

Chương 8: Định luật bảo toàn năng lượng

8.1 Hệ không cô lập

Hệ không cô lập về năng lượng là một hệ có trao đổi năng lượng với môi trường qua biên giới của nó. Một hệ không cô lập sẽ tương tác với môi trường. Một vật bị tác dụng lực là một ví dụ của hệ không cô lập.

Hệ cô lập là một hệ không trao đổi năng lượng với môi trường qua biên giới của hệ.

Đối với một hệ không cô lập, năng lượng được truyền qua biên giới của hệ trong thời gian hệ tương tác với môi trường bên ngoài. Sau đây là những phương thức truyền năng lượng vào hoặc ra khỏi một hệ.

Công (Work) là một hình thức truyền năng lượng bằng cách tác dụng lực lên hệ và điểm đặt của lực bị dịch chuyển (hình 8.1a).



a



b



c



d



e



f

Hình 8.1 Các cơ chế truyền năng lượng.

Sóng cơ (Mechanical waves) là hình thức truyền năng lượng thông qua sự lan truyền nhiễu loạn trong môi trường. Âm thanh rời khỏi chiếc loa radio ở hình 8.1b hay sóng địa chấn, sóng biển là sự truyền năng lượng bằng sóng cơ.

Nhiệt (Heat) là một cơ chế trao đổi năng lượng giữa hệ và môi trường do có sự khác nhau về nhiệt độ. Năng lượng truyền tới đuôi cái thìa trong hình 8.1c từ phần bị nhúng trong tách cà phê nóng là dưới dạng nhiệt.

Trao đổi chất (*Matter transfer*) là hình thức truyền năng lượng xuyên qua biên giới của hệ dưới dạng vật chất mang theo năng lượng. Ví dụ đồ xăng cho xe như ở hình 8.1d hay đổi lưu là sự truyền năng lượng dưới dạng trao đổi chất.

Truyền điện (*Electrical transmission*) là sự truyền năng lượng vào hoặc ra khỏi hệ bằng dòng điện. Năng lượng cung cấp cho máy sấy tóc là nhờ sự truyền điện (hình 8.1e).

Sóng điện từ (*Electromagnetic radiation*) là năng lượng được trao đổi bởi sóng điện từ. Năng lượng truyền khỏi bóng đèn (hình 8.1f) là dưới dạng sóng điện từ.

Định luật bảo toàn năng lượng

Năng lượng luôn được bảo toàn.

Điều này nghĩa là nếu năng lượng tổng cộng của một hệ thay đổi thì đã có một năng lượng truyền qua biên giới của hệ bằng một phương pháp trao đổi năng lượng nào đó. Dạng tổng quát của định luật bảo toàn năng lượng có thể được biểu diễn bằng **phương trình bảo toàn năng lượng** như sau:

$$\Delta E_{\text{system}} = \Sigma T \quad (8.1)$$

Trong đó, E_{system} là tổng năng lượng của hệ, T (Transfer) là năng lượng truyền qua biên giới của hệ.

Phương trình toán học của định luật bảo toàn năng lượng đối với một **hệ không cô lập** thể hiện đầy đủ các loại năng lượng trao đổi có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = W + Q + T_{\text{MW}} + T_{\text{MT}} + T_{\text{ET}} + T_{\text{ER}} \quad (8.2)$$

Với K là động năng, U là thế năng và E_{int} là nội năng của hệ; năng lượng truyền qua biên giới của hệ dưới dạng công là $T_{\text{work}} = W$, dưới dạng nhiệt là $T_{\text{heat}} = Q$, T_{MW} là năng lượng được truyền bởi sóng cơ, T_{MT} là năng lượng trao đổi chất, T_{ET} là năng lượng do truyền điện và T_{ER} là năng lượng trao đổi bởi sóng điện từ.

Trong thực tế, phương trình của định luật bảo toàn năng lượng sẽ đơn giản hơn nhiều. Ví dụ, nếu có một lực tác dụng lên hệ và sinh công và giả sử chỉ có cơ chế truyền năng lượng này làm thay đổi tốc độ của hệ thì phương trình của định luật bảo toàn năng lượng sẽ rút về phương trình của định lý công-động năng:

$$\Delta K = W$$

Câu hỏi 8.1: Hãy cho biết cơ chế truyền năng lượng nào qua một hệ là: a- Một chiếc tivi, b- Một máy cắt cỏ chạy xăng, c- Một cái gọt bút chì bằng tay.

Câu hỏi 8.2: Xét một cái hộp trượt có ma sát trên một bề mặt nằm ngang.

- i) Nếu hệ là chiếc hộp thì hệ là a- cô lập, b- không cô lập, c- không thể xác định được.
- ii) Nếu hệ là bề mặt nằm ngang thì hệ là a- cô lập, b- không cô lập, c- không thể xác định được.
- iii) Nếu hệ là cái hộp và bề mặt nằm ngang thì hệ là a- cô lập, b- không cô lập, c- không thể xác định được.

8.2 Hệ cô lập

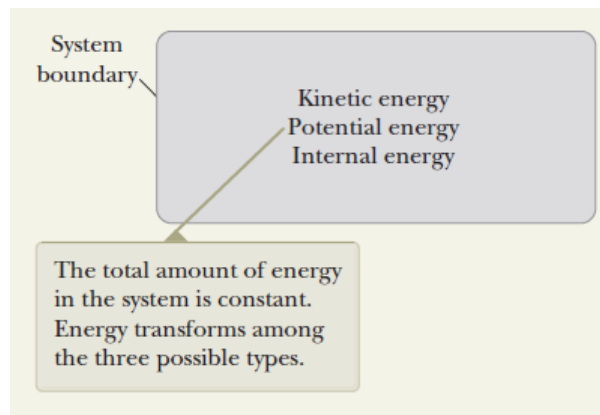
Đối với một hệ cô lập, không có bất kỳ hình thức trao đổi năng lượng nào với môi trường bên ngoài qua biên giới của hệ, thì tất cả các số hạng bên vế phải trong phương trình (8.2) đều bằng 0 do đó phương trình của định luật bảo toàn năng lượng có dạng:

$$\Delta E_{\text{system}} = 0 \tag{8.3}$$

E_{system} là tổng động năng, thế năng và nội năng của hệ.

Như vậy, **năng lượng của một hệ cô lập không đổi.**

Trên hình vẽ bên dưới mô tả các dạng năng lượng tồn trữ bên trong một hệ cô lập gồm có động năng, thế năng và nội năng. Các dạng năng lượng này biến đổi lẫn nhau nhưng tổng năng lượng của hệ bảo toàn.



Hình 8.2 Các dạng năng lượng tồn trữ bên trong hệ.

