuối của quỹ đạo CD.

♦ Khi lực thực hiện 1 công dịch chuyển theo đường cong kín $\Rightarrow \oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = 0$

2. Thế năng

a) Định nghĩa

☞ Đại lượng thể hiện sự phụ thuộc vào vị trí tương đối của chất điểm khi chuyển động trong trường lực thế.

b) Định lý thế năng trong trọng trường đều

☞ Chất điểm CĐ từ vị trí 1 \rightarrow 2 trên quỹ đạo bất kỳ trong trường trọng lực \Rightarrow luôn chịu tác dụng của trọng lực:

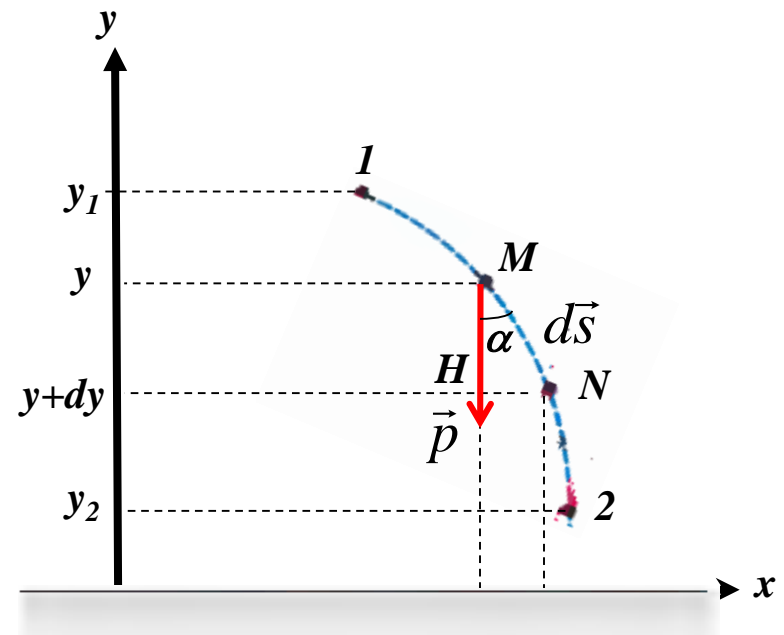
$$\vec{p} = m\vec{g}$$

♦ \vec{g} được coi là trọng trường đều.

☞ Công của trọng lực tác dụng làm ch/đ dịch chuyển từ 1 \rightarrow 2 : $A_{12} = \int_1^2 \vec{p} d\vec{s}$

♦ Xét chuyển dời nhỏ $d\vec{s} \equiv$ hoành độ cong MN \Rightarrow có: $\overrightarrow{MN} \approx d\vec{s}$

♦ Công vi phân: $dA = \vec{p} d\vec{s} \approx p \cdot MN \cdot \cos \alpha = p \cdot MH = -p dy$

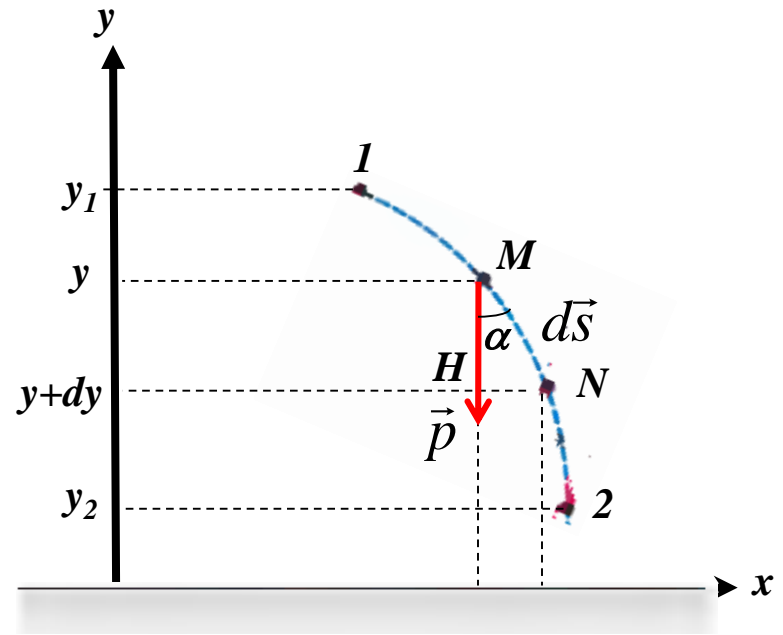


2. Thế năng

b) Định lý thế năng trong trọng trường đều

☞ Công của trọng lực tác dụng làm ch/đ dịch chuyển từ 1 \rightarrow 2 là:

$$\begin{aligned} A_{12} &= \int_1^2 -p dy = p \cdot y_1 - p \cdot y_2 = \\ &= mgy_1 - mgy_2 \end{aligned}$$



♦ A_{12} chỉ \in vào y_1 và y_2 , tức là, chỉ \in vị trí của ch/đ mà \notin đường đi.

