

CHƯƠNG 3

NĂNG LƯỢNG

Trong các chương trước, để biết được vị trí và vận tốc của vật thì chúng ta có thể giải quyết bài toán về chuyển động dựa vào phương trình cơ bản của động lực học. Về nguyên tắc, cách đó có thể áp dụng để tìm chuyển động của mỗi hạt trong một hệ phức tạp gồm nhiều hạt. Tuy nhiên, trong thực tế đó là nhiệm vụ nặng nề và không cần thiết. Thay vào đó ta sẽ tìm một cách mô tả tiến trình của hệ một cách tổng quát hơn. Các khái niệm về công năng lượng sẽ cung cấp một bức tranh về chuyển động của vật tổng quát hơn và đơn giản hơn.

3.1. CÔNG VÀ CÔNG SUẤT

3.1.1. Công cơ học

Trong vật lý, khi một lực tác dụng lên một vật (hoặc một hệ vật), làm cho vật di chuyển (điểm đặt lực di chuyển), người ta nói rằng lực đó thực hiện một công. Cường độ lực theo phương dịch chuyển càng lớn, quãng đường di chuyển càng dài thì công đó càng lớn. Từ đó người ta đưa ra định nghĩa công như sau.

1. Trường hợp lực không đổi. Giả sử vật chịu tác dụng của lực không đổi \vec{F} không đổi và điểm đặt lực di chuyển theo một đoạn thẳng $\overrightarrow{MM'} = \vec{s}$ (hình 3-1). Theo định nghĩa, công A do lực \vec{F} thực hiện trên đoạn chuyển dời $\overrightarrow{MM'}$ là một đại lượng được xác định bởi tích sau đây:

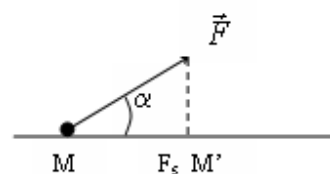
$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha \quad (3-1)$$

Trong đó α là góc tạo bởi \vec{F} và \vec{s} . Vì $F \cdot \cos\alpha = F_s$ là hình chiếu của vectơ \vec{F} lên phương của \vec{s} nên có thể viết:

$$A = F_s \cdot s \quad (3-2)$$

Hay có thể viết lại thành tích vô hướng như sau:

$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} \quad (3-3)$$



Hình 3-1

Minh họa tính công của lực

Nhận xét:

Công A là đại lượng vô hướng, có thể có giá trị dương hoặc âm.

* $A > 0$ khi $\alpha < \frac{\pi}{2}$, khi đó ta nói \vec{F} là lực phát động, và A là công phát động.

* $A < 0$ khi $\alpha > \frac{\pi}{2}$, khi đó ta nói \vec{F} là lực cản, và A là công cản.

* $A = 0$ khi $\alpha = \frac{\pi}{2}$, lực \vec{F} vuông góc với phương dịch chuyển, thực hiện công bằng không.

2. Trường hợp tổng quát

Lực làm cho vật chuyển dời trên đường cong AB và trong quá trình đó lực \vec{F} thay đổi cả về phương, chiều và độ lớn, do đó để áp dụng định nghĩa (3-2) và (3-3), ta chia đường cong AB thành những đoạn chuyển dời $\overrightarrow{MM'} = d\vec{s}$ sao cho mỗi đoạn này có thể coi như thẳng và trên đó lực \vec{F} không đổi. Công của lực \vec{F} thực hiện được trên đoạn chuyển dời vô cùng nhỏ $d\vec{s}$ được gọi là *công nguyên tố* dA . Theo định nghĩa (3-3), dA công này bằng:

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

Toàn bộ công của lực \vec{F} thực hiện trên quãng đường AB bằng tổng tất cả các công nguyên tố thực hiện bởi lực \vec{F} trên tất cả các quãng đường nguyên tố $d\vec{s}$ chia được từ đường cong AB. Công này bằng tích phân dA lấy từ A đến B:

$$A = \int_{(AB)} dA = \int_{(AB)} \vec{F} \cdot d\vec{s} \quad (3-4)$$

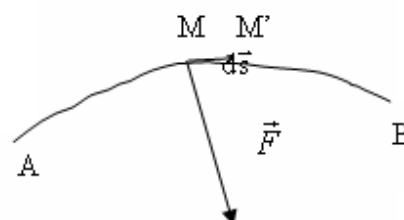
3.1.2. Công suất của lực

Trong thực tế, lực \vec{F} được tạo ra bởi một máy nào đó. Nếu lực \vec{F} thực hiện được công trong khoảng thời gian càng ngắn thì máy đó càng mạnh. Do đó, để đặc trưng cho khả năng sinh công của máy trong một đơn vị thời gian, người ta đưa ra khái niệm *công suất*.

Giả sử trong khoảng thời gian Δt , một lực \vec{F} nào đó thực hiện công ΔA , tỷ số $P_{tb} = \frac{\Delta A}{\Delta t}$ xác định công trung bình của lực thực hiện trong một đơn vị thời gian và được gọi là *công suất trung bình* của lực thực hiện trong khoảng thời gian Δt .

Để tính công suất tại từng thời điểm, ta lấy Δt rất nhỏ, tức là cho $\Delta t \rightarrow 0$. Giới hạn của $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ khi $\Delta t \rightarrow 0$ được gọi là công suất tức thời (gọi tắt là công suất) của lực, ký hiệu là P và bằng:

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \quad (3-5)$$



Hình 3-2
Minh họa tính công của
lực \vec{F} thay đổi

Vậy: *công suất* (của máy tạo ra lực) là một đại lượng bằng đạo hàm của công theo thời gian.

Giữa công suất, lực, và vận tốc có mối liên hệ sau:

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

Tức là $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$ (3-6)

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị của công là Jun viết tắt là J:

$$1J = 1N \cdot 1m$$

Ngoài ra, người ta còn dùng các đơn vị là bội của Jun:

$$1\text{Kilô Jun} = 10^3\text{Jun} \quad (1KJ = 10^3J)$$

Công suất có đơn vị là Watt (W):

$$1W = \frac{1J}{1s}$$

Đơn vị lớn hơn thường là Kilô watt ($1kW = 10^3 W$).

Mêga watt ($1MW = 10^6 W$).

