

Chuyên đề: Sự va chạm của vật rắn

Các bài toán về va chạm của vật rắn thường hay xuất hiện trong các đề thi HSG, thông thường các bài tập dạng này rất hay và cũng nhiều bài khó. Sau đây tôi xin giới thiệu với các bạn bài viết chuyên đề của thầy giáo Tô Giang, một người có nhiều năm kinh nghiệm tập huấn các đội tuyển HSG, về vấn đề va chạm của vật rắn này.

Chuyên đề : Sự va chạm của vật rắn

Tô Giang

A. Phần kiến thức chung

I. Cơ chế của sự va chạm

Thí nghiệm chứng tỏ rằng khi hai vật va chạm nhau, chúng bị biến dạng nhẹ, bị dẹt đi và lúc đó chúng có cùng vận tốc. Sau đó chúng lấy lại hình dạng ban đầu với mức độ nhiễu ít khác nhau và xảy ra sự nhẩy lùi xa nhau. Như vậy sự va chạm bao gồm hai pha, pha nén và pha dãn.

Thời gian va chạm tuy không bằng 0 nhưng luôn rất nhỏ so với toàn bộ thời gian phân tích hiện tượng. Do đó có thể coi sự va chạm xảy ra tại một chỗ trong không gian. Ngoài ra sự biến thiên vận tốc của hai vật thì lớn vì chúng tác dụng vào nhau những lực rất lớn.

II. Các định luật động lực học áp dụng cho sự va chạm của hai vật rắn

$$\vec{\Delta P} = \sum \vec{F}_{ex} \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\vec{\Delta L} = \vec{M}_{O,ex} \cdot \Delta t \quad (2)$$

Công thức (1) rút ra từ định luật II Newton áp dụng cho khối tâm, có liên quan đến chuyển động tịnh tiến của khối tâm, còn công thức (2) liên quan đến chuyển động quay.

III. Khảo sát sự va chạm về phương diện năng lượng

1. Định lý về động năng

$$\Delta K = A_{ext} + A_{in}$$

Trong đó các ngoại lực tác dụng thì không đáng kể vì các ngoại lực không lớn, còn công của các lực va chạm là công âm vì ngay cả khi không có ma sát thì hệ chịu một sự biến dạng tại chỗ tiếp xúc, và như vậy hệ tiêu thụ một phần động năng.

$$\Delta K = A_{in} \leq 0$$

2. Sự va chạm đàn hồi và không đàn hồi

a. Định nghĩa

Sự va chạm là đàn hồi khi động năng toàn phần của hai vật được bảo toàn

$$\Delta K = 0$$

Trong tất cả các trường hợp khác, sự va chạm là không đàn hồi. Phần động năng mất đi cho phép thay đổi tính chất của hai vật bằng cách làm cho chúng biến dạng, làm vỡ chúng thành các mảnh hay làm tăng nhiệt độ của chúng.

<="" a="">

.Trong nhiệt động lực học ,người ta nói nội năng của hệ do tương tác thay đổi .

b. Hệ số hồi phục năng lượng

Va chạm không đàn hồi được đặc trưng bởi một tỉ số

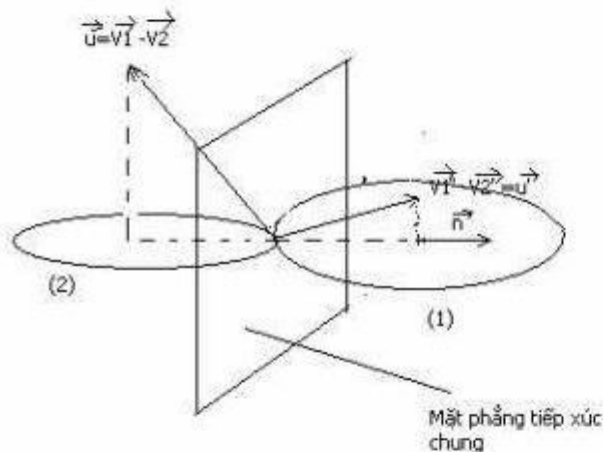
$$\epsilon = \frac{K'}{K} \text{ với } 0 < \epsilon < 1$$

