

Chương IV

CƠ NĂNG & TRƯỜNG LỰC THỂ

Bài giảng Vật lý đại cương

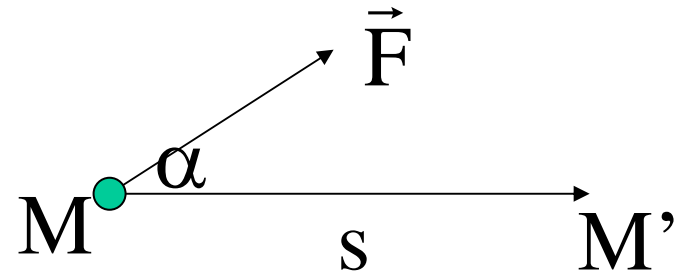
Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

1. Công và công suất

1.1. Định nghĩa: $A = \vec{F} \cdot \vec{s}$



$$A = F \cdot MM' \cdot \cos \alpha$$

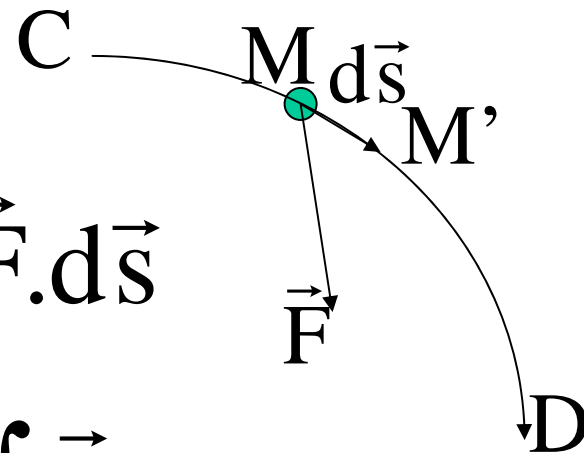
$\cos \alpha > 0$ Lực phát động

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$\cos \alpha < 0$ Lực cản

Lực sinh công khi
điểm đặt của nó
chuyển dời

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s}$$



$$A = \int_{\overset{\curvearrowright}{CD}} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

1.2. Công suất

Trong khoảng thời gian Δt lực sinh công $\Delta A \rightarrow$
công suất trung bình:

$$\bar{P} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

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

Công suất có giá trị = đạo hàm của công theo
thời gian

$$dA = \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

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

Công suất bằng tích vô hướng
của lực tác dụng với véc tơ vận
tốc của chuyển dời

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

2. Năng lượng

Một vật ở trạng thái xác định có năng lượng xác định.

Năng lượng là hàm của trạng thái.

Hệ thực hiện một công năng lượng thay đổi:

$$W_2 - W_1 = A$$

Độ biến thiên năng lượng của một hệ trong một quá trình = công mà hệ nhận được trong qtrình đó

$A > 0$ hệ nhận công; $A < 0$ hệ sinh công

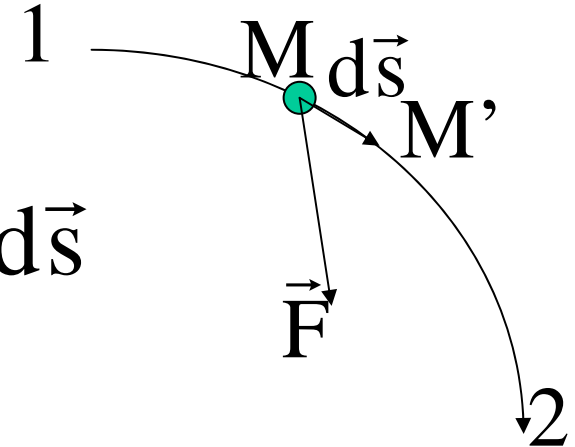
Nếu $A = 0$, năng lượng hệ không đổi: $W_2 = W_1 = \text{const}$

ĐL bảo toàn năng lượng: Năng lượng của hệ cô lập được bảo toàn

Công là hàm của quá trình; Hệ sinh công năng lượng giảm \rightarrow không thể sinh công mãi mãi mà không nhận năng lượng từ bên ngoài.

