

Chương 2: ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT ĐIỂM

2.1 Khái niệm cơ bản

- Lực: là 1 đại lượng vật lý (N) đặc trưng cho sự tương tác.
 - Ngoại lực: là các lực từ phía bên ngoài tác động lên vật.
 - Nội lực: là lực tương tác giữa các phần tử bên trong.
 Khi vật không bị biến dạng: $\sum \text{nội lực} = 0$.
- Khối lượng m: là 1 đại lượng vật lý (Kg) đặc trưng cho tính quán tính.

2.2 Ba định luật Newton

2.2.1 Định luật 1: (Định luật quán tính)

- a. **Phát biểu:** 1 vật cô lập (không chịu tác dụng của ngoại lực) nếu vật đang đứng yên sẽ đứng yên mãi mãi, còn nếu đang chuyển động thì sẽ chuyển động thẳng đều.

$$\begin{cases} \vec{a} = 0 \Rightarrow \vec{v} = 0 \\ \vec{a} = \text{hằng số} \Rightarrow \vec{v} = \text{hằng số} \end{cases}$$

- b. **Hệ quy chiếu quán tính:** là hệ quy chiếu nhìn vật cô lập thấy nó đứng yên hay chuyển động thẳng đều.

K là hệ quy chiếu quán tính thì mọi hệ quy chiếu K' nào đó đứng yên hay chuyển động thẳng đều so với K đều là hệ quy chiếu quán tính.

Ví dụ: Mặt đất được coi là hệ quy chiếu quán tính (trọng đối).

2.2.2 Định luật 2: (Định luật cơ bản của vật chuyển động có gia tốc)

- a. **Phát biểu:** Một vật có khối lượng m, dưới tác dụng của tổng ngoại lực thì vật đó chuyển động có gia tốc:

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

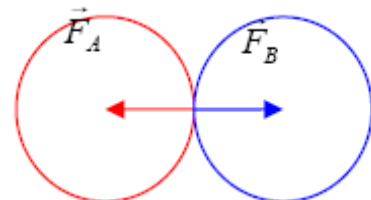
- b. **Phương trình động lực học cơ bản:** $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

2.2.3 Định luật 3: (Định luật tương tác giữa 2 vật)

- a. **Phát biểu:** 2 vật A và B tương tác với nhau:

Vật A tác dụng lên vật B một lực \vec{F}_B

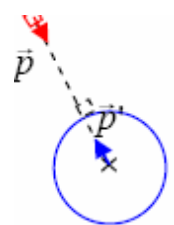
thì vật B tác dụng lên vật A một lực $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$



- b. **Các cặp lực liên kết:**

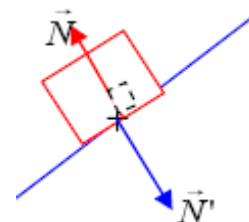
- Trọng lực:** Khi vật có khối lượng m chuyển động trong trái đất thì ta có: \vec{P}, \vec{P}'

- Điểm đặt: khối tâm G
- Phương: đường thẳng đứng (coi mặt đất ngang)
- Chiều: hướng xuống.
- Độ lớn:



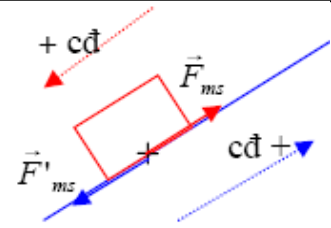
- Phản lực:** vuông góc, khi 2 vật A, B tiếp xúc chùng:

- Điểm đặt: tại điểm tiếp xúc.
- Phương: vuông góc mặt tiếp xúc.
- Chiều: từ điểm tiếp xúc hướng đến vật đang xét.
- Độ lớn: $N = N'$ (giải phương trình tìm N, N')



• **Lực ma sát trượt:** khi 2 vật A, B trượt lên nhau

- Điểm đặt: tại điểm tiếp xúc.
- Phương: theo phương chuyển động.
- Chiều: ngược chiều chuyển động.
- Độ lớn: $[\vec{F}_{ms}] = [\vec{F}'_{ms}] = KN$

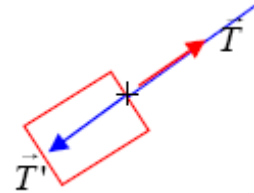


• **Sức căng dây:** Xuất hiện khi vật tiếp xúc treo với sợi dây:

B: là sợi dây treo vật A.

\vec{T} : ngoại lực của A do sợi dây tác dụng.