Trong thực tế người ta còn dùng đơn vị công suất là mã lực (sức ngựa), $1\text{mã lực} \approx 746W$

3.1.3. Công và công suất của lực tác dụng trong chuyển động quay

Trong trường hợp vật rắn quay quanh trục quay Δ các lực tác dụng đều là lực tiếp tuyến \vec{F}_t . Công vi phân của lực \vec{F}_t là :

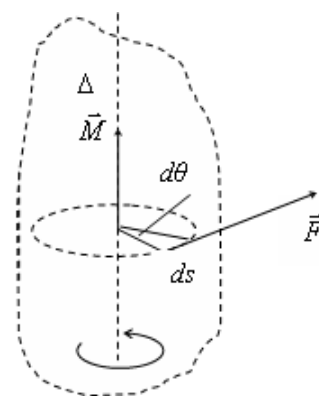
$$dA = F_t ds$$

mà $ds = r \cdot d\theta$ do vậy :

$dA = rF_t d\theta$ mà $rF_t = M$ là mômen của \vec{F}_t đối với trục quay Δ , do đó :

$$dA = M d\theta \quad (3-7)$$

Từ đó suy ra biểu thức của công suất :



Hình 3-3
Minh họa công của lực trong chuyển động quay

$$P = \frac{dA}{dt} = M \frac{d\theta}{dt} = \vec{M} \vec{\omega} \quad (3-8)$$

3.2. NĂNG LƯỢNG VÀ ĐỊNH BẢO TOÀN NĂNG LƯỢNG

3.2.1. Năng lượng và công

Năng lượng là một đại lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất. Trong tự nhiên có nhiều dạng vận động vật chất khác nhau. Mỗi dạng vận động vật chất cụ thể có một dạng năng lượng cụ thể.

Vận động cơ học (chuyển động cơ học) là sự thay đổi vị trí trong không gian, có dạng năng lượng gọi là *cơ năng*. Vận động nhiệt là sự chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên một vật, có dạng năng lượng tương ứng là *nội năng*, vận động điện từ có dạng năng lượng tương ứng là năng lượng điện từ ...

Vật lý học khẳng định rằng một vật ở trạng thái xác định thì có một năng lượng xác định. Ta suy ra, khi trạng thái của vật thay đổi thì năng lượng của nó thay đổi. Do đó có thể nói *năng lượng là hàm của trạng thái*.

Khi xét đến các quá trình vận động cơ học, ta thấy sự thay đổi trạng thái chuyển động có nghĩa là vật chuyển động có gia tốc, điều này liên quan đến lực tương tác giữa vật với các vật khác.

Lực tương tác lên vật làm cho vật di chuyển, tức là lực tương tác đã thực hiện một công lên vật. *Như vậy sự thay đổi năng lượng của một vật là kết quả của việc trao đổi công giữa vật với bên ngoài.* Nếu xét các dạng vận động khác ta cũng có kết luận như vậy.

Người ta cũng chứng minh được rằng khi vật (hoặc hệ vật) thực sự nhận công ($A > 0$) thì năng lượng của vật tăng, còn khi vật thực sự truyền công lên ngoại vật ($A < 0$) thì năng lượng của hệ giảm. Thực nghiệm chứng tỏ rằng: độ biến thiên năng lượng của hệ $\Delta W = W_2 - W_1$ bằng công A mà hệ nhận được, tức là:

$$A = W_2 - W_1 \quad (3-9)$$

Biểu thức (3-9) được phát biểu như sau:

Độ biến thiên năng lượng của một hệ trong quá trình nào đó bằng công mà hệ nhận được từ bên ngoài trong quá trình đó.

Từ (3-9) ta suy ra đơn vị của năng lượng giống đơn vị của công. Ngoài ra, trong thực tế người ta thường hay dùng đơn vị năng lượng là kilô-Woat-giờ (kWh):

$$1kWh = 10^3 Wh = 3,6.10^6 J.$$

3.2.2. Định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng.

Ở trên ta đã biết, khi hệ tương tác với bên ngoài thì năng lượng của hệ thay đổi; trường hợp riêng, khi hệ không tương tác với bên ngoài (hệ cô lập) thì $A = 0$. Khi đó (3-9) cho ta:

$$W_2 = W_1 = const \quad (3-10)$$

Tức là: *Năng lượng của một hệ cô lập luôn được bảo toàn.*

Từ (3-9) và (3-10) nếu xét các quá trình có thể có $A > 0$, $A < 0$, và $A = 0$ ta có thể phát biểu như sau:

Năng lượng không tự nhiên sinh ra mà cũng không tự nhiên mất đi, nó chỉ chuyển từ hệ này sang hệ khác.

Phát biểu đó chính là *định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng*.

Vì năng lượng đặc trưng cho mức độ vận động của vật chất, cho nên định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng là sự phản ánh về mặt khoa học tự nhiên tính không thể tiêu diệt được sự vận động của vật chất.

Từ định luật này, ta suy ra rằng khi hệ thực sự thực hiện công lên vật khác (tức là hệ nhận công âm, $A < 0$) thì năng lượng của hệ giảm. Vì năng lượng của hệ có hạn nên bản thân hệ không thể thực hiện công mãi được. Muốn tiếp tục thực hiện công, hệ phải nhận năng lượng từ một nguồn khác để bù vào phần năng lượng bị giảm trong quá trình làm việc. Tóm lại, theo định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng: *không thể có một hệ thực hiện công mãi mãi mà không nhận thêm năng lượng từ một nguồn bên ngoài.*

Một hệ sinh công mãi mãi mà không nhận năng lượng từ một nguồn bên ngoài được gọi là một *động cơ vĩnh cửu*. Định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng khẳng định *sự không tồn tại của động cơ vĩnh cửu*.

3.3. ĐỘNG NĂNG

Trong mục này ta xét một dạng năng lượng cụ thể, đó là động năng. Động năng là một phần của cơ năng.

3.3.1. Định lý về động năng

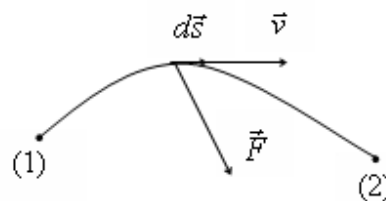
Động năng là phần cơ năng ứng với sự chuyển dời vị trí của các vật.