3. Động năng: Phần năng lượng ứng với chuyển động của vật

3.1. Định lý về động năng


$$A = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_{(1)}^{(2)} m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{s}$$
$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$
$$A_{1,2} = \int_{(1)}^{(2)} m\vec{v}d\vec{v} = \int_{(1)}^{(2)} d\left(\frac{m\vec{v}^2}{2}\right) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$
$$W_{đ2} = \frac{mv_2^2}{2} \qquad W_{đ1} = \frac{mv_1^2}{2}$$

Độ biến thiên động năng của chất điểm trong quỹ đạo nào đó có giá trị bằng công của ngoại lực tác dụng lên chất điểm trong quỹ đạo đó

$$A_{12} = W_{đ2} - W_{đ1}$$

$$W_{đ} = \frac{mv^2}{2}$$

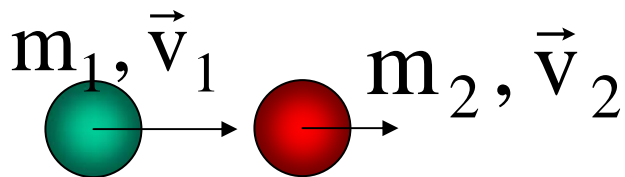
$W_{đ2} > W_{đ1} \Rightarrow$ Lực phát động sinh công

$W_{đ2} < W_{đ1} \Rightarrow$ Lực cản

Động năng vật rắn lăn không trượt = Động năng chuyển động tịnh tiến + Động năng chuyển động quay:

$$W_{đ} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$$

4. Va chạm xuyên tâm



Hệ cô lập >> Định luật bảo toàn động lượng

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

Va chạm đàn hồi Định luật bảo toàn động năng:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}$$

Thay $v_1' = v_2 + v_2' - v_1$ có

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

Các trường hợp riêng:

$$m_1 = m_2 \Rightarrow v_1' = v_2 \text{ và } v_2' = v_1;$$

$$m_1 \ll m_2 \Rightarrow v_1' \approx -v_1 \text{ và } v_2' \approx v_2$$

Va chạm mềm: Sau va

chạm hai vật dính vào nhau $v = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2}$

Vận tốc chung sau va

chạm:

$$m_1 + m_2$$

Cơ năng không bảo toàn vì toả nhiệt, thành năng lượng liên kết, gây biến dạng v.v..

Động năng giảm:

$$|\Delta W_d| = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2}$$

$$\Delta W_d = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2$$

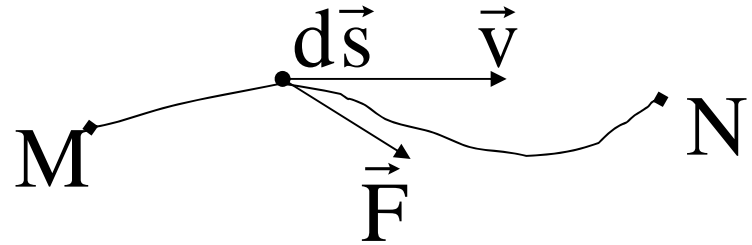
5. Trường lực thế

5.1. Định nghĩa trường lực thế

Trường lực: Tại mọi vị trí trong trường lực chất điểm đều bị lực tác dụng

$$\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z)$$

$$A_{MN} = \int_{MN} \vec{F} d\vec{s}$$



Nếu công A_{MN} không phụ thuộc vào dạng đường đi mà chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối thì $\vec{F}(\vec{r})$ là lực của **trường lực thế**