- Điểm đặt: tại điểm tiếp xúc.
- Phương: phương sợi dây.
- Chiều: từ điểm tiếp xúc hướng ra ngoài vật đang xét.
- Độ lớn: $T = T'$ (giải phương trình tìm T, T')

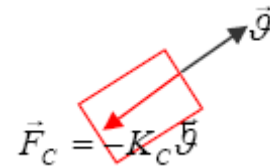


• **Lực cản môi trường:** $\vec{F}_c = -K_c \cdot \vec{v}$

K_c : hệ số cản của môi trường.

\vec{F}_c : cùng phương, ngược chiều với \vec{v}

- Điểm đặt: tại điểm tiếp xúc.
- Phương: cùng phương \vec{v} (phương tiếp tuyến).
- Chiều: ngược chiều \vec{v} .
- Độ lớn: $[\vec{F}_c] = K_c \cdot v$

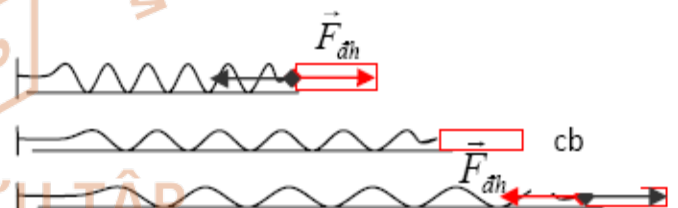


• **Lực đàn hồi lò xo:** $\vec{F}_{dh} = -K_{dh} \cdot \vec{x}$

K_{dh} : hệ số đàn hồi của lò xo.

\vec{F}_{dh} : cùng phương, ngược chiều với li độ \vec{x}

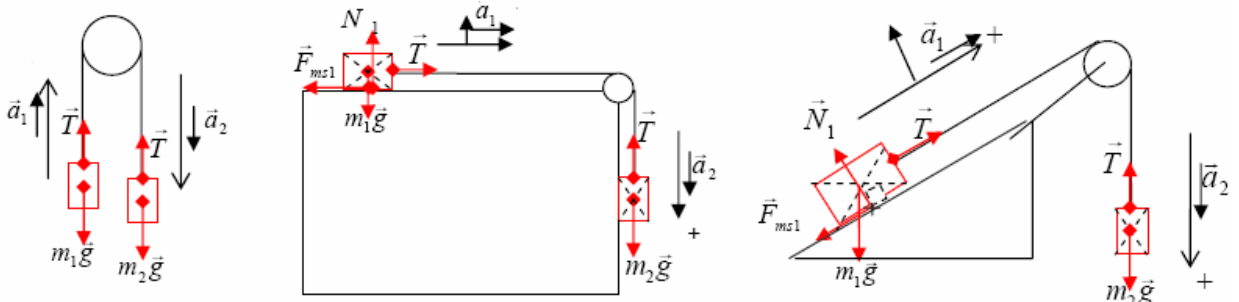
- Điểm đặt: tại điểm tiếp xúc.
- Phương: phương chuyển động.
- Chiều: ngược chiều với li độ Ox .
- Độ lớn: $[\vec{F}_{dh}] = K_{dh} \cdot x$



❖ **Giải bài toán bằng phương pháp động lực học:**

- **Bước 1:** Phân tích lực đối với các vật người ta cho khối lượng.
- **Bước 2:** Viết phương trình lực: dùng định luật 2 Newton: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$
- **Bước 3:** Chiếu phương trình lực lên 2 phương:
 - Phương vuông góc chuyển động \rightarrow tìm phản lực $N \rightarrow$ lực ma sát.
 - Phương chuyển động: chọn chiều dương là chiều chuyển động, gia tốc theo chiều dương.
- **Bước 4:** Giải hệ phương trình theo phương chuyển động \rightarrow kết quả.

VD:



- Dây không giãn \rightarrow vận tốc tại mọi điểm trên dây như nhau $\rightarrow a_1 = a_2$ (độ lớn)
- Trên mọi điểm của sợi dây không có vật gì có khối lượng thì sức căng tại mọi điểm như nhau $\rightarrow T_1 = T_2 = T$

2.3 Hệ quy chiếu bất quán tính – Lực quán tính

2.3.1 Hệ quy chiếu bất quán tính

Là hệ quy chiếu chuyển động với gia tốc so với hệ quy chiếu quán tính.

K là hệ quy chiếu quán tính, thì mọi K' chuyển động có gia tốc đối với K đều là hệ quy chiếu bất quán tính.