Giả sử xét chất điểm khối lượng m chịu tác dụng của một lực \vec{F} làm cho nó di chuyển từ vị trí (1) đến vị trí (2) trên đường cong (C) (hình 3-4). Công của lực \vec{F} thực hiện trong quá trình này là:

$$A = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

Theo định luật Newton II:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$



Hình 3-4
Để định nghĩa động năng

Và $\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}$

Từ đó, thay vào biểu thức tính công A , ta được:

$$A = \int_1^2 \vec{F} d\vec{s} = \int_1^2 m \vec{a} d\vec{s} = \int_1^2 m \frac{d\vec{v}}{dt} d\vec{s} = \int_1^2 m \vec{v} d\vec{v}$$

Nếu m không đổi, ta có thể viết:

$$A = \int_1^2 m d\left(\frac{v^2}{2}\right) = \int_1^2 d\left(\frac{mv^2}{2}\right)$$

Tại các vị trí (1) và (2) chất điểm có vận tốc tương ứng là \vec{v}_1, \vec{v}_2 . Thực hiện phép tích phân, ta được:

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (3-11)$$

Theo (3-9), công này bằng độ biến thiên động năng của chất điểm khi chuyển từ trạng thái có v_1 sang trạng thái có v_2 cho nên ta suy ra:

$$A = W_{d2} - W_{d1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (3-12)$$

- Động năng của chất điểm tại vị trí 1: $W_{d1} = \frac{mv_1^2}{2}$

- Động năng của chất điểm tại vị trí 2: $W_{d2} = \frac{mv_2^2}{2}$

Tổng quát: Động năng của chất điểm khối lượng m có vận tốc v là:

$$W_d = \frac{mv^2}{2} \quad (3-13)$$

Từ (3-11) - (3-13) ta phát biểu định lý về động năng như sau:

Độ biến thiên động năng của một chất điểm trong một quãng đường nào đó bằng công của ngoại lực tác dụng lên chất điểm trên quãng đường đó.

3.3.2. Động năng trong trường hợp vật rắn quay

Trong trường hợp vật rắn quay quanh trục quay Δ , biểu thức công vi phân:

$$dA = \vec{F} d\vec{s} = \vec{M} d\vec{\omega} dt$$

Phương trình cơ bản của chuyển động quay:

$$M = I\vec{\beta} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

$$\text{Vậy } dA = I \frac{d\vec{\omega}}{dt} \vec{\omega} dt = I \vec{\omega} d\vec{\omega} = Id \left(\frac{\vec{\omega}^2}{2} \right)$$

Lấy tích phân hai vế trong khoảng thời gian vận tốc góc biến thiên từ ω_1 đến ω_2 ta được công của ngoại lực tác dụng lên vật rắn quay trong khoảng thời gian đó:

$$A = \frac{I\omega_2}{2} - \frac{I\omega_1}{2} \quad (3-14)$$

Từ đó suy ra biểu thức động năng của vật rắn quay:

$$W_d = \frac{I\omega^2}{2} \quad (3-15)$$

Trong trường hợp tổng quát vật rắn vừa quay vừa tịnh tiến, động năng toàn phần của vật rắn bằng tổng động năng quay và động năng tịnh tiến:

$$W_d = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} \quad (3-16)$$

3.4. THỂ NĂNG

3.4.1. Trường lực thế

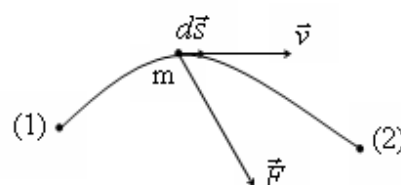
1. Định nghĩa

Nếu một chất điểm chuyển động trong một không gian nào đó luôn luôn chịu tác dụng của một lực \vec{F} , thì khoảng không gian đó được gọi là *trường lực thế* \vec{F} .

Trường hợp tổng quát lực \vec{F} tác dụng lên chất điểm phụ thuộc vào vị trí của chất điểm trong trường lực. Do đó, lực \vec{F} là một hàm của các tọa độ và cũng có thể là hàm của thời gian. Trong phạm vi chương trình này, ta chỉ xét trường hợp \vec{F} là một hàm của các tọa độ không gian, tức là:

$$\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}(x, y, z) \quad (3-17)$$

Nếu lực \vec{F} của trường lực tác dụng lên chất điểm di chuyển từ điểm (1) đến điểm (2) trong trường lực thì công của lực \vec{F} trong quá trình đó bằng:



Hình 3-5. Minh họa xác định công của trường lực thế

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{s}$$

Nếu công A_{12} của lực \vec{F} không phụ thuộc vào dạng của quỹ đạo dịch chuyển mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của điểm đầu và điểm cuối của quỹ đạo thì người ta nói $\vec{F}(\vec{r})$ là một lực thế, trường lực $\vec{F}(\vec{r})$ là một trường lực thế. Ví dụ: trường hấp dẫn, trường tĩnh điện là những trường lực thế.

2. Ví dụ về trường lực thế

Xét chất điểm m luôn chịu tác dụng của trọng lực:

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

Trong phạm vi không gian không lớn \vec{g} luôn thẳng đứng, hướng xuống dưới và có độ lớn không đổi, khi đó ta có trọng trường đều.

Tính công của trọng lực khi chất điểm di chuyển từ M đến N

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

$$\text{Mà } |d\vec{s}| \cos \alpha = -dh$$

Dấu $-dh$ có nghĩa là $dh < 0$ thì $dA > 0$

Vậy công của trọng lực khi chất điểm chuyển dời từ M đến N là:

$$A_{MN} = \int_{h_M}^{h_N} -P dh = mgh_M - mgh_N$$

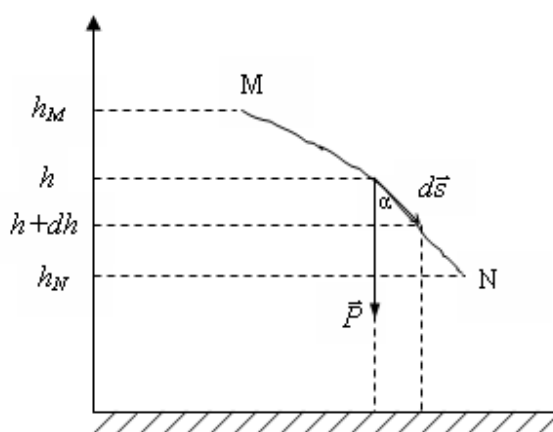
Ta thấy A_{MN} chỉ phụ thuộc vào h_M và h_N nghĩa là chỉ phụ thuộc vào vị trí M và N mà không phụ thuộc vào đường dịch chuyển.