$\epsilon = 1$: va chạm đàn hồi

$\epsilon = 0$ va chạm hoàn toàn không đàn hồi .Toàn bộ động năng được sử dụng bị mất đi

c. Hệ số hồi phục thành phần pháp tuyến của vận tốc tương đối

$$\epsilon = - \frac{(\vec{v}_1' - \vec{v}_2') \cdot \vec{n}}{(\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \cdot \vec{n}} = - \frac{u'}{u}$$



d. Cách xác định hệ số hồi phục bằng thực nghiệm

Người ta thả rơi một quả cầu từ độ cao h xuống một tấm nằm ngang được giữ yên và đo chiều cao h' nảy lên

$$\epsilon = \frac{v_1'^2}{v_1^2} = \frac{h'}{h}$$

$$\epsilon = \frac{v_1'}{v_1} = \sqrt{\frac{h'}{h}}$$

B. Một số trường hợp va chạm

I. Va chạm trực diện :

1, Định nghĩa Sự va chạm được gọi là trực diện nếu như :

a, Sự tiếp xúc xảy ra trên đường thẳng nối hai khối tâm G1 và G2

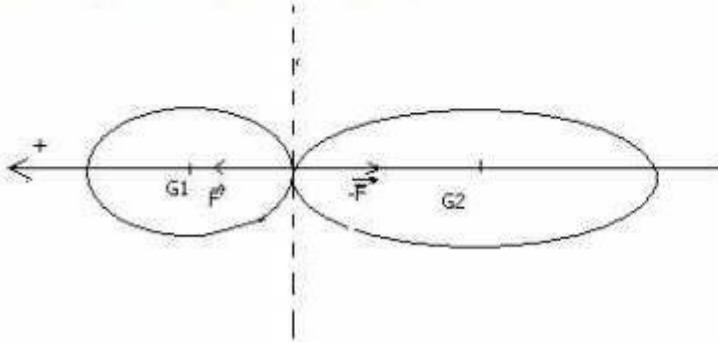
b, Pháp tuyến chung ở chỗ tiếp xúc là đường thẳng nối tâm G1 và G2

<="" a="">

c, Lúc va chạm hai vật chuyển động tịnh tiến song song với đường thẳng này.

2. Bài toán đặt ra là: Xác định vận tốc sau va chạm của hai vật ($\vec{v}_1'$; $\vec{v}_2'$) theo các vận tốc trước va chạm ($\vec{v}_1$; $\vec{v}_2$)

a, Trước hết ta áp dụng công thức $\Delta \vec{L} = \vec{M}_G \cdot \Delta t$. Trước va chạm hai vật chuyển động tịnh tiến do đó mô men động lượng bằng 0. Khi va chạm, lực do vật này tác dụng lên vật kia có giá đi qua khối tâm nên mô men lực đối với khối tâm G vẫn bằng 0. Do vậy sau va chạm mô men động lượng vẫn bằng 0 và hai vật chuyển động tịnh tiến



b, Tiếp đến ta áp dụng công thức $\Delta \vec{P} = \vec{F} \Delta t$

Bằng cách chiếu phương trình đó lên trục vuông góc với trục G1G2 ta suy ra chuyển động tịnh tiến của hai vật rắn sau va chạm vẫn song song với G1G2

Bằng cách chiếu $\Delta \vec{P} = \vec{F} \Delta t$ lên trục G1G2 ta được:

$$m_1(v_1' - v_1) = F \Delta t \quad (1)$$

$$m_2(v_2' - v_2) = -F \Delta t \quad (2)$$

Ngoài ra ta cần có thêm một phương trình liên quan đến mức độ đàn hồi va chạm

$$v_2' - v_1' = -e(v_2 - v_1) \quad (3)$$

Giải hệ 3 phương trình trên ta được

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

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

$$F \Delta t = -(1 + e) \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)$$

<="" a="">

$$K_1 - K_2 = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (v_1 - v_2)^2$$

Xét trường hợp $e=1$ và $e=0$ ta suy ra được các phương trình tương ứng mà ta đã biết.