2. Lực quán tính: $\vec{F}_{qt} = -m\vec{a}_0$

- Điểm đặt: tại khối tâm G.
- Phương: cùng phương
- Chiều: Ngược chiều
- Độ lớn: $|\vec{F}_{qt}| = ma_0$

Ghi chú: lực quán tính chỉ xuất hiện ở hệ quy chiếu bất quán tính.

VD1: Treo hệ ròng rọc trong thang máy:

Chọn mặt đất là hệ quy chiếu quán tính K.

Hệ phương trình lực tương ứng:

$$\begin{cases} m_1\vec{g} + \vec{T} = m_1\vec{a}_1 = m_1(\vec{a}'_1 + \vec{a}_0) \\ m_2\vec{g} + \vec{T} = m_2\vec{a}_2 = m_2(\vec{a}'_2 + \vec{a}_0) \end{cases}$$

$a_1 \neq a_2$ vì vật 1 đi lên cùng chiều, vật 2 đi xuống ngược chiều.

Chọn sàn thang máy: hệ quy chiếu bất quán tính.

$$\begin{cases} m_1\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_{qt1} = m_1\vec{a}'_1 \\ m_2\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_{qt2} = m_2\vec{a}'_2 \end{cases}$$

\vec{a}'_1 : gia tốc vật 1 đối với sàn thang máy $\neq a_1$ đối với đất:

\vec{a}'_2 : gia tốc vật 2 đối với sàn thang máy $\neq a_2$ đối với đất:

Chú ý: chiều:

Thang máy đi xuống chậm dần: $\vec{a}_0 \uparrow$

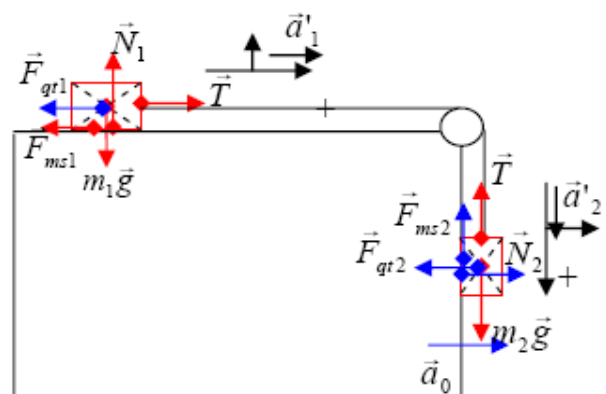
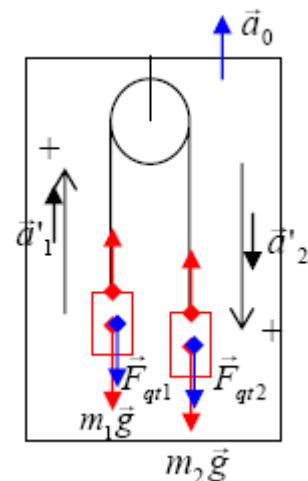
Thang máy đi lên chậm dần: $\vec{a}_0 \downarrow$

VD2:

Mặt bàn đứng yên: m_2 trượt trên cạnh bàn $\vec{N}_2 = 0$.

Mặt bàn chuyển động sang phải: m_2 bị lực quán tính

đè vào bàn $\rightarrow \vec{N}_2 \neq 0$, có thêm lực ma sát \vec{F}_{ms2}



2.4 Động lượng – Xung lượng

2.4.1 Định nghĩa động lượng: \vec{p}

Một vật có khối lượng m chuyển động với vận tốc \vec{v} . Thì $\vec{p} = m\vec{v}$

2.4.2 Định lý về động lượng:

Phát biểu: Đạo hàm véctơ động lượng theo thời gian bằng tổng ngoại lực tác dụng lên vật.

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

2.4.3 Định luật bảo toàn động lượng

a. Bảo toàn toàn phương:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{p} = m\vec{v} = hs \Rightarrow \vec{v} = hs \rightarrow \text{vật chuyển động thẳng đều.}$$

b. Bảo toàn 1 phương:

Hình chiếu tổng ngoại lực theo 1 phương = 0 thì động lượng theo phương đó sẽ bảo toàn.

$$\sum \vec{F} \neq 0, F_x = 0 \Rightarrow p_x = mv_x = hs \Rightarrow v_x = hs \rightarrow \text{vật chuyển động theo phương x đều.}$$

2.4.4 Xung lượng

Xung lượng hay là xung của 1 lực \vec{F} trong khoảng thời gian $\Delta t = t_2 - t_1$ bằng độ biến thiên động lượng $\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$

$$\int_{\vec{p}_1}^{\vec{p}_2} d\vec{p} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}.dt \Rightarrow \Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$$