3.4.2. Thế năng

1. Định nghĩa

Giả sử một chất điểm di chuyển từ điểm (1) sang điểm (2) trong trường lực thế. Khi đó, lực \vec{F} thực hiện một công A_{12} . Ở vị trí (1) nó có năng lượng W_{t1} , ở vị trí (2) nó có năng lượng W_{t2} . Dạng năng lượng này chỉ phụ thuộc vào vị trí của chất điểm trong trường thế và được gọi là thế năng. Người ta đã chứng minh rằng công A_{12} liên hệ với thế năng W_{t1} , W_{t2} theo hệ thức:

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2} = -\Delta W_t$$



Hình 3-6

Minh họa tính công của trọng lực

Từ đó có định nghĩa thế năng: *Thế năng W_t của một chất điểm trong trường lực thế là một hàm của vị trí của chất điểm sao cho:*

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2} \quad (3-18)$$

Từ (3-18), ta thấy rằng nếu đồng thời cộng W_{t1} và W_{t2} cùng với một hằng số C thì hệ thức (3-18) vẫn đúng. Nói cách khác, *thế năng của chất điểm tại một vị trí của trường lực thế được xác định sai khác một hằng số cộng tùy thuộc gốc thế năng được chọn.*

Thí dụ: Trong trọng trường đều biểu thức thế năng của chất điểm có độ cao h là:

$$W_t = mgh + C$$

2. Tính chất

- Thế năng 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 sau:

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{s} = W_t(1) - W_t(2) \quad (3-19)$$

Nếu cho chất điểm dịch chuyển theo một vòng tròn kín thì hệ thức trên thành:

$$\oint \vec{F} d\vec{s} = 0 \quad (3-20)$$

3. Ý nghĩa của thế năng: Thế năng là năng lượng đặc trưng cho sự tương tác.

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

1. Định luật bảo toàn cơ năng

Ta gọi cơ năng của chất điểm là dạng năng lượng của chất điểm chuyển động cơ học. *Tổng động năng và thế năng của chất điểm được gọi là cơ năng.*

Xét chất điểm khối lượng m chuyển động từ vị trí (1) sang vị trí (2) trong một trường lực thế thì công của lực thế được xác định bởi: $A_{12} = W_{t1} - W_{t2}$

Theo định lý về động năng thì nếu chất điểm chỉ chịu tác dụng của lực thế, ta có: $A_{12} = W_{d2} - W_{d1}$

Từ hai biểu thức này ta suy ra: $W_{t1} - W_{t2} = W_{d2} - W_{d1}$

Chuyển các số hạng có cùng chỉ số sang cùng một vế, ta sẽ được:

$$W_{t1} + W_{d1} = W_{d2} + W_{t2} = \text{const} \quad (3-21)$$

Từ (3-21) ta suy ra: cơ năng của chất điểm không đổi, không phụ thuộc vào vị trí của chất điểm, tức là *cơ năng của chất điểm được bảo toàn*. Từ đó, ta có thể phát biểu thành định luật *bảo toàn cơ năng trong trường lực thế* như sau:

Định luật: Khi chất điểm chuyển động trong một trường lực thế thì cơ năng của nó được bảo toàn.

Chú ý: Định luật bảo toàn cơ năng chỉ áp dụng đối với chất điểm chuyển động trong trường lực thế và chỉ chịu tác dụng của lực thế, ngoài ra không có lực nào khác tác dụng lên nó. Nếu ngoài lực thế, chất điểm còn chịu tác dụng của các lực khác (lực ma sát chẳng hạn) thì cơ năng của chất điểm không bảo toàn, độ biến thiên cơ năng của chất điểm sẽ bằng công của lực đó.

2. Sơ đồ thế năng

Thế năng của chất điểm trong trường lực thế là một hàm của tọa độ x, y, z của chất điểm đó : $W_t = W_t(x, y, z)$

Trường hợp thế năng chỉ phụ thuộc vào một tọa độ (x chẳng hạn), W_t là hàm của một tọa độ x : $W_t = W_t(x)$

Đồ thị của hàm W_t theo x gọi là sơ đồ thế năng. Khảo sát sơ đồ thế năng của chất điểm trong trường lực thế, ta có thể suy ra một số kết luận định tính về chuyển động của chất điểm trong trường lực thế.

Ta hãy xét vấn đề giới hạn của chuyển động. Giả sử cơ năng của chất điểm trong trường lực thế có một giá trị xác định bằng W . Nghĩa là tổng động năng và thế năng của chất điểm luôn có giá trị bằng W và được bảo toàn:

$$\frac{mv^2}{2} + W_t(x) = W = \text{const} \quad (3-22)$$

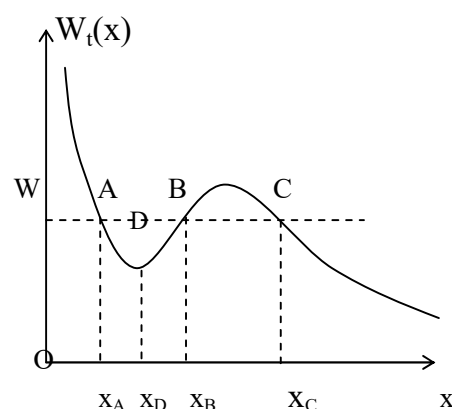
Vì $\frac{mv^2}{2} \geq 0$ nên ta suy ra điều kiện:

$$W_t(x) \leq W \quad (3-23)$$

Bất đẳng thức (3-23) có nghĩa là, chất điểm chỉ có thể chuyển động trong phạm vi sao cho nó có thế năng không vượt quá cơ năng của nó. Nói cách khác tọa độ x của chất điểm chỉ biến thiên trong một phạm vi nào đó. Ta nói (3-23) xác định giới hạn chuyển động của chất điểm.

Xét trường hợp đường cong thế $W_t = W_t(x)$ có dạng như hình (3-7). Trên hình đó ta thấy thế năng có một cực đại và một cực tiểu. Giả thiết cơ năng toàn phần của chất điểm có trị số W , đường thẳng $W=\text{const}$ cắt đường cong thế năng tại ba điểm A, B, C .