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

5.2. Ví dụ về trường lực thế

Trọng trường đều: Gần mặt đất $g = \text{const}$

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

$$A_{MN} = \int_{MN} \vec{P} d\vec{s}$$

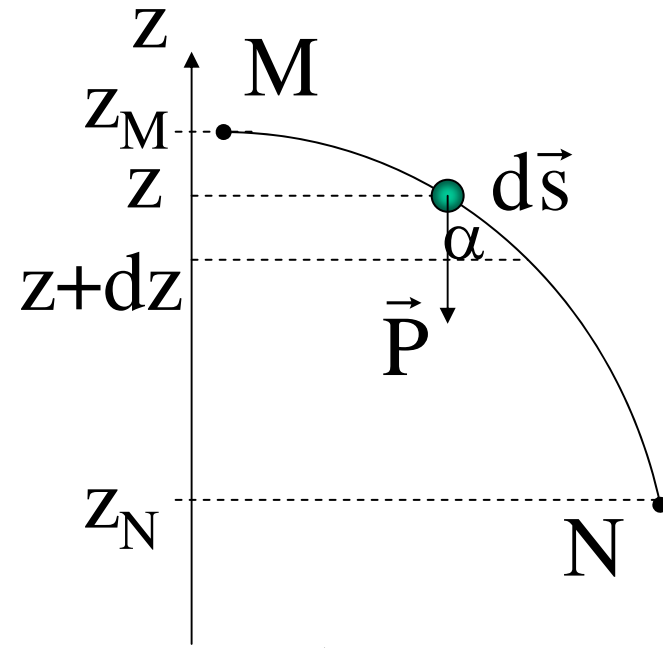
$$dA = \vec{P} d\vec{s} = mg ds \cdot \cos \alpha$$

$$ds \cdot \cos \alpha = dz$$

$$dA = -mg dz \quad \text{Dấu - do độ cao giảm}$$

$$A_{MN} = - \int_{z_M}^{z_N} mg dz = mg(z_M - z_N) \quad \oint \vec{P} d\vec{s} = 0$$

Công của lực hấp dẫn chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của chuyển dời



6. Thế năng

Định nghĩa: Thế năng của chất điểm trong trường lực thế là một hàm W_t phụ thuộc vào vị trí của chất điểm sao cho $A_{MN} = W_t(M) - W_t(N)$

Thế năng được định nghĩa sai khác một hằng số cộng:

$$W_t(z) = mgz + C$$

Tính chất: Thế năng được định nghĩa sai khác một hằng số cộng, nhưng hiệu thế năng giữa 2 điểm xác định

- Giữa trường lực thế và thế năng: $\oint \vec{F} d\vec{s} = 0$
- Thế năng là dạng năng lượng đặc trưng cho tương tác

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

7.1. **Cơ năng**: Chất điểm chuyển động trong trường lực thế

$$\text{Cơ năng: } W = W_{đ} + W_t$$

7.2. **Định luật**: $A_{MN} = W_t(M) - W_t(N)$

$$A_{MN} = W_{đ}(N) - W_{đ}(M)$$

$$\Rightarrow W_{đ}(M) + W_t(M) = W_t(N) + W_{đ}(N)$$

$$\Rightarrow W = W_{đ} + W_t = \text{const}$$

Chất điểm chuyển động trong trường lực thế mà không chịu tác dụng của lực nào khác thì cơ năng của nó được bảo toàn.