Nếu dùng lực trung bình \vec{F} trong khoảng thời gian Δt thì $\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \vec{F}.\Delta t$

2.5 Cơ năng của chất điểm

2.5.1 Công của lực \vec{F}

a. Công nguyên tố:

$$dA = \vec{F}.d\vec{l} = F.dl.\cos\alpha$$

α : góc hợp bởi \vec{F} và $d\vec{l}$

Nếu: α nhọn ($dA > 0$): công phát động, lực làm cho vật di chuyển

α tù ($dA < 0$): công cản, lực làm cản vật chuyển động.

$\alpha = 90^\circ$ ($dA = 0$): lực không tạo công.

b. Công của lực khi vật di chuyển $A \rightarrow B$:

$$A_{F(AB)} = \int_A^B dA = \int_A^B \vec{F}.d\vec{l}$$

Chúng ta sử dụng công thức này khi lực \vec{F} không đổi, góc α không đổi.

VD: Công của lực ma sát: $A_{F_{ms}(AB)} = -kmg \cos \alpha . AB$

Công của trọng lực: $A_{m\vec{g}(AB)} = mg \sin \alpha . AB$

Công của phản lực: $A_{\vec{N}} = 0$ vì $\vec{N} \perp d\vec{l}$

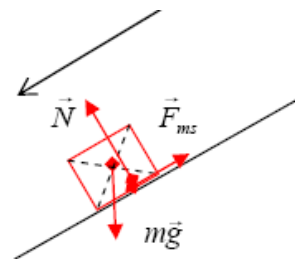
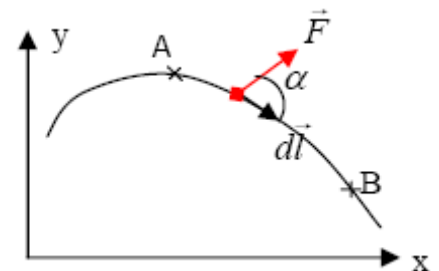
2.5.2 Động năng: là năng lượng thể hiện sự chuyển động của vật

$$W_d = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow dA_{\vec{F}} = dW_d$$

CM: $dA = \vec{F}.d\vec{l}$

$$\text{Mà } \vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} + F_z\vec{k} = m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

$$d\vec{l} = dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k}$$



$$\Rightarrow dA = F_x dx + F_y dy + F_z dz = ma_x + ma_y + ma_z$$

Mà: $a_x = \frac{dv_x}{dt} \dots$ và $v_x = \frac{dx}{dt}$

$$\Rightarrow dA = mv_x dv_x + mv_y dv_y + m v_z dv_z = d\left[\frac{1}{2}m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)\right] = d\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$$

➤ **Tính công bằng động năng:**

CHÚ Ý: \vec{F} là tổng các ngoại lực tác dụng. Vd: \vec{F} là tổng của 3 lực: $\vec{N}, \vec{P}, \vec{F}_{ms}$

Khi đó: $A_{F(AB)} = \int_A^B dA = \int_{W_{dA}}^{W_{dB}} dW_d = W_{dA} - W_{dB} = \Delta W_d$

Kết luận: Công của tổng ngoại lực di chuyển vật thì bằng độ biến thiên động năng.

2.5.3 Thế năng: W_t là năng lượng thể hiện vị trí của vật.

a. Lực thế:

\vec{F} là lực thế $\Leftrightarrow \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l} = f(\vec{r}_A, \vec{r}_B)$ Công di chuyển chất điểm không phụ thuộc vào đường đi

mà chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối.

\vec{F} là lực thế $\Leftrightarrow \oint_{(c)} \vec{F} \cdot d\vec{l} = 0$: Công di chuyển trong đường cong kín = 0.

b. Trường lực thế: Là khoảng không gian chỉ chịu tác dụng của lực thế.

VD: \vec{F}_{hd} : lực hấp dẫn \rightarrow Trường hấp dẫn.

\vec{P} : Trọng lực \rightarrow Trường trọng lực.