♦ Trường trọng lực là trường lực thế

☞ Đặt $y_1 = h_1$ và $y_2 = h_2 \Rightarrow A = mgh_1 - mgh_2$

☞ $W_t = mgh \Rightarrow$ Thế năng chất điểm ở độ cao h

Định lý:

◆ Có: $A = mgh_1 - mgh_2$

◆ *Độ giảm thế năng của chất điểm khi nó di chuyển từ vị trí 1 đến vị trí 2 trong trường lực thế bằng công trường lực thế tác dụng lên chất điểm trong chuyển dời đó.*

Ý nghĩa:

◆ Thế năng là dạng năng lượng lưu trữ \Rightarrow có thể biến đổi sang dạng NL khác

Tính chất:

◆ Thế năng của chất điểm tại một vị trí được xác định sai khác một hằng số cộng nhưng hiệu thế năng giữa hai vị trí thì hoàn toàn xác định.

◆ Giữa trường lực và thế năng có hệ thức liên hệ:

$$A_{MN} = \int_M^N \vec{F} \cdot d\vec{s} = W_t(M) - W_t(N)$$

Nếu cho chất điểm dịch chuyển theo một vòng kín (điểm cuối trùng với điểm đầu):

$$\oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = 0$$

4.6 Định luật bảo toàn cơ năng trong trọng trường

1. Cơ năng

☞ Xét chất điểm chuyển động trong trường lực thế:

♦ Công: trường lực thế thực hiện để di chuyển chất điểm, tương ứng độ giảm thế năng $A = W_{t1} - W_{t2}$

♦ Mặt khác, công này cũng tương ứng độ biến thiên động năng khi chất điểm chuyển động: $A = W_{đ2} - W_{đ1}$

☞ có: $W_{đ2} - W_{đ1} = W_{t1} - W_{t2}$ hay $W_{đ1} + W_{t1} = W_{đ2} + W_{t2}$

$$\text{Cụ thể: } \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 \quad (*)$$

♦ *Tổng động năng và thế năng của chất điểm = cơ năng của chất điểm.*

Định luật

☞ Từ (*) viết được: $W_{đ} + W_t = \frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const}$

♦ *Khi chất điểm chuyển động trong trường lực thế thì cơ năng của chất điểm là một đại lượng được bảo toàn.*

4.6 Định luật bảo toàn cơ năng trong trọng trường

Định luật

☞ Sự chuyển hóa qua lại giữa động năng và thế năng:

♦ Khi tung quả bóng lên cao \Rightarrow tốc độ $v \searrow$

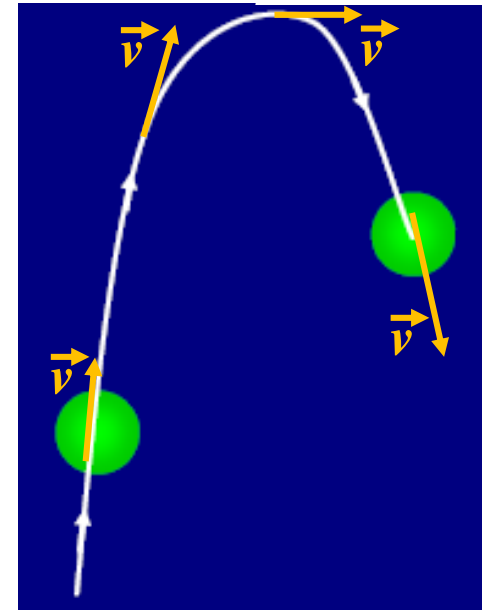
$$\Rightarrow \frac{mv^2}{2} \searrow, \text{ đồng thời } mgh \nearrow$$

\Leftrightarrow Động năng dần dần biến đổi thành thế năng.

♦ Khi quả bóng đi xuống $\Rightarrow v$ tăng trở lại

$$\Rightarrow mgh \searrow, \text{ đồng thời } \frac{mv^2}{2} \nearrow$$

\Leftrightarrow Thế năng dần dần biến đổi thành động năng



♦ *Năng lượng của hệ vật không tự nhiên sinh ra hay mất đi mà chỉ có thể truyền từ vật này sang vật khác hoặc từ dạng này sang dạng khác.*

Ảnh hưởng của lực khác

☞ Công tổng cộng: công do trường lực thế và công do lực khác thực hiện:

$$A = A_{\text{lực thế}} + A_{\text{lực khác}}$$

◆ Theo định lý động năng: $A = W_{đ2} - W_{đ1}$

◆ Công trường lực thế thực hiện: $A_{\text{lực thế}} = W_{t1} - W_{t2}$

$$\Rightarrow W_{đ2} - W_{đ1} = W_{t1} - W_{t2} + A_{\text{lực khác}} \quad \text{Hay: } \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = mgh_1 - mgh_2 + A_{\text{khác}}$$

$$\text{☞ } \Delta W = W_2 - W_1 = \left(\frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 \right) - \left(\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 \right) = A_{\text{khác}}$$

◆ Lực khác thực hiện công phát động ($A > 0$) \Rightarrow cơ năng hệ tăng ($W_2 > W_1$)