Định luật bảo toàn cơ năng

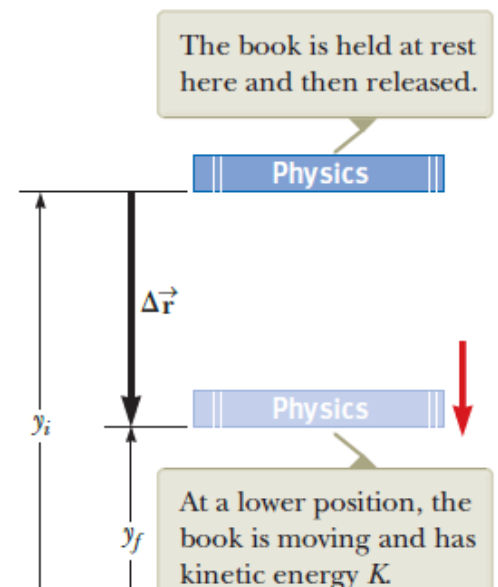
Định luật bảo toàn cơ năng là một trường hợp riêng của định luật bảo toàn năng lượng. Đây là mô hình thường gặp nhất đối với một hệ cô lập mà trong hệ chỉ có lực bảo toàn tác dụng.

Hãy xét một hệ gồm một cuốn sách khối lượng m và Trái đất. Sau khi nâng cuốn sách lên một độ cao nào đó thì bên trong hệ sẽ tồn trữ một năng lượng dưới dạng thế năng hấp dẫn bằng công mà tác nhân bên ngoài thực hiện trên cuốn sách:

$$W = \Delta U_g$$

Khi cuốn sách rơi từ độ cao y_i xuống đến vị trí y_f thì công mà lực hấp dẫn sẽ thực hiện trên cuốn sách là:

$$W_{\text{onbook}} = m\vec{g} \cdot \Delta\vec{r} = -mg\hat{j} \cdot (y_i - y_f)\hat{j} = mgy_i - mgy_f \tag{8.4}$$



Hình 8.3 Cuốn sách được thả ra và rơi do công thực hiện bởi lực hấp dẫn

Theo định lý công – động năng, công thực hiện trên cuốn sách bằng độ biến đổi động năng của cuốn sách:

$$W_{\text{on book}} = \Delta K_{\text{book}}$$

Suy ra,

$$\Delta K_{\text{book}} = mgy_i - mgy_f = -(mgy_f - mgy_i) = -\Delta U_g \quad (8.5)$$

Trong đó, $U_g = mgy$ là thế năng hấp dẫn của hệ. Trong hệ cuốn sách – Trái đất, chỉ có cuốn sách chuyển động nên động năng của cuốn sách K_{book} cũng chính là động năng của hệ K , do đó:

$$\Delta K_{\text{book}} = \Delta K$$

Phương trình (8.4) có thể được viết lại là:

$$\Delta K = -\Delta U_g \quad (8.6)$$

$$\Delta K + \Delta U_g = 0$$

Phương trình trên đã được dẫn xuất từ hệ cuốn sách – Trái đất, trong đó U_g là thế năng hấp dẫn song thực tế cho thấy nó cũng đúng đối với bất kỳ một loại thế năng nào. Phương trình tổng quát đó là phương trình của định luật bảo toàn cơ năng:

$$\Delta K + \Delta U = 0 \quad (8.7)$$

$$\Delta E_{\text{mech}} = 0 \quad (8.8)$$

Với $E_{\text{mech}} = K + U$ là cơ năng của hệ, K là động năng tổng cộng của hệ, U là tổng tất cả các loại thế năng của hệ.

Định luật bảo toàn cơ năng chỉ đúng trong trường hợp hệ là cô lập và không có lực không bảo toàn tác dụng bên trong hệ. Định luật có thể được phát biểu như sau: **Cơ năng của một hệ cô lập mà trong hệ không có các lực không bảo toàn tác dụng thì bảo toàn.**

Sự thay đổi năng lượng có thể được viết lại dưới dạng sau:

$$K_f + U_f = K_i + U_i \quad (8.9)$$

Đối với hệ cuốn sách – Trái đất, ta có phương trình:

$$\frac{1}{2}mv_f^2 + mgy_f = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgy_i$$

Trong đó, v_i và v_f là tốc độ của cuốn sách tại vị trí y_i và y_f .

Câu hỏi 8.3: Ba quả banh được ném từ đỉnh một tòa nhà với cùng tốc độ ban đầu. Quả bóng thứ nhất được ném theo phương ngang, quả thứ hai hướng lệch lên trên so với phương ngang, còn quả thứ ba hướng lệch xuống dưới so với phương ngang. Bỏ qua sức cản không khí, hãy sắp xếp theo thứ tự từ lớn đến bé tốc độ của ba quả bóng khi chúng chạm đất.

Bài tập mẫu 8.1: Quả bóng rơi tự do

Một trái banh khối lượng m được thả rơi từ độ cao h trên mặt đất như hình 8.4.

(A) Bỏ qua sức cản không khí, hãy xác định tốc độ của trái banh tại độ cao y so với mặt đất. Hệ được chọn là trái banh – Trái đất.

(B) Hãy xác định tốc độ của trái banh tại độ cao y so với mặt đất nếu hệ được chọn là trái banh.

Giải:

(A) Tốc độ của trái banh tại độ cao y khi hệ là trái banh – Trái đất.

Vì hệ bao gồm trái banh và Trái Đất nên khi bỏ qua sức cản không khí chỉ có một lực tác dụng giữa các thành phần của hệ là trọng lực - đó là lực bảo toàn. Do đó, cơ năng của hệ bảo toàn. Áp dụng định luật bảo toàn cơ năng, ta có phương trình:

$$K_f + U_{gf} = K_i + U_{gi}$$

Với $K_i = 0$ là động năng ban đầu khi quả bóng bắt đầu rơi, $U_{gi} = mgh$ là thế năng ban đầu của hệ. Khi quả bóng đến độ cao y thì động năng $K_f = mv_f^2/2$ và thế năng của hệ $U_{gf} = mgy$. Ta có,

$$\frac{1}{2}mv_f^2 + mgy = 0 + mgh$$

Từ đó, suy ra vận tốc của trái banh ở độ cao y là $v_f = \sqrt{2g(h - y)}$

(B) Tốc độ của trái banh tại độ cao y khi hệ là trái banh.

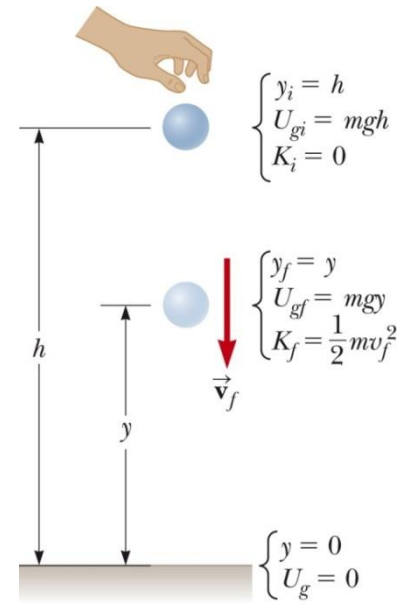
Trong trường hợp này, chỉ có một loại năng lượng thay đổi là động năng của trái banh. Hệ không có thế năng. Trọng lực thực hiện công trên trái banh. Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng cho hệ không cô lập, ta có:

$$\Delta K = W$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - 0 = m\vec{g} \cdot \Delta\vec{r} = -mg\hat{j} \cdot \Delta y\hat{j} = -mg\Delta y = -mg(y - h) = mgh - mgy$$

$$v_f = \sqrt{2g(h - y)}$$

Kết quả cũng giống như trong câu a bất kể hệ được chọn là không giống nhau.