$\vec{F}_{dh} = -k\vec{x}$: lực đàn hồi \rightarrow Trường đàn hồi.

c. Thế năng:

Trong trường lực thế luôn luôn tồn tại 1 hàm W_t phụ thuộc vào vị trí gọi là thế năng. sao cho công nguyên tố bằng độ giảm thế năng nguyên tố $dA_F = -dW_t$

$$A_{\vec{F}(AB)} = \int_A^B dA_{\vec{F}(AB)} = \int_{W_{tA}}^{W_{tB}} -dW_t = W_{tA} - W_{tB} = -\Delta W_t$$

Công của lực thế khi di chuyển vật từ A \rightarrow B = độ giảm thế năng.

d. Liên hệ giữa lực thế và thế năng W_t :

$$\vec{F} = -\text{grad}W_t = -\left(\frac{\partial}{\partial x} \cdot \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \vec{k}\right)W_t$$

CM: $\vec{P} = m\vec{g}$ là lực thế $\rightarrow W_t = ?$

$$\vec{P} = -mg \cdot \vec{j}$$

$$d\vec{l} = dx\vec{i} + dy\vec{j} + dz\vec{k}$$

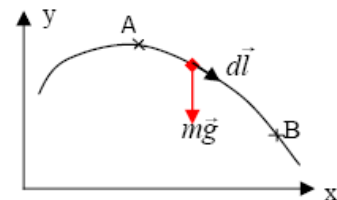
$$dA = -mg dy$$

$$A_{\vec{P}(AB)} = \int_A^B \vec{P} \cdot d\vec{l} = -mg \int_{y_A}^{y_B} dy = mgy_A - mgy_B = f(y_A, y_B) = W_{tA} - W_{tB}$$

Vậy $\vec{P} = m\vec{g}$ là lực thế do công phụ thuộc (vào vị trí A, B).

Tổng quát: $W_t = mgy + C$ (C là hằng số thế năng, phụ thuộc gốc thế năng).

Chọn gốc thế năng tại O $\Rightarrow W_{t(y=0)} = 0 \rightarrow C=0 \rightarrow W_t = mgy$



CM: Lực đàn hồi: lực thế \rightarrow

$\Rightarrow W_t = \frac{1}{2}kx_2$: gốc thế năng ở vị trí cân bằng.

2.5.4 Định luật bảo toàn cơ năng

Giả sử: $\sum \vec{F} = \vec{F} + \vec{F}'$ (\vec{F} : lực thế, \vec{F}' : lực phi thế).

- Công của tổng ngoại lực bằng độ biến thiên động năng.

$$A_{\sum \vec{F}} = W_{dB} - W_{dA} = \Delta W_d$$

- Công của lực thế bằng độ giảm thế năng .

$$A_{\vec{F}} = W_{tA} - W_{tB} = -\Delta W_t$$

- Công của lực phi thế bằng độ biến thiên cơ năng.

$$A_{\vec{F}'} = W_B - W_A = \Delta W$$

- Chỉ có lực thế (lực phi thế = 0). $\vec{F}' = 0 \Rightarrow \Delta W = 0 \Rightarrow W_A = W_B = hs$

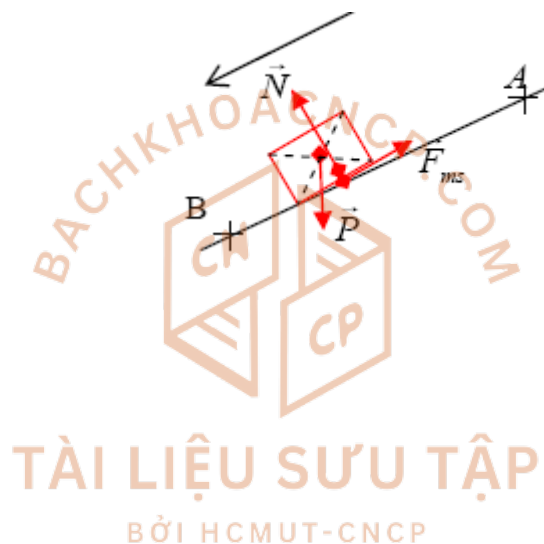
cơ năng hệ bảo toàn

VD:

$$A_{\sum \vec{F}} = W_{dB} - W_{dA}$$

$$A_{\vec{F}_{ms}} = W_B - W_A$$

$$A_P = W_{tA} - W_{tB}$$



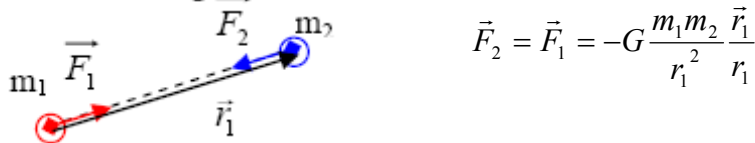
2.6 Trường hấp dẫn:

2.6.1 Lực hấp dẫn: Cho 2 chất điểm khối lượng , đặt cách nhau 1 khoảng r , thì hút nhau bởi lực:

$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

G : Hằng số hấp dẫn. $G=6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

Kết luận: 2 chất điểm cách nhau 1 khoảng nào đó luôn luôn hút nhau bằng những lực tỉ lệ với tích khối lượng của chúng và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách đó.