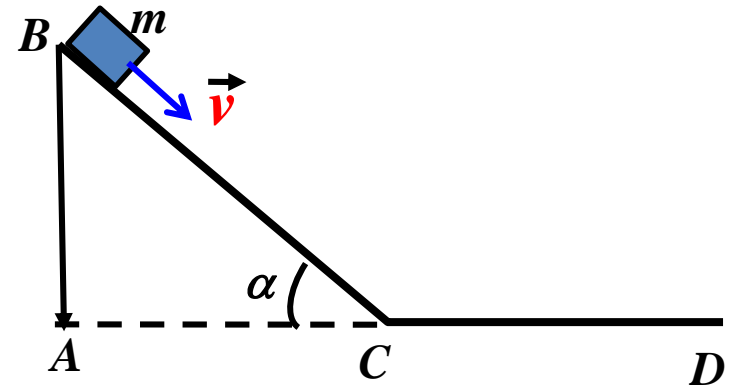
◆ Lực khác thực hiện công cản ($A < 0$) \Rightarrow cơ năng hệ giảm ($W_2 < W_1$)

◆ Lực khác không thực hiện công ($A = 0$) \Rightarrow cơ năng hệ ko đổi ($W_2 = W_1$)

Ảnh hưởng của lực khác

Bài toán

$$\left\{ \begin{array}{l} - BA = h \\ - AD = s \Rightarrow k_{BC} = k_{CD} = k = ? \\ - AC = l \end{array} \right.$$



Phân tích

☞ Cơ năng đoạn BC : W_1

♦ Ở đỉnh dốc \Rightarrow có thế năng W_t^B

♦ Trượt xuống $\Rightarrow W_t^B$ chuyển thành động năng, đạt cực đại tại C , W_d^C

☞ Cơ năng đoạn CD : W_2

♦ Trượt tiếp trên $CD \Rightarrow$ chỉ có biến thiên động năng và tại D , $W_d^D = 0$

☞ Do có ma sát $k \Rightarrow$ biến đổi cơ năng trên quãng đường BCD tương ứng công lực ma sát trượt thực hiện: $W_2 - W_1 = A_{ms}$

Ảnh hưởng của lực khác

Định hướng giải

- ✎ Cơ năng đoạn BC : $W_1 = W_t^B + W_{\vec{d}}^C$
- ✎ Cơ năng đoạn CD : $W_2 = W_{\vec{d}}^C + W_{\vec{d}}^D = W_{\vec{d}}^C$
- ✎ Theo đ/l biến đổi cơ năng, có:

$$W_2 - W_1 = A_{ms}^{BCD} \text{ hay } -W_t^B = A_{ms}^{BC} + A_{ms}^{CD}$$

dấu (-) do F_{ms} thực hiện công cản

- ✎ Công lực ma sát:

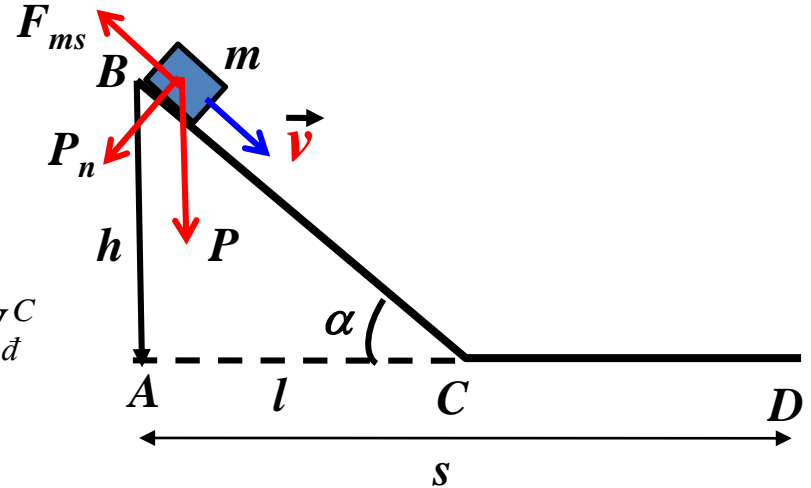
♦ Đoạn BC : $A_{ms}^{BC} = \vec{F}_{ms}^{BC} \cdot \vec{BC} = F_{ms}^{BC} \cdot BC \cdot \cos(\vec{F}_{ms}^{BC}, \vec{BC}) = -F_{ms}^{BC} \cdot BC$

$$A_{ms}^{BC} = -k \cdot P_n \cdot BC = -k \cdot mg \cdot BC \cdot \cos \alpha = -k \cdot m \cdot g \cdot BC \frac{AC}{BC} = -k \cdot m \cdot g \cdot l$$

- ♦ Đoạn CD :

$$A_{CD} = -F_{ms}^{CD} \cdot CD = -k \cdot P \cdot CD = -k \cdot mg(s - l)$$

✎ Kết quả: $mgh = mgkl + mgk(s - l) = m \cdot g \cdot k \cdot s \Rightarrow k = \frac{h}{s}$