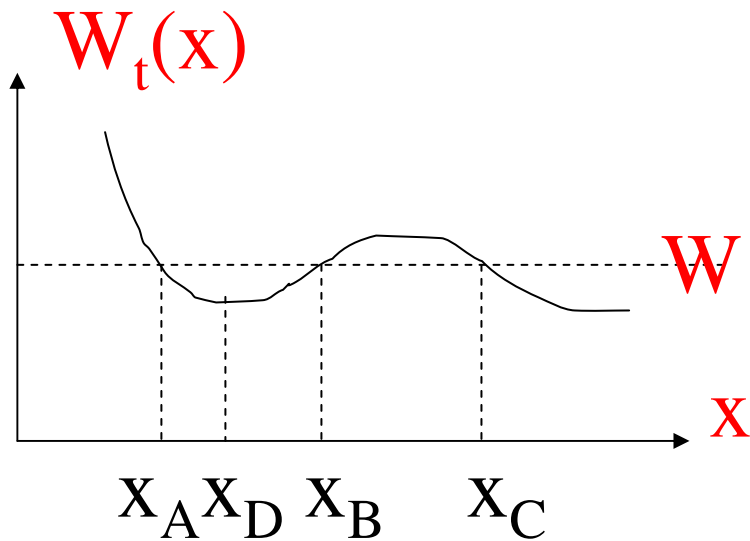
Trong trọng trường đều (gần mặt đất):

$$W = W_{đ} + mgh = \text{const}$$

7.3. Sơ đồ thế năng $W_t = W_t(x, y, z)$

$$W = mv^2/2 + W_t = \text{const}$$

$$W_t(x) \leq W$$



Thế năng của chất điểm không thể vượt quá cơ năng của nó

Toạ độ của chất điểm nằm trong phạm vi:

$$x_A \leq x \leq x_B \quad \text{và} \quad x \geq x_C$$

Tại x_D thế năng đạt cực tiểu

Chương V

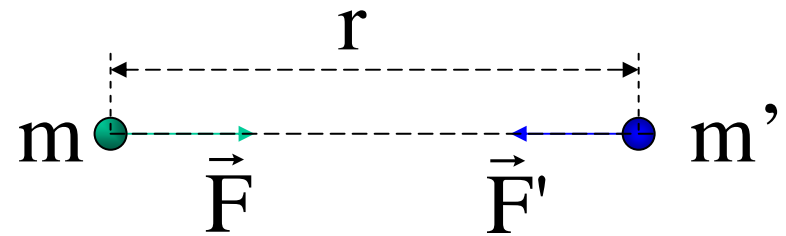
TRƯỜNG HẤP DẪN

1. Định luật Niuton về lực hấp dẫn vũ trụ

1.1. Phát biểu định luật

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

$$F = G \frac{mm'}{r^2}$$



$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$$

Hằng số hấp dẫn vũ trụ

2 chất điểm có khối lượng m, m' **hút nhau**

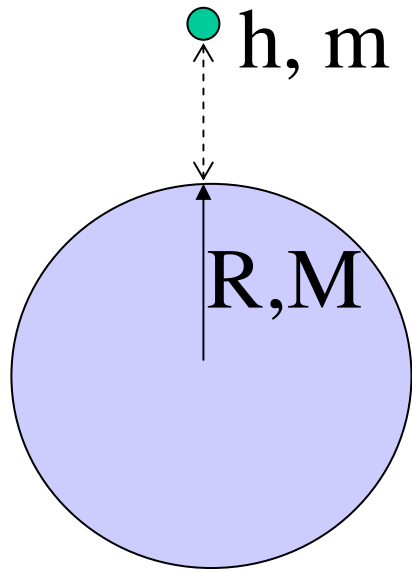
những lực F và F' có cùng phương là đường thẳng nối 2 chất điểm, cùng độ lớn tỷ lệ với m và m' tỷ lệ nghịch r^2

$$m = m' = 60\text{kg}, r = 0,1\text{m} \Rightarrow F = 2,4 \cdot 10^{-5}\text{N}$$