Hình 8.4 Bài tập 8.1.

Bài tập mẫu 8.2: Súng lò xo

Trên hình 8.5 mô tả cơ chế nạp đạn của một cây súng trò chơi. Khi nạp đạn, lò xo được nén lại đến vị trí y_A . Khi bóp cò, viên đạn sẽ được bắn lên đến vị trí y_C phía trên vị trí $y_B = 0$ lúc viên đạn rời khỏi lò xo. Trong một lần bắn, $m = 35,0 \text{ g}$, $y_A = -0,120 \text{ m}$ và $y_C = 20,0 \text{ m}$.

- (A) Bỏ qua mọi lực cản, hãy tính hệ số đàn hồi của lò xo.
- (B) Tính tốc độ của viên đạn khi nó đi qua vị trí cân bằng của lò xo y_B .

Giải:

(A) *Hệ số đàn hồi của lò xo*

Trong bài toán của chúng ta, viên đạn trong ống phóng bắt đầu từ trạng thái nghỉ, được tăng tốc vì lò xo đẩy nó lên phía trên. Khi rời khỏi nòng súng, lực hấp dẫn sẽ làm viên đạn chuyển động chậm lại.

Chọn hệ bao gồm viên đạn, súng và Trái Đất. Khi bỏ qua mọi lực cản thì mô hình của bài toán là một hệ cô lập với các lực tác dụng chỉ có các lực bảo toàn.

Viên đạn bắt đầu từ trạng thái nghỉ nên động năng ban đầu $K_i = 0$. Chọn gốc thế năng hấp dẫn tại điểm viên đạn rời khỏi lò xo $y_B = 0$ thì lúc đó, thế năng đàn hồi U_s cũng bằng 0. Đối với hệ cô lập, định luật bảo toàn năng lượng viết cho hai cấu hình lúc viên đạn tại vị trí y_A và y_C có dạng:

$$\Delta K + \Delta U_g + \Delta U_s = 0$$

Bởi vì viên đạn đạt vị trí cao nhất y_C khi động năng của nó bằng 0 nên $K_f = 0$, ta có:

$$(0 - 0) + (mgy_C - mgy_A) + (0 - \frac{1}{2}kx^2) = 0$$

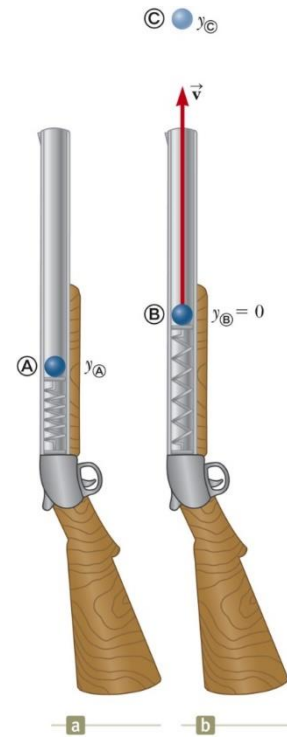
$$\Rightarrow k = \frac{2mg(y_C - y_A)}{x^2}$$

$$k = \frac{1,0,0350,9,80.[20,0 - (-0,120)]}{0,120^2} = 958 \text{ N / m}$$

(B) *Tốc độ của viên đạn khi đi qua vị trí cân bằng*

Khi viên đạn đi qua vị trí cân bằng, năng lượng của hệ chỉ có động năng còn thế năng hấp dẫn và thế năng đàn hồi đều bằng 0. Phương trình bảo toàn năng lượng đối với hai vị trí y_A và y_B :

$$\Delta K + \Delta U_g + \Delta U_s = 0$$



Hình 8.5 Bài tập 8.2.

$$\left(\frac{1}{2}mv_B^2 - 0\right) + (0 - mgy_A) + \left(0 - \frac{1}{2}kx^2\right) = 0$$

$$v_B = \sqrt{\frac{kx^2}{m} + 2gy_A}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{958.0,120^2}{0,0350} + 2.9,80.(-0,120)} = 19,8m/s$$

Lưu ý là trong bài toán này có hai dạng thế năng và trong việc giải bài toán theo phương pháp năng lượng ở đây, chúng ta không cần quan tâm đến tốc độ của viên đạn tại những vị trí khác trong quá trình chuyển động mà chỉ cần quan tâm đến các vị trí đầu và vị trí cuối. Đó là một điểm mạnh của phương pháp này.

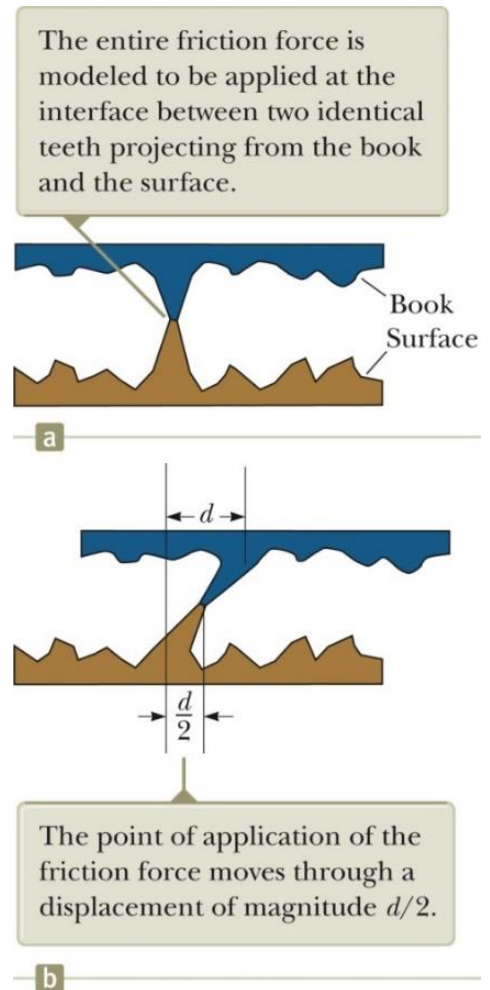
8.3 Ma sát động (ma sát trượt)

Hình 8.5 mô tả một mô hình đơn giản để giải thích sự xuất hiện ma sát trượt giữa bề mặt của hai vật tiếp xúc với nhau. Theo mô hình này thì lực ma sát tác dụng giữa hai vật là do tương tác giữa những phần gồ ghề trên bề mặt tiếp xúc giữa hai vật. Tuy nhiên, lực ma sát trải rộng trên toàn bộ diện tích tiếp xúc. Do đó, không thể tính được độ dịch chuyển của điểm đặt mà lực ma sát tác dụng vào. Vì vậy, cũng không thể tính được công thực hiện bởi lực ma sát. Thực tế đã chứng tỏ khi có ma sát thì vật bị nóng lên trong quá trình chuyển động. Điều đó cho thấy nội năng của vật đã tăng lên. Đối với trường hợp hệ không bị biến dạng và lực ma sát có độ lớn không thay đổi thì có thể phát triển một cách thức để đánh giá sự biến đổi nội năng của hệ liên quan đến lực ma sát như sau.