II Va chạm thẳng nhưng không xuyên tâm

Trong trường hợp này hai vật chuyển động tịnh tiến song song với đường va chạm nhưng đường này không đi qua hai khối tâm

Gọi M là điểm tiếp xúc. Pháp tuyến với mặt phẳng tiếp xúc chung tại M không đi qua cả G1 lẫn G2

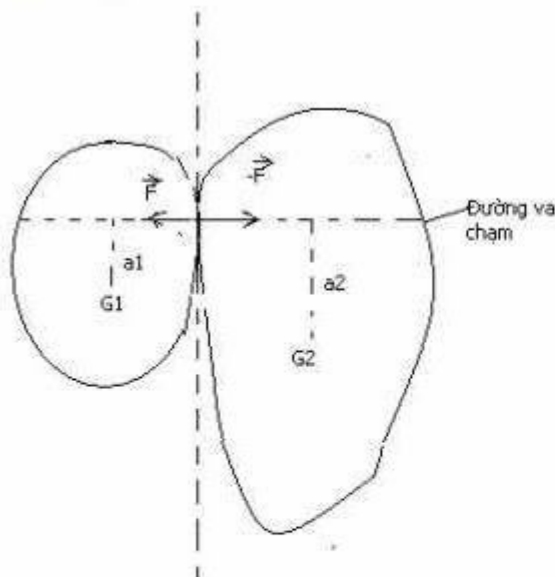
Trước hết ta áp dụng phương trình $\Delta \vec{P} = \vec{F} \Delta t$

$$m_1 (v_1' - v_1) = F \Delta t \quad (1)$$

$$m_1 (v_2' - v_2) = -F \Delta t \quad (2)$$

Trong đó $v_1'; v_2'$ là vận tốc khối tâm G1 ; G2 sau va chạm, tức là vận tốc của phần chuyển động tịnh tiến. Vì các lực F và -F không đi qua khối tâm nên mỗi vật quay quanh một trục đi qua khối tâm và vuông góc với mặt phẳng đi qua G và đường va chạm

Áp dụng



Áp dụng công thức $\Delta \vec{L}_G = \vec{M}_{G,F} \Delta t$ ta có :

$$I_1 \omega_1 = F \cdot a_1 \Delta t \quad (3)$$

$$I_2 \omega_2 = F \cdot a_2 \Delta t \quad (3)$$

<="" a="">

Từ đó ta có được 4 phương trình với 5 ẩn số. Do đó muốn giải được ta còn cần phải biết đến mức độ đàn hồi của va chạm. Gọi M_1 ; M_2 là hai điểm thuộc về hai vật tiếp xúc nhau tại M ; u_1 và u_2 là hình chiếu vận tốc của chúng ngay sau va chạm lên hướng của F . Ta có :

$$u_2 - u_1 = -e.(v_2 - v_1)$$

Như đã biết, sau va chạm hai vật chuyển động vừa tịnh tiến vừa quay quanh khối tâm nên ta có :

$$u_1 = v_1' + \omega_1 . a_1 (*)$$

$$u_2 = v_2' + \omega_2 . a_2 (*)$$

$$(v_2' + \omega_2 . a_2) - (v_1' + \omega_1 . a_1) = -e.(v_2 - v_1)$$

Với 5 phương trình trên ta có thể giải được bài toán chuyển động thẳng không xuyên tâm. Tuy nhiên có thể tính được u_1 và u_2 theo cách sau đây :

Kết hợp (1) với (*) ta được :

$$v_1' = u_1 - \omega_1 . a_1$$

$$m_1.(v_1' - v_1) = m_1.(u_1 - \omega_1 . a_1 - v_1) = F . \Delta t$$

Kết hợp với (3) ta có được :

$$m_1 u_1 - m_1 \frac{F \Delta t . a_1^2}{I_1} - m_1 v_1 = F \Delta t$$

$$m_1 (u_1 - v_1) = F \Delta t \left(\frac{m_1 a_1^2}{I_1} + 1 \right)$$

Đặt $I = m . k^2$ ta đ ư ợ c

$$m_1 (u_1 - v_1) = F \Delta t \left(\frac{a_1^2}{k^2} + 1 \right)$$

$$\frac{m_1}{1 + a_1^2 / k^2} (u_1 - v_1) = F \Delta t$$

tương tự

$$\frac{m_2}{1 + a_2^2 / k^2} (u_2 - v_2) = - F \Delta t$$

So sánh hai biểu thức trên ta có nhận xét : nếu ta thay hai khối lượng m_1 và m_2 bằng $\frac{m_1}{1 + a_1^2 / k^2}$ và $\frac{m_2}{1 + a_2^2 / k^2}$ thì vận tốc u_1 và u_2 nhận được giống như những công thức cho va chạm trực diện .

<="" a="">