- Áp dụng cho 2 chất điểm
- Áp dụng cho 2 hai quả cầu đồng chất

1.2. Ứng dụng

Sự thay đổi gia tốc trọng trường theo độ cao



$$P = mg = G \frac{Mm}{(R + h)^2}$$

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2}$$

Trên mặt đất $g_0 = G \frac{M}{R^2}$

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

Gần mặt đất $h \ll R$

$$g_0 \approx 9,8 \text{ m/s}^2$$

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

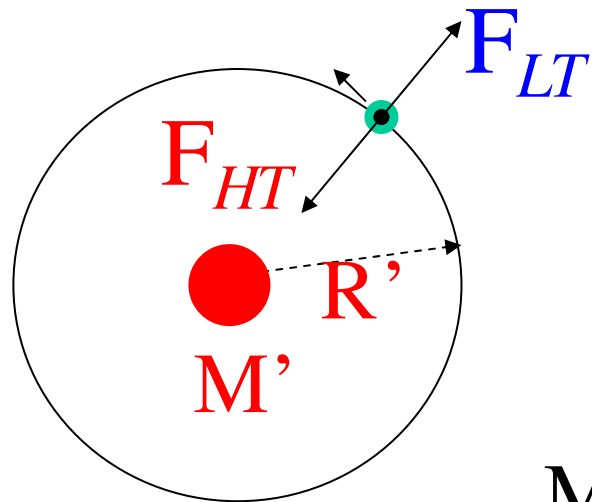
Tính khối lượng của các thiên thể

Khối lượng của quả đất:

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

$$M = \frac{g_0 R^2}{G} = \frac{9,8(6,37 \cdot 10^6)^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Khối lượng của mặt trời: $F_{HT} = G \frac{MM'}{R'^2}$



$$F_{LT} = M \frac{v^2}{R'}$$

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

$$v = \frac{2\pi R'}{T}$$

$$M' = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \frac{R'^3}{G} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

2. Trường hấp dẫn

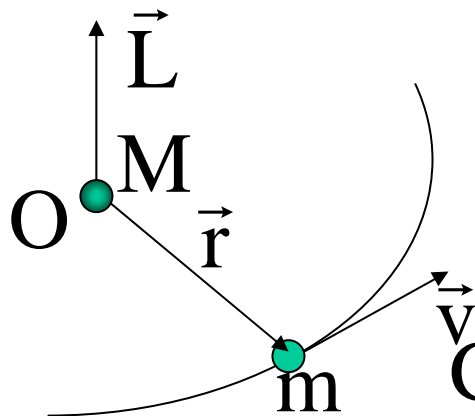
2.1. Khái niệm về trường hấp dẫn:

Xung quanh một vật có khối lượng tồn tại trường hấp dẫn

Bất cứ vật nào có khối lượng trong trường hấp dẫn đều chịu tác dụng của lực hấp dẫn: Lực trọng trường



2.2. Bảo toàn mômen động lượng trong trường hấp dẫn



$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu} /_0 (\vec{F}) = 0 \quad \text{Lực xuyên tâm}$$

$$\vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$$

Chuyển động trên quỹ đạo phẳng vuông góc với $L \Rightarrow$ Quỹ đạo trái đất phẳng