Xét một hệ gồm một vật (ví dụ một cuốn sách) trượt trên một chiếc bàn nằm ngang có ma sát dưới tác dụng của các lực tác dụng từ bên ngoài hệ. Công thực hiện bởi tất cả các lực tác dụng lên vật, trừ lực ma sát, được xác định như sau:

$$\sum W_{\text{other forces}} = \int \left(\sum W_{\text{other forces}} \right) d\vec{r} \quad (8.10)$$

Trong công thức trên, $d\vec{r}$ là độ dịch chuyển của vật cũng chính là độ dịch chuyển của các điểm đặt lực bởi vì vật không bị biến dạng. Thêm vào mỗi vế của phương trình trên một số hạng $\int \vec{f}_k \cdot d\vec{r}$ ta được:



Hình 8.6 Mô hình để giải thích ma sát giữa vật và bề mặt.

$$\begin{aligned} \sum W_{\text{otherforces}} + \int \vec{f}_k \cdot d\vec{r} &= \int \left(\sum W_{\text{otherforces}} \right) d\vec{r} + \int \vec{f}_k \cdot d\vec{r} \\ &= \int \left(\sum W_{\text{otherforces}} + \vec{f}_k \right) d\vec{r} = \int \left(\sum \vec{F} \right) d\vec{r} \end{aligned}$$

Sử dụng định luật 2 Newton sẽ thu được:

$$\sum W_{\text{otherforces}} + \int \vec{f}_k \cdot d\vec{r} = \int m\vec{a} \cdot d\vec{r} = \int m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{r} = \int m\vec{v} \cdot d\vec{v}$$

Vì

$$\vec{v} \cdot d\vec{v} = \frac{1}{2} d(\vec{v} \cdot \vec{v}) = \frac{1}{2} dv^2$$

Nên

$$\sum W_{\text{otherforces}} + \int \vec{f}_k \cdot d\vec{r} = \frac{1}{2} \int_{v_i}^{v_f} m \cdot dv^2 = \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2 = \Delta K$$

Công và năng lượng khi có ma sát

Ta chứng minh được rằng:

$$\int \vec{f}_k \cdot d\vec{r} = -f_k \cdot d$$

với d là quãng đường đi được của vật (cuốn sách).

Một cách tổng quát, nếu lực ma sát tác dụng vào một vật thì:

$$\Delta K = \sum W_{\text{other forces}} - f_k d \tag{8.11}$$

Đây là một dạng khác của định lý động năng và được sử dụng nếu lực ma sát tác dụng lên vật. Bây giờ hệ khảo sát gồm cả cuốn sách và mặt bàn thì lực ma sát là nội lực đối với hệ này. Lực ma sát sẽ biến động năng thành nội năng của hệ và độ tăng nội năng của hệ bằng:

$$\Delta E_{\text{int}} = f_k d \tag{8.12}$$

Một cách tổng quát, phương trình trên sẽ được viết dưới dạng sau:

$$\sum W_{\text{other forces}} = W = \Delta K + \Delta E_{\text{int}} \tag{8.13}$$

Phương trình này có thể được sử dụng trong các hệ không cô lập với các nội lực không phải lực bảo toàn và có thể năng không đổi.

Bài tập mẫu 8.3: Chuyển động của chiếc hộp trên bề mặt có ma sát

Một chiếc hộp nặng 6,0 kg được kéo bằng một lực có phương ngang không đổi 12 N trên một bề mặt nhám từ trạng thái nghỉ.

(A) Hãy tính tốc độ của cái hộp sau khi nó di chuyển một đoạn dài 3,0 m. Biết hệ số ma sát động giữa bề mặt và cái hộp là 0,15.

Giải:

Bề mặt nhám sẽ tác dụng lực ma sát vào cái hộp. Lực ma sát có chiều ngược chiều của lực kéo. Hệ hộp – bề mặt là hệ không cô lập với lực không bảo toàn tác dụng bên trong hệ.

Cả phản lực pháp tuyến và lực hấp dẫn đều không sinh công trong trường hợp này.

Theo phương thẳng đứng thì vật ở trạng thái cân bằng. Từ đó tìm ra độ lớn của lực ma sát: $f_k = \mu_k mg$

Công do lực tác dụng theo phương ngang thực hiện trên hệ là:

$$\Sigma W_{\text{other forces}} = F \cdot \Delta x$$

Suy ra

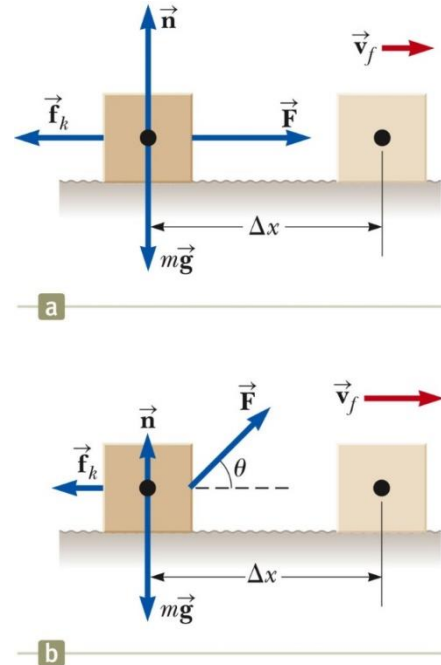
$$F \cdot \Delta x = \Delta K + \Delta E_{\text{int}} = (mv_f^2/2 - 0) + f_k d$$

Tốc độ cuối cùng của vật đó là:

$$v_f = \sqrt{\frac{2}{m} (-f_k d + F \Delta x)}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2}{6,0} (-8,82 \cdot 3,0 + 12 \cdot 3,0)} = 1,8 \text{ m/s}$$

Giá trị vận tốc thu được phải nhỏ hơn trong ví dụ không có lực ma sát. Trong trường hợp này, động năng của hệ giảm còn nội năng của hệ hộp – bề mặt đã tăng lên.



Hình 8.7 Bài tập 8.3.

(B) Nếu lực tác dụng hợp với phương ngang một góc θ thì góc nghiêng θ có giá trị bằng bao nhiêu để tốc độ của chiếc hộp có giá trị lớn nhất có thể khi nó di chuyển được một đoạn dài 3,0 m?

Giải:

Chọn hệ gồm cái hộp và bề mặt Đây là một hệ không cô lập và bên trong hệ có lực không bảo toàn tác dụng.

. Công lực bên ngoài thực hiện trên hệ là:

$$\Sigma W_{\text{other forces}} = W_F = F \cdot \Delta x \cdot \cos\theta = F d \cos\theta$$

Theo phương thẳng đứng, hệ cân bằng nên:

$$n + F \sin\theta - mg = 0$$

$$n = mg - F \sin\theta$$

$$W_F = \Delta K + \Delta E_{\text{int}} = (K_f - 0) + f_k d$$

$$K_f = W_F - f_{kd} = Fd\cos\theta - \mu_k d = Fd\cos\theta - \mu_k d(mg - F\sin\theta)$$

Để tốc độ của chiếc hộp cực đại thì phải thỏa mãn:

$$\frac{dK_f}{d\theta} = -F\sin\theta + \mu_k dF\cos\theta = 0$$

$$\tan\theta = 0$$

$$\theta = \tan^{-1}\mu_k = \tan^{-1}0,15 = 8,5^\circ$$

Bài tập mẫu 8.4: Hệ khối hộp – lò xo

Một vật khối lượng $m = 1,6 \text{ kg}$ được đẩy vào một chiếc lò xo nằm ngang có độ cứng 1000 N/m trên bề mặt như hình vẽ. Lò xo bị nén một đoạn $2,0 \text{ cm}$ và sau đó được thả ra.