Theo đó, để thỏa mãn điều kiện (3-23), tọa



Hình 3-7. Đường cong thế

độ x của chất điểm phải nằm trong phạm vi sau:

$$x_A \leq x \leq x_B \text{ và } x \geq x_C \quad (3-24)$$

Các điều kiện (3-24) xác định giới hạn chuyển động của chất điểm.

Khi $x_A \leq x \leq x_B$: chất điểm chuyển động trong phạm vi từ x_A đến x_B và đi qua x_D . Tại x_D nó có thể năng cực tiểu.

Khi $x \geq x_C$, chất điểm chuyển động ra vô cực.

Tại các điểm x_A, x_B, x_C chất điểm có thế năng cực đại và bằng cơ năng toàn phần W của chất điểm. Ở các điểm đó, động năng của chất điểm bằng không, vận tốc bằng không và đổi chiều.

Tại điểm x_D thế năng của chất điểm cực tiểu, động năng cực đại. Nếu không có hao tổn năng lượng, chất điểm sẽ chuyển động không ngừng trong phạm vi từ x_A đến x_B . Nếu bị hao tổn năng lượng (do sức cản chẳng hạn), cơ năng của chất điểm giảm dần, sau một thời gian nào đó, chất điểm sẽ có cơ năng bằng thế năng cực tiểu của chất điểm tại x_D , tại đó nó có động năng bằng không và vận tốc bằng không. Điểm x_D là *điểm cân bằng bền* của chất điểm.

3.5. VA CHẠM

Thực nghiệm chứng tỏ khi va chạm với nhau, các vật rắn sẽ biến dạng. Nếu biến dạng của các vật tự hồi phục sau khi va chạm thì va chạm được gọi là *va chạm đàn hồi*.

Trong quá trình này, tổng động năng của hệ không thay đổi và cơ năng của hệ không chuyển thành các dạng năng lượng khác. Nếu biến dạng của các vật không tự hồi phục thì va chạm được gọi là *va chạm không đàn hồi* hay *va chạm mềm*. Trong quá trình này, tổng động năng của hệ vật sau va chạm bị giảm do một phần năng lượng của hệ biến thành công làm biến dạng các vật và một phần biến thành nhiệt làm nóng các vật.

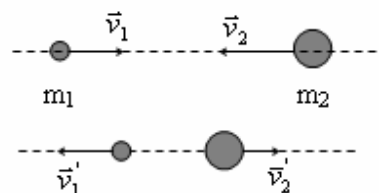
Để cụ thể, ta xét một hệ vật cô lập gồm hai quả cầu khối lượng m_1, m_2 chuyển động với vận tốc \vec{v}_1 và \vec{v}_2 dọc theo đường thẳng nối tâm của chúng đến va chạm xuyên tâm với nhau. Giả sử sau va chạm hai quả cầu vẫn giữ nguyên phương chuyển động như ban đầu. Ta sẽ xác định vận tốc của hai quả cầu sau va chạm.

3.5.1. Va chạm đàn hồi

Trong va chạm đàn hồi, sau va chạm, hai quả cầu chuyển động với vận tốc v'_1 và v'_2 khác nhau. Khi đó, tổng động lượng của hệ theo phương chuyển động được bảo toàn:

$$m_1 v'_1 + m_2 v'_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

và động năng của hệ cũng được bảo toàn:



Hình 3-8. Va chạm đàn hồi giữa các vật

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

Từ hai phương trình trên ta rút ra hệ phương trình sau đây:

$$v_1' = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

Ta suy ra các trường hợp riêng:

*Nếu $m_1 = m_2$ thì $v_1' = v_2$, $v_2' = v_1$ tức là hai quả cầu va chạm trao đổi vận tốc cho nhau.

*Nếu $m_1 < m_2$ và $v_2 = 0$ thì $v_1' = -v_1$ tức là sau va chạm, quả cầu m_1 đổi chiều chuyển động, quay ngược trở lại và có vận tốc giữ nguyên độ lớn ban đầu.

3.5.2. Va chạm mềm

Sau va chạm, hai quả cầu dính vào nhau và chuyển động với cùng vận tốc v' . Khi đó $v_1' = v_2' = v$

Theo định luật bảo toàn động lượng :

$$(m_1 + m_2)v = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

Suy ra :

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

Nhưng tổng động năng của hệ sau va chạm giảm một lượng:

$$-\Delta W_d = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (v_1 - v_2)^2$$

Độ giảm động năng này một phần bằng công làm biến dạng 2 quả cầu và một phần biến thành nhiệt làm nóng hai quả cầu va chạm.

HƯỚNG DẪN HỌC CHƯƠNG 3

I. MỤC ĐÍCH, YÊU CẦU

Sau khi nghiên cứu chương 3, yêu cầu sinh viên:

1. Nắm vững khái niệm công và công suất. Thiết lập các biểu thức đó.
2. Nắm được khái niệm năng lượng, mối liên hệ giữa công và năng lượng, định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng.
3. Nắm được khái niệm động năng và thế năng, các định lý về động năng và thế năng.
4. Nắm được khái niệm về trường lực thế, thế năng của một chất điểm trong trường lực thế, tính chất của trường lực thế, cơ năng và định luật bảo toàn cơ năng của một chất điểm trong trường lực thế.
5. Vận dụng được hai định luật bảo toàn cơ năng và định luật bảo toàn động lượng để giải các bài toán về va chạm.

II. TÓM TẮT NỘI DUNG

1. Một lực thực hiện công khi điểm đặt lực dịch chuyển. Công nguyên tố dA của lực trên đoạn đường ds bằng:

$$dA = \vec{F} d\vec{s} = F \cdot ds \cdot \cos \alpha = F_s ds,$$

F_s là hình chiếu của lực lên phương dịch chuyển ds . Công của lực trên cả đoạn đường chuyển động được tính bằng tích phân:

$$A = \int_{AB} dA = \int_{AB} \vec{F} d\vec{s}$$

Để đặc trưng cho sức mạnh của động cơ (máy tạo ra lực), người ta dùng khái niệm *công suất* của động cơ, bằng *công thực hiện được trong một đơn vị thời gian*, ký hiệu là p :

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

Đơn vị của công trong hệ SI là Jun (J), của công suất là Oát (W).