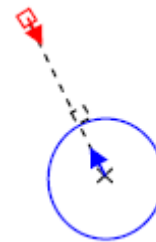
$$\vec{F}_2 = \vec{F}_1 = -G \frac{m_1 m_2}{r_1^2} \frac{\vec{r}_1}{r_1}$$

VD: Xác định g :

$$P = F = G \frac{mM}{(R+h)^2} = mg \Rightarrow g = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

$$h = 0 \Rightarrow g_0 = G \frac{M}{R^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{(6,37 \cdot 10^6)^2} \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$g = g_0 \left(\frac{R}{R+h} \right) \approx g_0 \left(1 - \frac{2h}{R} \right)$$



2.6.2 Trường hấp dẫn

Mỗi chất điểm tạo ra xung quanh nó một trường đặc biệt được gọi là trường hấp dẫn. Trong trường này, các chất điểm sẽ bị tác dụng 1 lực gọi là lực hấp dẫn.

Chứng minh lực hấp dẫn là lực thế:

$$\begin{aligned} A_{12} &= \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_1^2 -G \frac{Mm}{r^3} \vec{r} \cdot d\vec{l} = -GMm \int_1^2 \frac{r \cdot dl \cdot \cos \alpha}{r^3} \\ &= -GMm \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = -GMm \left(-\frac{1}{r} \right) \Big|_{r_1}^{r_2} = \left(-\frac{GMm}{r_1} \right) - \left(-\frac{GMm}{r_2} \right) \end{aligned}$$

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2}$$

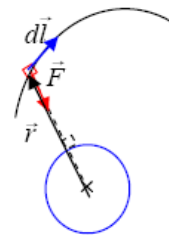
Công này chỉ phụ thuộc vào vị trí đầu và vị trí cuối \square lực hấp dẫn là lực thế, trường hấp dẫn là trường thế. Thế năng của trường hấp dẫn:

$$\Rightarrow W_t = -G \frac{Mm}{r} + C$$

Chọn gốc thế năng ở ∞ : $r = \infty \Rightarrow W_{t(\infty)} = 0 \Rightarrow C = 0$

Chọn gốc thế năng ở mặt đất: $r = R$: $r = R \Rightarrow C = G \frac{Mm}{R}$

$$W_{t(h)} = -G \frac{Mm}{R+h} + G \frac{Mm}{R} = GMm \frac{h}{R(R+h)} = m \left(\frac{GM}{R^2} \right) h = mg_0 h$$



❖ **Vận tốc vũ trụ cấp 1 và cấp 2.**

ĐN: Vận tốc vũ trụ cấp 1 là vận tốc tối thiểu cần cấp cho 1 vật để nó trở thành vệ tinh của trái đất, nghĩa là quỹ đạo của nó là hình tròn bao quanh trái đất. Hay nói cách khác đó là vận tốc tối thiểu để thắng được lực hút của trái đất để bay vào vũ trụ.

Xác định v_1 :

$$a_n = g_0 = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v_1 = \sqrt{g_0 R} \approx 7,9 \text{ km/s}$$

Xác định v_{II} : Trường lực thế: $W = hs$ (cơ năng bảo toàn).

Khi vật xuất phát từ mặt đất với vận tốc \vec{v} và bay xa vô cùng:

$$\frac{1}{2}mv^2 + \left(-G \frac{Mm}{R}\right) = \frac{1}{2}mv_\infty^2 + 0 \text{ mà } \frac{1}{2}mv_\infty^2 \geq 0$$

$$v^2 \geq 2G \frac{M}{R} = 2g_0 R$$

$$v_{II} = \sqrt{2g_0 R} = 11,2 \text{ km/s} \Rightarrow v \geq v_{II}$$

Kết luận:

$v < v_1$: Vật rơi trở lại mặt đất.

$v = v_1$: Vật chuyển động với quỹ đạo là đường tròn.

$v_{II} > v > v_1$: Vật chuyển động với quỹ đạo là elip.

$v \geq v_{II}$: Vật chuyển động với quỹ đạo là parabol thoát khỏi trái đất.