(A) Hãy tính tốc độ của vật khi đi ngang qua vị trí cân bằng $x = 0$ nếu bề mặt không ma sát.

Giải:

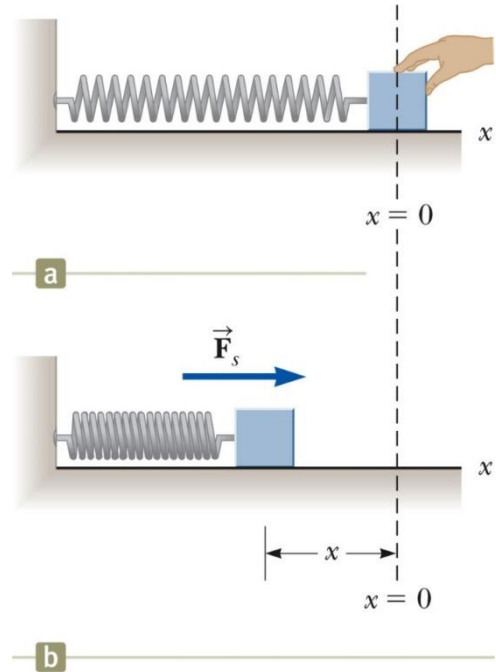
Hệ được chọn là vật. Đây là hệ không cô lập. Công do lực đàn hồi của lò xo thực hiện trên hệ từ vị trí $x_i = x_{\max}$ đến vị trí $x_f = 0$ là:

$$W_s = kx_{\max}^2/2$$

Theo định lý động năng, ta có:

$$W_s = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = \frac{1}{2}mv_f^2 - 0$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2W_s}{m}} = \sqrt{\frac{kx_{\max}^2}{m}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot (2,0 \cdot 10^{-2})^2}{1,6}} = 0,50 \text{ m/s}$$



Hình 8.8: Bài tập 8.4

(B) Hãy tính tốc độ của vật khi đi ngang qua vị trí cân bằng $x = 0$ nếu bề mặt tác dụng lên vật một lực ma sát không đổi $4,0 \text{ N}$.

Giải:

Hệ được chọn gồm vật và bề mặt. Đây là hệ không cô lập và bên trong hệ có một lực không bảo toàn (lực ma sát) tác dụng. Phương trình của định luật bảo toàn năng lượng áp dụng cho hệ trong trường hợp này có dạng:

$$W_s = \Delta K + \Delta E_{int} = \frac{1}{2}mv_f^2 + f_k d$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2(W_s - f_k d)}{m}} = \sqrt{\frac{2(\frac{1}{2}kx_{\max}^2 - f_k d)}{m}} = \sqrt{\frac{2(\frac{1}{2}1000 \cdot (2,0 \cdot 10^{-2})^2 - 4,0 \cdot 0,020)}{1,6}} = 0,39 \text{ m/s}$$

Có thể thấy rằng tốc độ của vật trong trường hợp này nhỏ hơn trong câu A.

8.4 Thay đổi cơ năng khi có lực không bảo toàn

Nếu có lực ma sát tác dụng thì cơ năng của hệ thay đổi:

$$\Delta E_{\text{mech}} = \Delta K + \Delta U = -f_k d = -\Delta E_{\text{int}} \quad (8.14)$$

ΔU là độ biến đổi của tất cả các dạng thế năng.

Trong trường hợp tổng quát, khi có lực không bảo toàn tác dụng bên trong một hệ cô lập thì phương trình của định luật bảo toàn có dạng:

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = 0 \quad (8.15)$$

Đối với một hệ không cô lập và các tác động bên ngoài lên hệ bằng cách thực hiện công

$$\Sigma W_{\text{other forces}} - f_k d = \Delta E_{\text{mech}} \quad (8.16)$$

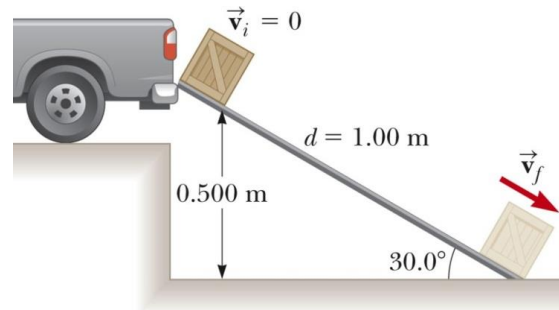
Như vậy, đối với một hệ không cô lập có thể năng thay đổi và có tác dụng của lực không bảo toàn thì

$$\Sigma W_{\text{other forces}} = W = \Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} \quad (8.17)$$

Bài tập mẫu 8.5: Ma sát trên mặt phẳng nghiêng

Một thùng hàng nặng 3,00 kg trượt xuống trên một mặt phẳng nghiêng có ma sát. Mặt nghiêng có chiều dài 1,00 m và độ nghiêng là $\theta = 30,0^\circ$. Thùng hàng bắt đầu trượt không vận tốc ban đầu từ đỉnh của mặt nghiêng và lực ma sát có độ lớn 5,00 N. Sau khi trượt hết mặt phẳng nghiêng, nó còn di chuyển một đoạn ngắn trên mặt phẳng nằm ngang.

(A) Hãy tìm tốc độ của thùng tại đáy mặt phẳng nghiêng.



Hình 8.8: Bài tập 8.5

Giải:

Xác định hệ bao gồm: thùng hàng, bề mặt và Trái đất. Đây là một hệ kín có lực không bảo toàn tác dụng.

Chọn gốc tính thế năng hấp dẫn của hệ tại mặt phẳng ngang có tọa độ $y = 0$. Khi đó, phương trình của định luật bảo toàn năng lượng cho hệ có dạng:

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

$$(K_f - K_i) + (U_f - U_i) + f_k d = 0$$

$$(\frac{1}{2} m v_f^2 - 0) + (0 - m g y_i) + f_k d = 0$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2}{m} (m g y_i - f_k d)}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2}{3,00} (3,00 \times 9,80 \times 0,500 - 5,00 \times 1,00)} = 2,54 \text{ m/s}$$

(B) Thùng hàng tiếp tục trượt một đoạn dài bao nhiêu trên mặt phẳng ngang nếu nó tiếp tục chịu lực ma sát tác dụng có độ lớn bằng 5,00 N?

Giải:

Lúc này thế năng của hệ không thay đổi nên ta có phương trình:

$$\Delta K + \Delta E_{int} = 0$$

$$(0 - \frac{1}{2} mv_i^2) + f_k \cdot d = 0$$

$$d = \frac{mv_i^2}{2f_k} = \frac{3,00 \times 2,54^2}{2 \times 5,00} = 1,94 \text{ m}$$

Bài tập mẫu 8.6: Va chạm giữa chiếc hộp và lò xo

Một chiếc hộp có khối lượng 0,8 kg được cung cấp một vận tốc ban đầu 1,2 m/s sang bên phải và va chạm với một lò xo khối lượng nhỏ có độ cứng $k = 50 \text{ N/m}$.