2. Sơ đồ thế năng

☞ Trong trường lực thế: chất điểm m có thế năng $W_t = W_t(x, y, z)$

☞ Với bài toán 1 chiều $\Rightarrow W_t = W_t(x)$

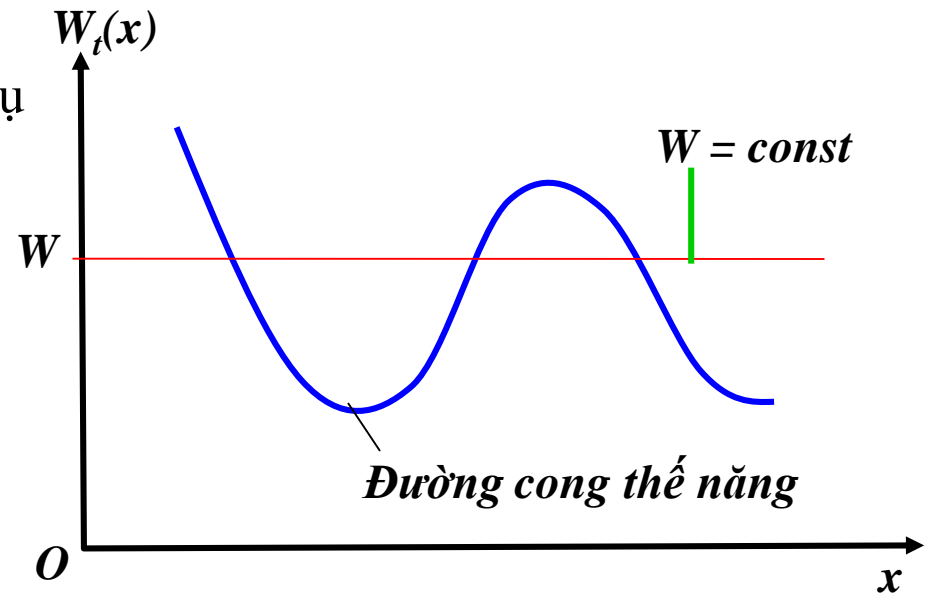
♦ Đồ thị biểu diễn hàm thế năng phụ thuộc tọa độ: *đường cong thế năng*

☞ Theo đ/n: Cơ năng của chất điểm trong trường lực thế, gồm:

$$\frac{mv^2}{2} + W_t(x) = W = \text{const}$$

$$\text{Luôn có: } \frac{mv^2}{2} \geq 0$$

\Rightarrow Giới hạn của CĐ phải thỏa mãn đk: $W_t(x) \leq W$



♦ Trong trường lực thế, chất điểm chỉ có thể CĐ trong phạm vi không gian giới hạn bởi những vị trí (tọa độ) nhất định, sao cho, thế năng $W(x)$ của nó không vượt quá cơ năng tổng cộng W .

2. Sơ đồ thế năng

☞ Xét:

♦ Đường cong thế năng $W(x)$ có cực đại tại M và cực tiểu tại N .

♦ Cơ năng $W = \text{const}$ cắt $W(x)$ tại A, B, C .

☞ Từ đ/k giới hạn CĐ ($W_t(x) \leq W$)
 \Rightarrow có thể xác định CĐ của chất điểm tương ứng các vị trí:

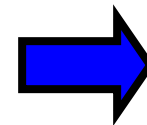
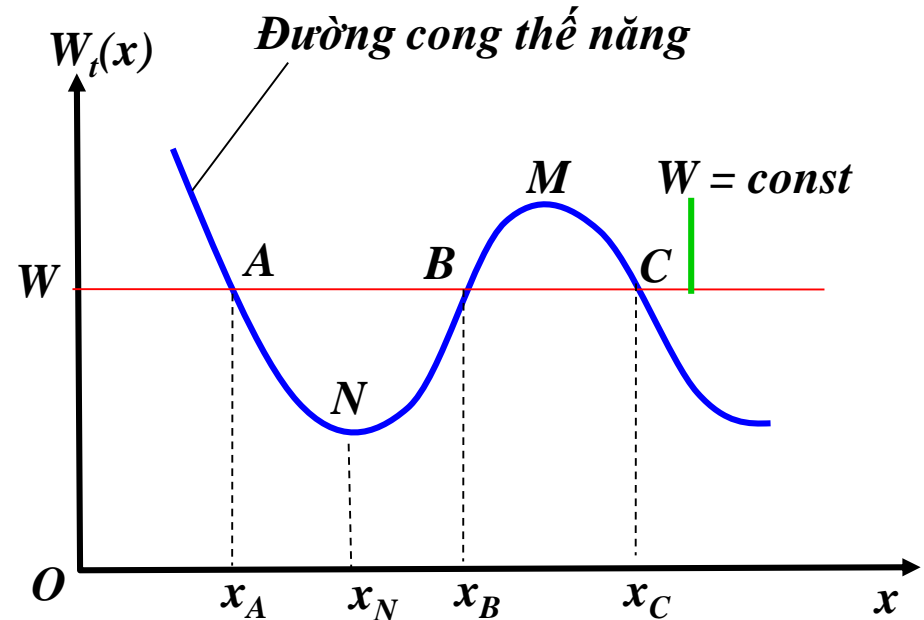
♦ $x_A \leq x \leq x_B$: CĐ trong phạm vi hữu hạn từ x_A đến x_B qua vị trí x_N ;

♦ $x = x_A, x_B, x_C$: $W_t(x) = W \Rightarrow W_d = 0$ và vận tốc $v_x = 0 \Rightarrow$ CĐ của chất điểm đổi chiều tại các vị trí này;

♦ Trong khoảng AN : $\frac{dW}{dx} < 0 \Rightarrow F = -\frac{dW}{dx} > 0 \Rightarrow$ ch/điểm bị đẩy ra khỏi O .