2. Đại lượng đặc trưng cho mức độ mạnh yếu của mọi dạng chuyển động của một hệ gọi là *năng lượng*. Mọi dạng chuyển động có một dạng năng lượng tương ứng. Chuyển động cơ học có cơ năng, chuyển động nhiệt ứng với nội năng... Độ biến thiên năng lượng của hệ bằng công mà hệ nhận được:

$$A = W_2 - W_1 = \Delta W$$

Khi $\Delta W > 0$, hệ nhận công từ ngoài, năng lượng của hệ tăng.

Khi $\Delta W < 0$, hệ thực hiện công lên vật khác (ngoại vật), năng lượng của hệ giảm.

Cơ năng W của một vật trong trường lực thế gồm động năng W_d (phụ thuộc vào vận tốc của vật) và thế năng W_t (phụ thuộc vào vị trí của vật ở trong trường lực):

$$W = W_d + W_t$$

Khi vật tương tác với vật khác (ngoại vật), nó trao đổi năng lượng với vật khác, làm vận tốc của nó thay đổi, do đó động năng của nó thay đổi, độ biến thiên động năng của vật bằng công A_{12} trao đổi giữa vật với ngoại vật:

$$A_{12} = W_{d2} - W_{d1} \quad (1)$$

Nếu $A_{12} > 0$ thì động năng của vật tăng, vận tốc tăng, đó là công phát động. Nếu $A_{12} < 0$ thì động năng của vật giảm, vận tốc giảm, đó là công cản.

Động năng của chất điểm: $W_d = \frac{mv^2}{2}$

Động năng của vật rắn quay quanh trục quay cố định: $W_{dq} = \frac{I\omega^2}{2}$

Đối với vật rắn vừa chuyển động tịnh tiến, vừa chuyển động quay:

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

Nếu công A_{12} của lực \vec{F} không phụ thuộc vào dạng của quãng đường dịch chuyển mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của điểm đầu và điểm cuối của quãng đường thì người ta nói $\vec{F}(\vec{r})$ là một lực thế, trường lực $\vec{F}(\vec{r})$ là một trường lực thế. Ví dụ: trường hấp dẫn, trường tĩnh điện là những trường lực thế.

Thế năng W_t của một chất điểm trong trường lực thế là một hàm của vị trí của chất điểm sao cho:

$$A_{12} = W_{t1} - W_{t2} \quad (2)$$

Tổng động năng và thế năng của chất điểm được gọi là cơ năng.

Định luật: Khi chất điểm chuyển động trong một trường lực thế thì cơ năng của nó được bảo toàn.

Cuối cùng, xét bài toán va chạm của 2 vật. Có hai loại va chạm: va chạm đàn hồi và va chạm không đàn hồi (hay va chạm mềm).

Đối với va chạm đàn hồi, động năng của hệ trước và sau va chạm bằng nhau (bảo toàn). Đối với va chạm mềm, một phần năng lượng của hệ dùng để làm biến dạng vật hoặc toả nhiệt khi va chạm, do đó năng lượng của hệ sau va chạm nhỏ hơn trước khi va chạm. Nếu bỏ qua các ngoại lực (kể cả lực ma sát) thì động lượng của hệ trong cả hai loại va chạm đều bảo toàn trước và sau va chạm. Đối với va chạm mềm thì năng lượng của hệ trước va chạm vẫn bằng năng lượng của

hệ sau va chạm, nhưng sau va chạm thì ngoài động năng của hệ, còn phải tính đến cả phần năng lượng bị tổn hao do toả nhiệt hoặc để làm biến dạng vật.

III. CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Khi nào nói lực thực hiện công. Viết biểu thức công của lực trong trường hợp tổng quát. Nêu ý nghĩa của các trường hợp: $A > 0$, $A < 0$, $A = 0$.
2. Phân biệt công và công suất. Đơn vị của công và công suất?
3. Khái niệm về năng lượng, định luật bảo toàn năng lượng và ý nghĩa của nó. Nêu các thành phần của cơ năng. Nêu ý nghĩa của động năng và thế năng.
4. Khái niệm về trường lực thế? Tính chất của trường lực thế, áp dụng cho trường lực thế của quả đất?
5. Chứng minh định lý động năng và định lý thế năng. Động năng của một chất điểm có được xác định sai khác một hằng số cộng không? Tại sao?
6. Phát biểu định luật bảo toàn cơ năng.
7. Tại sao nói thế năng đặc trưng cho sự tương tác giữa các vật?

IV. BÀI TẬP

Thí dụ 1: Tính công cần thiết để kéo một lò xo dãn thêm 20cm, biết rằng lực kéo dãn lò xo tỷ lệ với độ dãn dài của lò xo và muốn là xo dãn thêm 1cm thì phải tác dụng lên nó một lực kéo bằng 30N.

Bài giải:

Lực kéo F tỷ lệ với độ dãn dài của lò xo

$$F = kx \rightarrow k = \frac{F}{x} = \frac{30}{10^{-2}} = 3000 \text{ N/m}$$

Vì lực kéo thay đổi phụ thuộc vào độ dãn dài, nên công của lực kéo phải tính theo tích phân:

$$A = \int_0^x F dx = \int_0^x k.x dx = \frac{kx^2}{2} = \frac{3000.0,2^2}{2} = 60 \text{ J}$$

Thí dụ 2: Một vật được ném thẳng đứng từ độ cao $h = 240\text{m}$ xuống mặt đất với vận tốc ban đầu $v_0 = 14\text{m/s}$. Vật đi sâu vào đất một đoạn $s = 0,2\text{m}$. Cho khối lượng của vật $m = 1\text{kg}$. Bỏ qua ma sát của không khí. Tìm lực cản trung bình của đất lên vật. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

Bài giải:

Vật đi sâu vào đất nhờ cơ năng của nó. Gọi v là vận tốc của vật tại mặt đất. Theo định luật bảo toàn cơ năng trong trọng trường ta có:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$$

Khi đi sâu vào mặt đất nó bị cản lại, vận tốc của nó giảm dần tới không. Theo định lí về động năng, công cân bằng:

$$A = 0 - \frac{1}{2}mv^2 = F.s$$

Do đó:

$$F = -\frac{\left(\frac{1}{2}mv_0^2 + mgh\right)}{s} = -12250N$$

Thí dụ 3: Một vật có khối lượng $m_1 = 3\text{kg}$ chuyển động với vận tốc $v_1 = 4\text{m/s}$ tới va chạm vào một vật thứ hai đang đứng yên có khối lượng $m_2 = m_1$. Coi va chạm là xuyên tâm và hoàn toàn không đàn hồi (va chạm mềm). Tìm nhiệt lượng tỏa ra trong quá trình va chạm.