Giả sử bề mặt không ma sát. Hãy tính độ nén cực đại của lò xo sau va chạm.

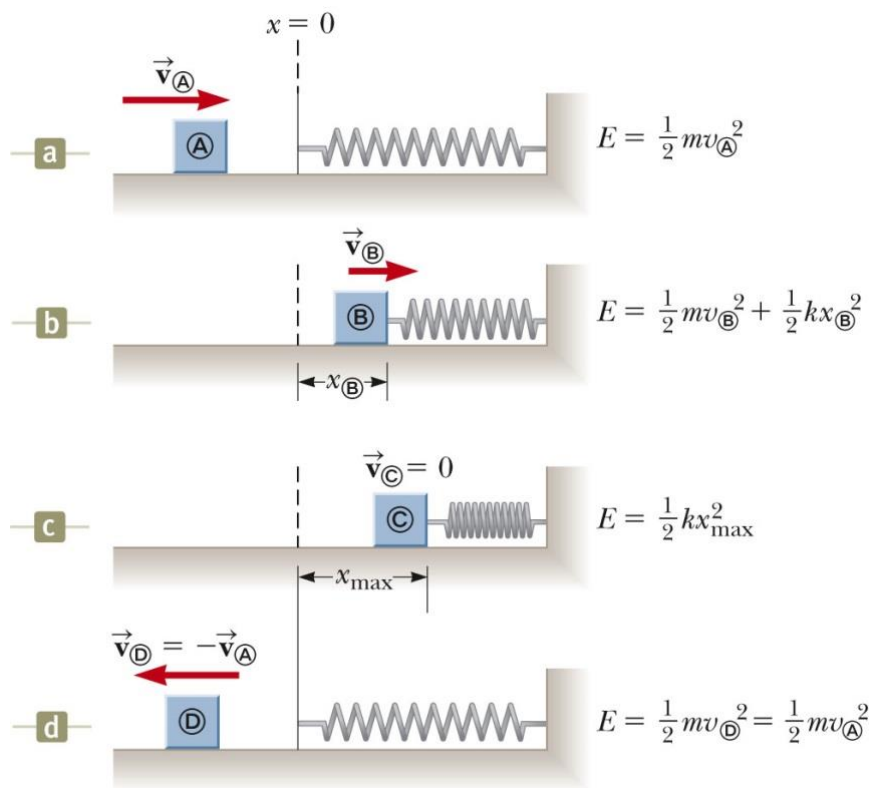
Giải:

Nếu không có ma sát, năng lượng được chuyển hóa giữa động năng và thế năng đàn hồi và tổng năng lượng không đổi

Chọn hệ gồm có hộp và lò xo. Hệ là cô lập với các lực tác dụng đều là lực bảo toàn. Tất cả chuyển động diễn ra trên mặt phẳng nằm ngang. Vì vậy không có sự thay đổi của thế năng hấp dẫn. Trước va chạm, tổng năng lượng của hệ là động năng của hộp. Khi lò xo bị nén hoàn toàn, động năng bằng 0 và toàn bộ năng lượng là thế năng đàn hồi của lò xo. Cơ năng của hệ được bảo toàn.

Phương trình của định luật bảo toàn năng lượng trong trường hợp này là:

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



Hình 8.10: Bài tập mẫu 8.6

$$(0 - \frac{1}{2} m v_A^2) + (\frac{1}{2} k x_{\max}^2 - 0) = 0$$

$$x_{\max} = \sqrt{\frac{m}{k}} v_A = \sqrt{\frac{0,80}{50}} \times 1,2 = 0,15 \text{ m}$$

(B) Giả sử hệ số ma sát động giữa chiếc hộp và bề mặt là $\mu_k = 0,50$. Nếu tốc độ của chiếc hộp tại thời điểm nó va chạm với lò xo là 1,2 m/s thì độ nén cực đại của lò xo là bao nhiêu?

Giải:

Đây là bài toán có lực ma sát. Lực ma sát sẽ biến đổi động năng của hệ thành nội năng. Chọn hệ gồm chiếc hộp, bề mặt và lò xo. Đó là hệ kín với lực không bảo toàn tác dụng. Trong trường hợp này, cơ năng của hệ $E_{\text{mech}} = K + U_s$ không bảo toàn; trong đó U_s là thế năng đàn hồi. Phương trình của định luật bảo toàn năng lượng đối với hệ là:

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Trong đó,

$$\Delta E_{\text{int}} = f_k d, f_k = \mu_k \cdot n = \mu_k \cdot mg$$

Thay vào phương trình trên, ta được:

$$(0 - \frac{1}{2} m v_A^2) + (\frac{1}{2} k x_{\max}^2 - 0) + \mu_k \cdot mg x_{\max} = 0$$

$$k x_{\max}^2 + 2 \mu_k \cdot mg x_{\max} - m v_A^2 = 0$$

$$50 x_{\max}^2 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,8 \cdot 9,8 x_{\max} - 0,8 \cdot 1,2^2 = 0$$

$$50 x_{\max}^2 + 7,84 x_{\max} - 1,15 = 0$$

Phương trình có hai nghiệm $x_{\max} = 0,092 \text{ m}$ và $x_{\max} = -0,25 \text{ m}$. Giá trị có ý nghĩa vật lý là $x_{\max} = 0,092 \text{ m}$.

So với kết quả trong câu (A), x_{\max} có giá trị nhỏ hơn. Lý do là gì?

8.5 Công suất

Định nghĩa: Công suất tức thời là tốc độ truyền năng lượng theo thời gian và được tính theo công thức:

$$P \equiv \frac{dE}{dt} \quad (8.18)$$

Nếu năng lượng trao đổi dưới dạng công được thực hiện bởi một lực và trong khoảng thời gian Δt công do lực sinh ra là W thì công suất trung bình P_{avg} được xác định bởi công thức:

$$P_{\text{avg}} = \frac{W}{\Delta t} \quad (8.19)$$

Công suất tức thời là giới hạn của công suất trung bình khi Δt tiến tới 0.

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Đơn vị

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị của công suất là watt (W).

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/second} = 1 \text{ kg.m}^2/\text{s}^3$$

Một đơn vị công suất hay sử dụng nữa tại Mỹ là mã lực (horsepower – hp)

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

Một đơn vị của năng lượng thường bị nhầm lẫn với đơn vị công suất là kWh. Nhớ rằng kWh là đơn vị đo năng lượng, được xác định như sau:

$$1 \text{ kWh} = 1\text{kW}.1\text{h} = (1000 \text{ W})(3600 \text{ s}) = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

Tóm tắt chương 8

Hệ không cô lập về năng lượng là một hệ có trao đổi năng lượng với môi trường qua biên giới của nó.

Hệ cô lập là một hệ không trao đổi năng lượng với môi trường qua biên giới của hệ.