♦ $x = x_N$: W_t cực tiểu và W_d cực đại;

♦ $x \geq x_C$ chất điểm bị đẩy ra vô cùng.

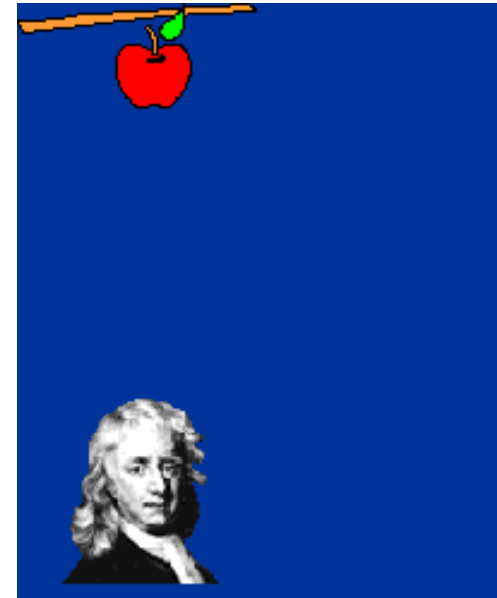
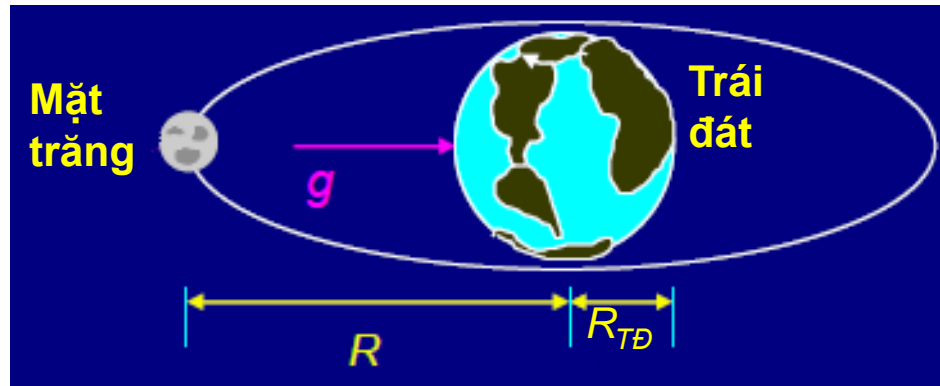


4.7. Trường hấp dẫn

Định luật hấp dẫn vũ trụ Newton



Issac Newton (1643-1727)

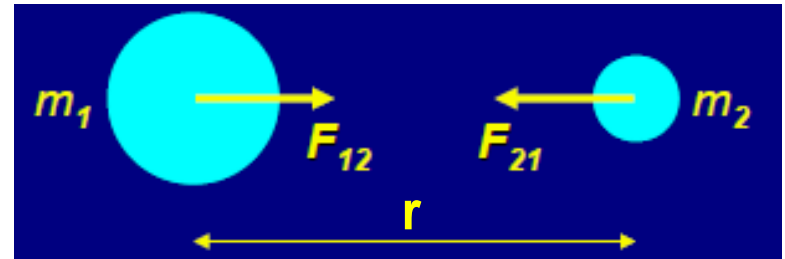


4.7. Trường hấp dẫn

1. Định luật hấp dẫn vũ trụ Newton

☞ Lực hấp dẫn:

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



♦ $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$: hằng số hấp dẫn vũ trụ

♦ Hai chất điểm khối lượng m_1 và m_2 nằm cách nhau một khoảng r , luôn hút nhau bằng các lực như nhau, có phương trùng với đường thẳng nối tâm 2 chất điểm, ngược chiều nhau, có độ lớn tỉ lệ thuận với tích số khối lượng của 2 chất điểm, tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

Trường hấp dẫn

☞ Môi trường vật chất đặc biệt tồn tại trong không gian bao quanh mỗi vật có khối lượng \Rightarrow đóng vai trò truyền lực hấp dẫn từ vật này đến vật khác.

☞ Trường hấp dẫn của trái đất - trọng trường \Rightarrow truyền lực hút (trọng lực) từ trái đất đến mọi vật vật thể khác trong không gian.