Bài giải:

Vận tốc của hai vật sau va chạm: áp dụng định luật bảo toàn động lượng

$$v = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

Động năng của hệ trước va chạm:

$$E_{d1} = \frac{1}{2}m_1v_1^2$$

Động năng của hệ sau va chạm:

$$E_{d2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$$

Nhiệt tỏa ra trong quá trình va chạm:

$$Q = E_{d1} - E_{d2} = \frac{m_1v_1^2}{2} - \frac{m_1v_1^2}{2(m_1 + m_2)} = 12J$$

Thí dụ 4: Người ta cho các vật có hình dạng khác nhau lăn không trượt từ đỉnh mặt nghiêng có độ cao h , mặt nghiêng hợp với mặt phẳng ngang một góc α . Xác định gia tốc dài và vận tốc dài của các vật tại chân mặt nghiêng nếu vật là:

- Một quả cầu đặc
- Một trụ đặc.
- Một vành tròn.

Bài giải:

Có thể giải bài này theo hai cách: áp dụng phương trình động lực học cho vật hoặc áp dụng định luật bảo toàn cơ năng:

Theo định luật bảo toàn cơ năng đối với vật lăn tại đỉnh mặt nghiêng và chân mặt nghiêng ta có:

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

Khi lăn không trượt vận tốc dài của vật liên hệ với vận tốc góc $v = \omega.R$, từ đó suy ra:

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + \frac{I}{mR^2}}}$$

Từ hệ thức $v^2 = 2as$, ta suy ra gia tốc dài:

$$a = \frac{v^2}{2s} = \frac{g \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{I}{mR^2}}$$

a. Khối cầu: $I = \frac{2}{5}mR^2$ nên $a = \frac{5}{7}g \cdot \sin \alpha$, $v = \sqrt{\frac{10}{7}g \cdot h}$

b. Khối trụ đặc: $I = \frac{1}{2}mR^2$ nên $a = \frac{2}{3}g \cdot \sin \alpha$, $v = \sqrt{\frac{4}{3}g \cdot h}$

c. Một vành tròn: $I = mR^2$ nên $a = \frac{1}{2}g \cdot \sin \alpha$, $v = \sqrt{g \cdot h}$

Bài tập tự giải

1. Heli động cơ máy bay phải có công suất bằng bao nhiêu, biết rằng máy bay có khối lượng 3000kg, khi bay lên cao 1km phải mất một phút. Bỏ qua sức cản của không khí. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

Đáp số: $P = 5 \cdot 10^5 \text{ W}$

2. Một ô tô có khối lượng một tấn, khi tắt máy chuyển động xuống dốc thì có vận tốc không đổi 54km/h. Độ nghiêng của dốc là 4%. Heli động cơ ô tô phải có công suất bao nhiêu để nó lên dốc trên với cùng vận tốc 54km/h. ($\sin \alpha = 0,04$). Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

HD:

$$F_{ms} = mg \sin \alpha = kmg \cos \alpha$$

$$F_k = mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha = 2mg \sin \alpha$$

$$F = P \cdot v = 2mg \sin \alpha \cdot 15$$

Đáp số: $P = 1,2 \cdot 10^4 \text{ W}$

3. Một ô tô bắt đầu chuyển động nhanh dần đều trên mặt đường nằm ngang, sau khi đi được 100m thì vận tốc đạt được 72km/h. Tìm công của động cơ ô tô trên đoạn đường ấy. Biết khối lượng của ô tô bằng 1,8 tấn, hệ số ma sát giữa ô tô và mặt đường $k = 0,05$. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

Đáp số: $A = 4,5 \cdot 10^5 \text{ J}$

4. Một vật có khối lượng 3kg, trượt không vận tốc ban đầu từ đỉnh mặt nghiêng có độ cao 0,5m, chiều dài mặt nghiêng 1m. Khi tới chân mặt nghiêng vật có vận tốc 2,45m/s. Tìm:

1. Hệ số ma sát giữa vật và mặt nghiêng.
2. Công của lực ma sát khi vật trượt trên mặt nghiêng. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

Đáp số: $k = 0,23$; $A = -6\text{J}$

5. Tính công cần thiết để làm cho một đoàn tàu có khối lượng $8 \cdot 10^5 \text{ kg}$:

1. Tăng tốc từ vận tốc 36km/h đến vận tốc 54km/h
2. Dừng lại nếu vận tốc ban đầu 72km/h.

Đáp số: 1. $A = 5 \cdot 10^7 \text{ J}$; 2. $A = 16 \cdot 10^7 \text{ J}$

6. Một khẩu pháo có khối lượng 450kg bắn theo phương ngang, đạn khối lượng 5kg, vận tốc của đạn khi bắn ra khỏi nòng là 450m/s. Khi bắn, bệ pháo bị giật lùi về phía sau 45cm. Tìm lực hãm trung bình tác dụng lên pháo.

Đáp số: $F_h = -1,25 \cdot 10^4 \text{ N}$

7. Một viên đạn khối lượng 10g đang bay với vận tốc 100m/s thì gặp bản gỗ dày và cắm sâu vào bản một đoạn 4cm. Tìm:

1. Lực cản trung bình của gỗ lên đạn.
2. Vận tốc của viên đạn khi ra khỏi bản gỗ đó, nếu bản gỗ chỉ dày 2cm.

HD:

1. Áp dụng định lý động năng

$$F_C = -\frac{mv_o^2}{2s}$$

2. Viên đạn chuyển động thêm một đoạn 4cm. Áp dụng định lý động năng:

$$A' = \frac{mv'^2}{2} - \frac{mv_o^2}{2} = F_C \cdot d$$

$$\rightarrow v' = \sqrt{\frac{2F_C d}{m} + v_o^2}$$

Đáp số: 1. $F_C = -1250\text{N}$; 2. $v = 70,7 \text{ m/s}$

8. Một vật khối lượng m trượt không ma sát từ đỉnh một mặt cầu xuống. Hỏi từ khoảng cách nào (tính từ đỉnh mặt cầu) vật bắt đầu rơi khỏi mặt cầu. Cho bán kính mặt cầu 90cm.