Định luật bảo toàn năng lượng: **Năng lượng của một hệ cô lập là không đổi.**

Một lực ma sát có độ lớn f_k tác dụng trên một quãng đường d thì nội năng của hệ thay đổi một lượng:

$$\Delta E_{int} = f_k \cdot d$$

Công suất là tốc độ truyền năng lượng theo thời gian:

$$P \equiv \frac{dE}{dt}$$

Phương trình của định luật bảo toàn năng lượng đối với hệ không cô lập

$$\Delta E_{system} = \Sigma T$$

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} = W + Q + T_{MW} + T_{MT} + T_{ET} + T_{ER}$$

Phương trình của định luật bảo toàn năng lượng đối với hệ cô lập

$$\Delta E_{system} = 0$$

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{int} = 0$$

Nếu các lực tác dụng bên trong hệ đều là lực bảo toàn thì ta có định luật bảo toàn cơ năng

$$\Delta E_{mech} = 0$$

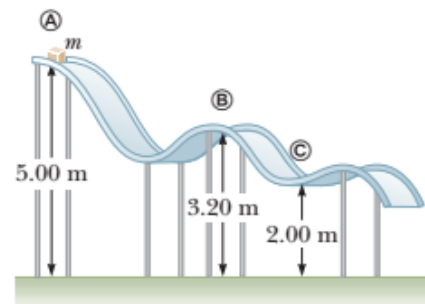
$$\Delta K + \Delta U = 0$$

Câu hỏi lý thuyết chương 8

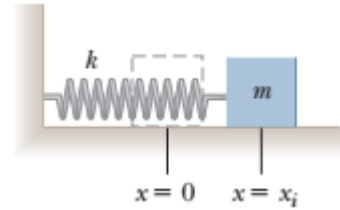
- Một người thả một quả bóng từ trên đỉnh của một tòa nhà trong khi người khác thì đang đứng ở dưới để quan sát chuyển động của nó. Liệu 2 người này có đồng ý
(a) Về giá trị thế năng hấp dẫn của hệ quả bóng - Trái Đất.
(b) Về sự thay đổi của thế năng hấp dẫn.
(c) Về động năng của quả bóng tại một điểm nào đó trong quá trình chuyển động của nó.
- Lực ma sát tĩnh có thể sinh công hay không? Nếu không, hãy giải thích tại sao không. Nếu có thì hãy cho một ví dụ.
- Một người nặng 70,0 kg leo lên một đỉnh núi cao 325m trong 90,0 phút. Công suất trung bình người đó sinh ra là bao nhiêu?
(a) 39,1 W (b) 54,6 W (c) 25,5 W (d) 67,0 W (e) 88,4 W
- Một vật được gắn với một lò xo treo trên trần nhà. Giả sử sức cản không khí được bỏ qua, hãy mô tả các biến đổi năng lượng xảy ra trong hệ gồm vật - trái đất - lò xo khi vật chuyển động theo phương thẳng đứng.
- Phương trình của định lý công - động năng $W = \Delta K$ chỉ đúng trong trường hợp không có thay đổi đối với bất kỳ loại năng lượng nào khác như thế năng hay nội năng xảy ra đối với một hệ. Hãy cho vài ví dụ cho thấy công thực hiện trên một hệ nhưng sự thay đổi năng lượng của hệ không phải là thay đổi động năng.

Bài tập chương 8

- Một quả bóng khối lượng m rơi từ độ cao h xuống sàn.
(a) Viết phương trình của định luật bảo toàn năng lượng (dạng 8.2) cho hệ quả bóng - Trái đất và sử dụng nó để tính tốc độ của quả bóng ngay trước khi nó chạm đất.
(b) Viết phương trình của định luật bảo toàn năng lượng (dạng 8.2) cho hệ chỉ có quả bóng và sử dụng nó để tính tốc độ của quả bóng ngay trước khi nó chạm đất.
- Một quả đạn pháo nặng 20,0 kg được bắn ra từ một khẩu đại bác với tốc độ là 1000 m/s theo phương hợp với phương ngang một góc $37,0^\circ$. Một quả đạn khác bắn với góc $90,0^\circ$. Xét một hệ kín để tính:
(a) Độ cao cực đại của mỗi quả đạn.
(b) Cơ năng của hệ quả đạn-trái đất tại độ cao cực đại của mỗi quả. Chọn $y = 0$ tại vị trí đặt khẩu đại bác.
- Một vật khối lượng $m = 5,00$ kg rời khỏi điểm A và trượt trên một rãnh không ma sát như trong hình vẽ. Hãy xác định:
(a) Tốc độ của vật tại các điểm B và C.
(b) Công thực hiện bởi lực hấp dẫn trên vật khi nó di chuyển từ điểm A đến điểm C.



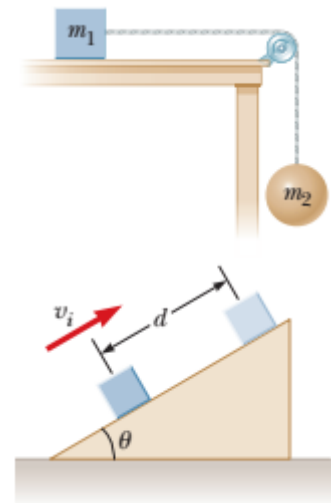
4. Một khối nặng 2,00 kg được gắn vào một lò xo có độ cứng $k = 500 \text{ N/m}$ như trên hình vẽ. Khối đó được kéo tới vị trí $x_i = 5,00 \text{ cm}$ về phía bên phải của vị trí cân bằng và được thả ra từ trạng thái nghỉ. Tìm tốc độ của khối khi đi qua vị trí cân bằng nếu:



- (a) Bề mặt ngang không có ma sát.
 (b) Hệ số ma sát giữa khối và bề mặt là $\mu_k = 0,350$.
5. Một vòng tròn trơn có bán kính 0,500 m đặt trên mặt sàn. Một hạt nặng 0,400-kg trượt quanh cạnh bên trong của vòng. Tốc độ ban đầu của nó là 8,00 m/s. Sau một vòng, tốc độ còn lại là 6,00 m/s do có ma sát.

- (a) Tìm năng lượng chuyển đổi từ cơ năng sang nội năng của hệ hạt – vòng – Trái đất (do ma sát) sau khi kết thúc 1 vòng chuyển động.
 (b) Tổng số vòng hạt đi được đến khi dừng lại là bao nhiêu? Giả sử lực ma sát không đổi trong quá trình chuyển động.

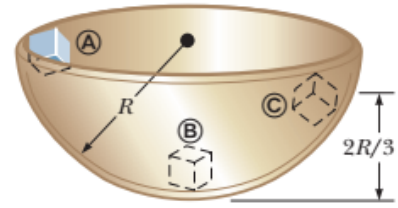
6. Hệ số ma sát giữa vật khối lượng $m_1 = 3,00 \text{ kg}$ với mặt bàn là $\mu_k = 0,400$ (xem hình vẽ). Cho hai vật chuyển động từ trạng thái nghỉ. Tính tốc độ của vật $m_2 = 5,00 \text{ kg}$ khi nó đi xuống một đoạn $h = 1,50 \text{ m}$.