Ứng dụng định luật hấp dẫn vũ trụ Newton

Xác định gia tốc trọng trường theo độ cao

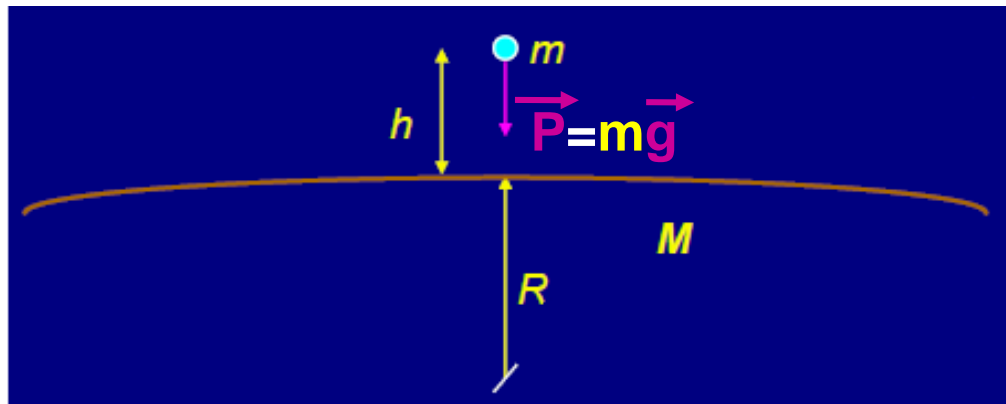
☞ m ở độ cao h so với mặt trái đất (bán kính R , khối lượng M)

◆ Chịu tác dụng của trọng lực:

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Có độ lớn bằng lực hấp dẫn:

$$mg = G \frac{Mm}{r^2} \quad \text{với: } r = R + h$$



$$\left. \begin{array}{l} \text{☞ Gia tốc trọng trường ở độ cao } h: g_h = G \frac{M}{(R+h)^2} \\ \text{☞ Gia tốc trọng trường ở mặt đất: } g_0 = G \frac{M}{R^2} \end{array} \right\} \frac{g_h}{g_0} = \left(1 + \frac{h}{R}\right)^{-2}$$

◆ Nếu $h \ll R$: $\frac{g_h}{g_0} \approx 1 - \frac{2h}{R} \Rightarrow g_h \approx g_0 \left(1 - \frac{2h}{R}\right)$

◆ *Càng lên cao gia tốc trọng trường càng giảm*

Ứng dụng định luật hấp dẫn vũ trụ Newton

Xác định khối lượng các thiên thể

Khối lượng trái đất Vì $g_0 = G \frac{M}{R^2}$

☞ $M = g_0 \frac{R^2}{G} \approx 9,80 \frac{(6400 \cdot 10^2)^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 6 \cdot 10^{24} (kg)$

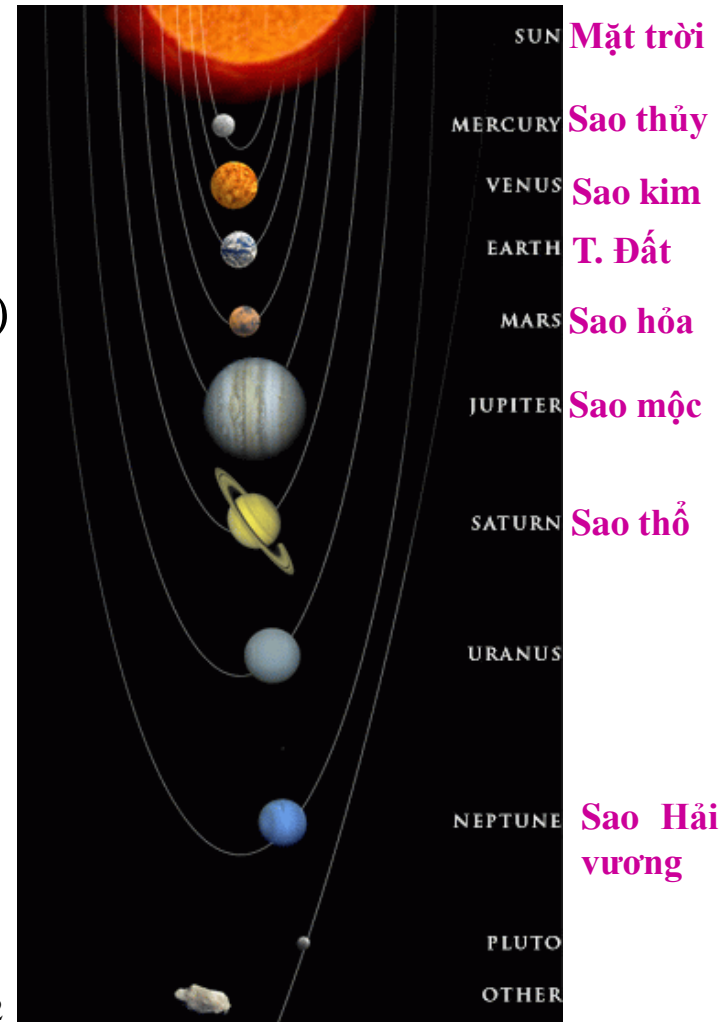
Khối lượng mặt trời

☞ Coi trái đất CĐ trên quỹ đạo tròn quanh mặt trời (có vận tốc thẳng v) \Rightarrow lực hấp dẫn có vai trò như lực hướng tâm, tức là:

$$G \frac{M \cdot M'}{R'^2} = M' \frac{v^2}{R'} \quad \text{với: } v = \frac{2\pi R'}{T}$$

và R' là khoảng cách từ tâm trái đất đến tâm mặt trời.