2.3. Tính chất trường hấp dẫn:

$$d\vec{s} = \vec{r}' - \vec{r}$$

$$dA = \vec{F} d\vec{s} = F \cdot PQ \cdot \cos \alpha$$

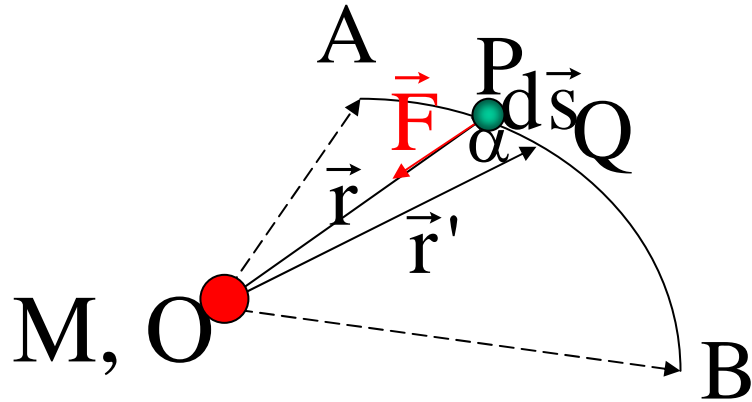
$$PQ \cdot \cos \alpha = dr$$

Dấu - do r giảm,

F là lực hút

A_{AB} chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của chuyển dời

\Rightarrow Trường lực thế



$$dA = -Fdr = -G \frac{Mm}{r^2} dr$$

$$A_{AB} = -GMm \int_{r_A}^{r_B} \frac{dr}{r^2}$$

$$A_{AB} = \left(-G \frac{Mm}{r_A} \right) - \left(-G \frac{Mm}{r_B} \right)$$

Dấu - thể hiện tương tác hút

Hệ quả $W_t = \left(-G \frac{Mm}{r}\right) + C \quad W_t(\infty)=0$

Thế năng của chất điểm trong trường hấp dẫn được định nghĩa sai khác một hằng số cộng, nhưng hiệu thế năng giữa 2 điểm hoàn toàn xác định

2.4. **Bảo toàn cơ năng** của chất điểm trong trường hấp dẫn $W = W_d + W_t$

$$W = \frac{mv^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{r}\right) = \text{const} \quad C = 0$$

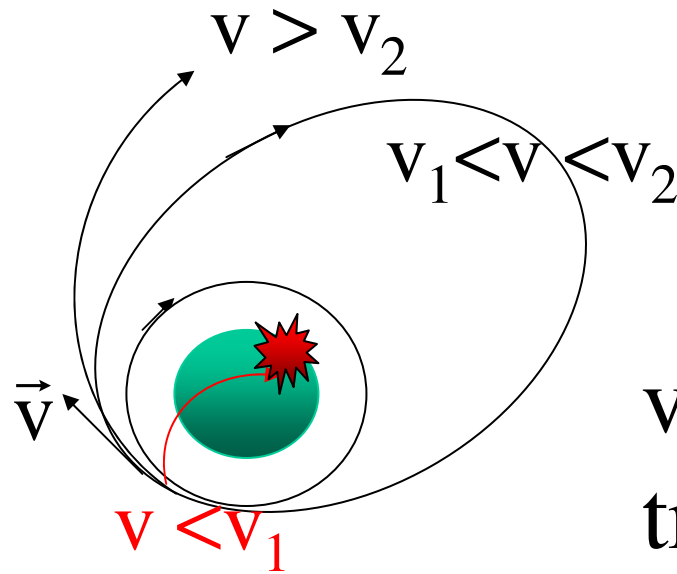
r tăng \Rightarrow thế năng tăng, động năng giảm

4. Chuyển động trong trường hấp dẫn của trái đất

v_1 - Vận tốc vũ trụ cấp I

v_2 - Vận tốc vũ trụ cấp II

Bắn vật lên từ mặt đất:



$v < v_1$: Vật rơi trở lại mặt đất

$v = v_1$: Vật bay theo quỹ đạo tròn quanh trái đất

$v > v_2$: Vật bay khỏi trường hấp dẫn của trái đất

$v_1 < v < v_2$: Vật bay theo quỹ đạo Ellip quanh trái đất

Vận tốc vũ trụ cấp I

Gia tốc li tâm = gia tốc trọng trường.

Coi quỹ đạo gần mặt đất

$$a_0 = \frac{v_1^2}{R} = g_0 \quad v_1 = \sqrt{Rg_0} = 7,9 \text{ km/s}$$

Vận tốc vũ trụ cấp II

Cơ năng khi bắn = Cơ năng ở xa vô cùng

$$\frac{mv_2^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{R}\right) = \frac{mv_\infty^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{\infty}\right)$$

$$\frac{mv_2^2}{2} + \left(-G \frac{Mm}{R}\right) > 0 \quad v_2 \geq \sqrt{2Rg_0} = 11,2 \text{ km/s}$$