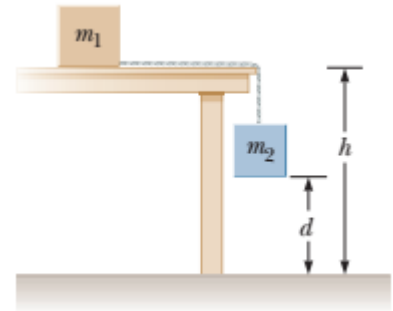
7. Đẩy cho một vật nặng $m = 5,00 \text{ kg}$ chuyển động đi lên với tốc độ ban đầu là $v_i = 8,00 \text{ m/s}$ trên một mặt dốc có độ nghiêng $\theta = 30,0^\circ$. Vật dừng lại sau khi đi được một đoạn $d = 3,00 \text{ m}$. Hãy tính:

- (a) Độ biến thiên động năng của vật.
 (b) Độ biến thiên thế năng của hệ vật-Trái đất.
 (c) Lực ma sát tác dụng lên vật.
 (d) Hệ số ma sát trượt.
8. Một động cơ điện của một chiếc xe lửa mô hình gia tốc chiếc xe từ trạng thái nghỉ đến tốc độ 0,620 m/s trong thời gian 21,0 ms. Khối lượng của chiếc xe là 875 g.
- (a) Tính công suất tối thiểu cần cung cấp cho xe lửa trong quá trình gia tốc.
 (b) Giải thích tại sao đó là gia tốc tối thiểu?
9. Một chiếc thang máy nặng 650 kg chuyển động đi lên từ trạng thái nghỉ với gia tốc không đổi. Sau thời gian 3,00 s nó đạt tốc độ di chuyển đều bằng 1,75 m/s.
- (a) Công suất trung bình của động cơ thang máy trong khoảng thời gian đó bằng bao nhiêu?
 (b) Hãy so sánh giá trị tính được với công suất của động cơ khi thang máy di chuyển đều.

10. Một vật nhỏ khối lượng $m = 200 \text{ g}$ được thả cho chuyển động dọc theo đường kính bên trong của một cái chén hình bán cầu, không ma sát. Bán kính của cái chén bán cầu là $R = 30,0 \text{ cm}$. Hãy tính:



- Thế năng hấp dẫn của hệ vật-Trái đất khi vật ở điểm A. Chọn gốc tính thế năng tại điểm B.
 - Động năng của vật tại điểm B.
 - Tốc độ của vật tại B.
 - Động năng của vật và thế năng của hệ khi vật ở tại điểm C.
11. Vật $m_1 = 3,50 \text{ kg}$ ban đầu nằm yên trên một mặt bàn nằm ngang cách sàn một khoảng $h = 1,20 \text{ m}$ được nối với vật $m_2 = 1,90 \text{ kg}$ bằng một dây nhẹ không co giãn. Lúc đầu vật m_2 cách mặt sàn một khoảng $d = 0,900 \text{ m}$. Mặt bàn và cạnh bàn đều không ma sát. Các vật bắt đầu chuyển động từ trạng thái nghỉ, vật m_1 trượt trên mặt bàn rồi bay ra ngoài còn vật m_2 đi xuống và dừng lại trên sàn. Xem hệ gồm có hai vật và Trái đất.

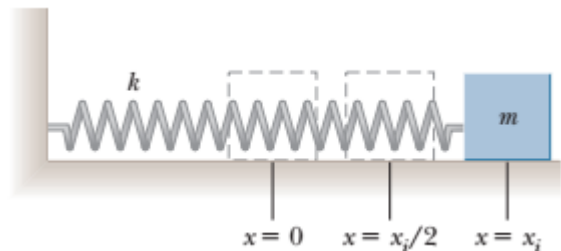


- Tính tốc độ của vật m_1 khi rời khỏi mép bàn.
 - Tính tốc độ của m_1 khi chạm mặt sàn.
 - Chiều dài ngắn nhất của sợi dây không bị căng khi m_1 đang bay là bao nhiêu?
 - Năng lượng của hệ khi nó bắt đầu chuyển động có bằng năng lượng của hệ trước khi m_1 chạm đất hay không? Hãy giải thích tại sao bằng hay tại sao không?
12. Một tài xế đạp chân ga làm cho chiếc xe khối lượng 1160 kg tăng tốc từ trạng thái nghỉ. Trong những giây đầu tiên, gia tốc của chiếc xe tăng theo thời gian và được biểu diễn bởi phương trình

$$a = 1,16t - 0,210t^2 + 0,240t^3 \left(\frac{m}{s^2}\right).$$

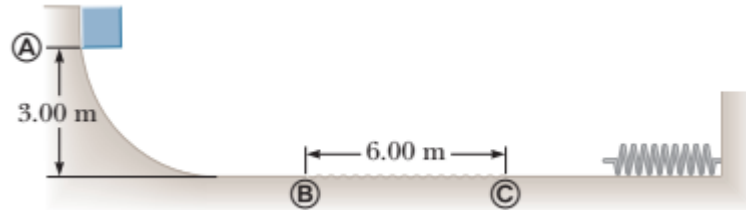
Trong đó t đo bằng s và a đo bằng m/s^2 .

- Tính độ biến thiên động năng của xe từ $t = 0 \text{ s}$ đến $t = 2,5 \text{ s}$.
 - Tính công suất trung bình tối thiểu của động cơ trong khoảng thời gian trên.
 - Tại sao giá trị ở câu b là giá trị nhỏ nhất.
13. Một lò xo nằm ngang có độ cứng $k = 850 \text{ N/m}$ được gắn vào một bức tường. Một vật khối lượng $m = 1,00 \text{ kg}$ được gắn vào lò xo và nằm yên trên một bề mặt ngang không ma sát như trong hình vẽ.



- Vật được kéo đến một vị trí $x_i = 6,00 \text{ cm}$ so với vị trí cân bằng. Tìm thế năng đàn hồi được lưu trữ trong lò xo khi nó nằm tại vị trí $6,00 \text{ cm}$ và khi vật đi qua vị trí cân bằng.

- (b) Tìm tốc độ của vật khi nó đi qua vị trí cân bằng.
 (c) Tính tốc độ của vật khi nó ở vị trí $x_i/2 = 3,00$ cm.
 (d) Tại sao tốc độ trong câu c không bằng một nửa câu (b)?
14. Một vật khối lượng 10,0 kg được thả tại điểm A như hình vẽ. Rãnh trượt là không ma sát ngoại trừ phần giữa điểm B và C, có chiều dài 6,00 m. Vật trượt xuống rồi va vào một lò xo có độ cứng 2250 N/m đẩy lò xo ép lại một khoảng 0,300 m từ vị trí cân bằng trước khi tạm dừng lại. Hãy xác định hệ số của ma sát động giữa vật và máng trượt trên đoạn giữa điểm B và C.



15. Một vật khối lượng $m_1 = 20,0$ kg nối với vật khối lượng $m_2 = 30,0$ kg bằng 1 sợi dây mảnh, nhẹ vắt qua một ròng rọc nhẹ, không ma sát. Đầu còn lại của m_2 nối với lò xo có độ cứng $k = 250$ N/m như hình vẽ. Ban đầu, hệ cân bằng, lò xo không bị giãn. Kéo m_1 đi xuống một đoạn $h = 20,0$ cm rồi thả ra. Tìm tốc độ mỗi vật khi lò xo trở lại trạng thái không bị giãn.