☞ $M' = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{R'^3}{G} \approx \left(\frac{2 \cdot 3,14}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \right)^2 \frac{(150 \cdot 10^6)^3}{6,67 \cdot 10^{-11}} \approx 2 \cdot 10^{30} (kg)$



2. Tính chất thể của trường hấp dẫn

☞ Xét chất điểm m chuyển động trong trường hấp dẫn của trái đất trên quỹ đạo từ điểm 1 đến 2

♦ Công của lực F trong chuyển dời vi phân ds (coi $F = \text{const}$ trong đoạn dịch chuyển ds)

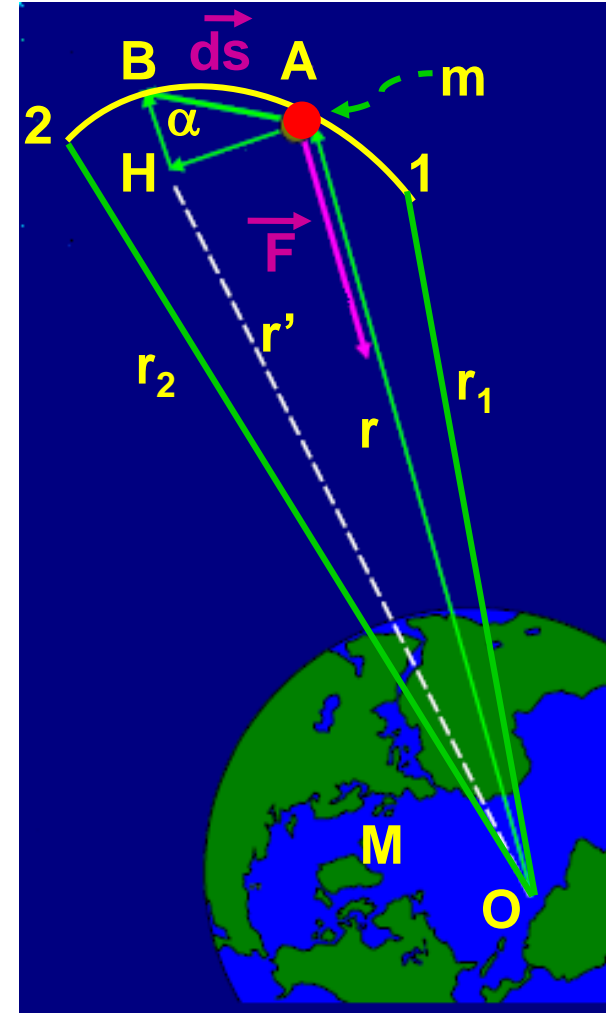
$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F ds \cos \alpha = F \cdot \overline{BH} \approx F(r' - r)$$

$$\text{Hay: } dA = -F dr = -G \frac{Mm}{r^2} dr$$

$$\Rightarrow A = -\int_1^2 F \cdot ds = \int_{r_1}^{r_2} \left(-G \frac{Mm}{r^2} \right) \cdot dr$$

$$A = \left(-G \frac{Mm}{r_1} \right) - \left(-G \frac{Mm}{r_2} \right) = W_{t1} - W_{t2}$$

♦ Công của lực F không phụ thuộc dạng đường đi mà chỉ phụ thuộc điểm đầu điểm cuối \Rightarrow *trường hấp dẫn là trường thế*



2. Tính chất thế của trường hấp dẫn

Hệ quả

☞ Thế năng của chất điểm m trong trường hấp dẫn của chất điểm M

♦ tại điểm A :

$$W_t(A) = \left(-G \frac{Mm}{r_A} \right) + C$$

♦ tại điểm B :

$$W_t(B) = \left(-G \frac{Mm}{r_B} \right) + C$$

♦ Thỏa mãn: $A_{BA} = W_t(A) - W_t(B)$

☞ Thế năng tại điểm bất kỳ : $W_t(r) = -G \frac{Mm}{r} + C$

♦ C là hằng số có giá trị bằng thế năng tại ∞ , tức là: $W_t(\infty) = C$

3. Chuyển động trong trường hấp dẫn

☞ Tên lửa (đầy vệ tinh - satellite) được phóng đi với vận tốc v_0 từ 1 điểm trên trái đất...