HD:

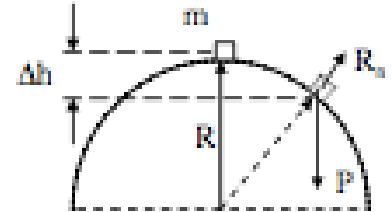
$$P_n - R_n = m \frac{v^2}{R} \rightarrow R_n = mg \cos \alpha - \frac{mv^2}{R}$$

Áp dụng định luật bảo toàn cơ năng cho quá trình vật rơi từ đỉnh tới vị trí M

$$mg\Delta h = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\rightarrow R_n = mg \cos \alpha - \frac{2mg\Delta h}{R} = mg \frac{R - \Delta h}{R} - \frac{2mg\Delta h}{R}$$

$$= mg \left(1 - \frac{3\Delta h}{R}\right)$$



$$\text{Vật rời khỏi mặt cầu nếu } R_n = 0 \rightarrow \Delta h = \frac{R}{3}$$

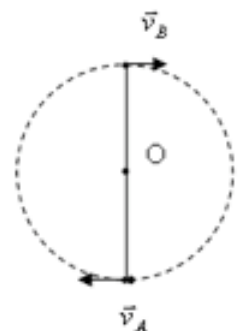
Đáp số: $\Delta h = 30\text{cm}$

9. Từ đỉnh tháp nghiêng cao $h = 20\text{m}$, người ta ném một vật khối lượng 50g theo phương nghiêng với mặt ngang, với vận tốc ban đầu 18m/s. Khi tới mặt đất vật có vận tốc 24m/s. Tính công của lực cản của không khí tác dụng lên vật. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

Đáp số: $A = -3,7 \text{ J}$

10. Ở đầu sợi dây OA, dài 30cm có treo một vật nặng (hình 3- 2bt). Hỏi tại điểm thấp nhất A phải truyền cho vật một vận tốc bé nhất bằng bao nhiêu để vật có thể quay tròn trong mặt phẳng thẳng đứng.

Đáp số: $v_{\text{Amin}} = \sqrt{5g\ell} = 3,87 \text{ m/s}$



11. Một vật có khối lượng 1kg, được ném thẳng đứng ở độ cao 240m xuống mặt đất với vận tốc ban đầu 14m/s. Vật đi sâu vào đất một đoạn 0,2m. Tính lực cản trung bình của đất lên vật. Bỏ qua sức cản của không khí. Cho $g = 10\text{m/s}^2$

Đáp số: $F_c = -12,5 \cdot 10^3 \text{ N}$

12. Một quả cầu khối lượng $m_1 = 2\text{kg}$ chuyển động với vận tốc $v_1 = 3\text{m/s}$, va chạm xuyên tâm với quả cầu thứ hai khối lượng $m_2 = 3\text{kg}$ đang chuyển động với vận tốc $v_2 = 1\text{m/s}$ cùng chiều với quả cầu thứ nhất. Tìm vận tốc của mỗi quả cầu sau va chạm, nếu:

1. Va chạm là hoàn toàn đàn hồi.

2. Va chạm mềm.

Đáp số: 1. $v'_1 = 0,6\text{m/s}$; $v'_2 = 2,6\text{m/s}$; 2. $v'_1 = v'_2 = 1,8\text{m/s}$

13. Một quả cầu khối lượng $m_1 = 5\text{kg}$, chuyển động tới va chạm vào quả cầu thứ hai đang đứng yên có khối lượng $m_2 = 2,5\text{kg}$. Sau va chạm động năng của quả cầu thứ hai là 5J, coi va chạm là xuyên tâm và đàn hồi. Xác định động năng của quả cầu thứ nhất trước và sau va chạm.

Đáp số: $W_1 = 5,625 \text{ J}$; $W'_1 = 0,625\text{J}$

14. Một đĩa tròn đồng chất nặng 20N, lăn không trượt trên một mặt phẳng nằm ngang với vận tốc 4m/s. Tìm động năng của đĩa. Cho $g = 10\text{m/s}^2$

Đáp số: $W_d = \frac{3}{4}mv^2 = 24 \text{ J}$

15. Tính công cần thiết để làm cho một vô lăng hình vành tròn đường kính 1m, khối lượng 500kg, đang đứng yên quay tới vận tốc 120 vòng/phút.

Đáp số: $A = 10\text{KJ}$

16. Một quả cầu đặc đồng chất có khối lượng $m = 1\text{kg}$, lăn không trượt với vận tốc $v_1 = 10\text{m/s}$ đến đập vào thành tường rồi bật trở ra với vận tốc $v_2 = 8\text{m/s}$. Tính nhiệt tỏa ra trong va chạm đó.

HD: Sau va chạm động năng giảm, tỏa ra dưới dạng nhiệt .

$$W_d = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{5}mv^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{7}{10}mv^2$$

Nhiệt lượng tỏa ra do va chạm:

$$Q = -\Delta W_d = -\frac{7}{10}m(v_2^2 - v_1^2)$$

Đáp số: $Q = 25,2 \text{ J}$

17. Một cột đồng chất có chiều cao 5m, đang đứng ở vị trí cân bằng thì bị đổ xuống. Xác định:

1. Vận tốc dài của đỉnh cột khi nó chạm đất.

2. Vị trí của điểm M trên cột sao cho khi M chạm đất thì vận tốc của nó đúng bằng vận tốc chạm đất của một vật thả rơi tự do từ vị trí M. Cho $g = 10\text{m/s}^2$.

HD: 1. Áp dụng định luật bảo toàn cơ năng cho vị trí thẳng đứng tới vị trí cột chạm đất

$$\frac{1}{2}I\varpi^2 = \frac{1}{2}mgh \rightarrow \varpi = \sqrt{\frac{3g}{h}}$$

2. Gọi x là độ cao của điểm M khi cột ở vị trí thẳng đứng.

$$\text{Vận tốc của vật bị chạm đất } v_M = \sqrt{2gx}$$

$$\text{Theo điều kiện đầu bài } x\varpi = \sqrt{2gx} \rightarrow x = \frac{2}{3}h$$

Đáp số: 1. $v = 12,2 \text{ m/s}$; 2. $x = \frac{2}{3}h = \frac{10}{3} \text{ m}$