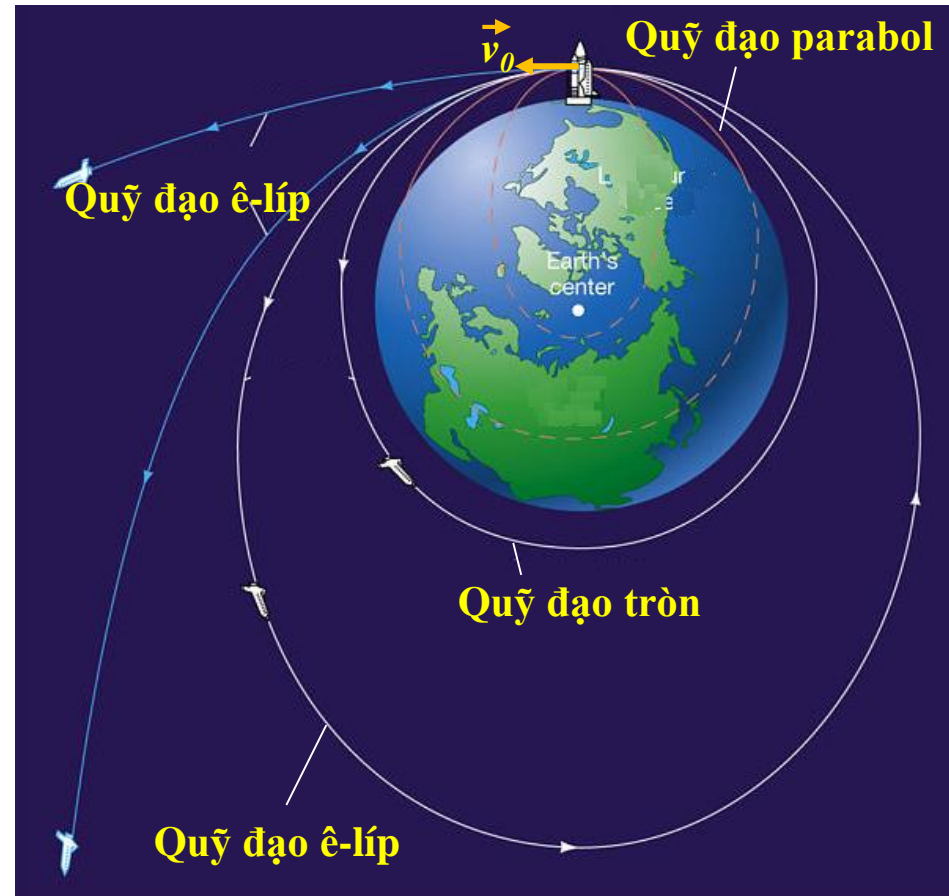
⇒ tùy thuộc v_0 , quỹ đạo của tên lửa có thể là:

♦ Parabol: rơi xuống đất sau khi phóng;

♦ Tròn: trở thành vệ tinh của TĐ;



♦ Ê-líp : xu hướng bay vào vũ trụ.



3. Chuyển động trong trường hấp dẫn

Tính các vận tốc vũ trụ

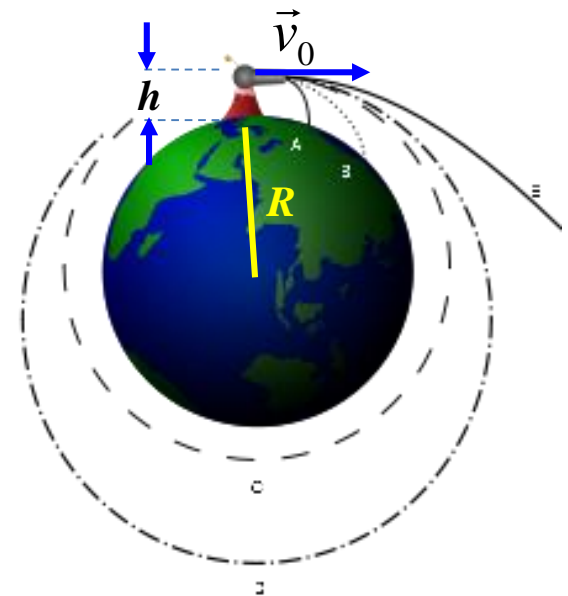
☞ **Vận tốc vũ trụ cấp I:** độ lớn cần thiết của v_0 để đẩy tên lửa lên không gian, bay quanh trái đất theo quỹ đạo tròn (lực ly tâm cân bằng lực hấp dẫn)

$$G \frac{M.m}{(R+h)^2} = \frac{mv_I^2}{R+h} \quad (R \approx 6378 \text{ km})$$

$$\text{khi } h \ll R \Rightarrow v_I = \sqrt{g_0 R} \approx 7,9 \text{ km/s}$$

☞ **Vận tốc vũ trụ cấp II:** độ lớn cần thiết của v_0 để đẩy tên lửa bay khỏi trái đất

$$v_{II} = \sqrt{2} \sqrt{g_0 R} = \sqrt{2} v_I \approx 11,2 \text{ km/s}$$



3. Chuyển động trong trường hấp dẫn

Tính các vận tốc vũ trụ

☞ Vận tốc vũ trụ cấp II đối với một số hành tinh trong hệ mặt trời $v_{II} = \sqrt{2 \frac{GM}{R}}$

| | $R \text{ (m)}$ | $M \text{ (kg)}$ | $g \text{ (m/s}^2\text{)}$ | $v_{II} \text{ (m/s)}$ |
|------------------|---------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| Trái đất | 6.378×10^6 | 5.976×10^{24} | 9.81 | 11.2×10^3 |
| Mặt trăng | 1.737×10^6 | 7.349×10^{22} | 1.62 | 2.38×10^3 |
| Sao mộc | 7.149×10^7 | 1.900×10^{27} | 24.8 | 59.5×10^3 |
| Mặt trời | 6.950×10^8 | 1.989×10^{30} | 275 | $618. \times 10^3$ |

