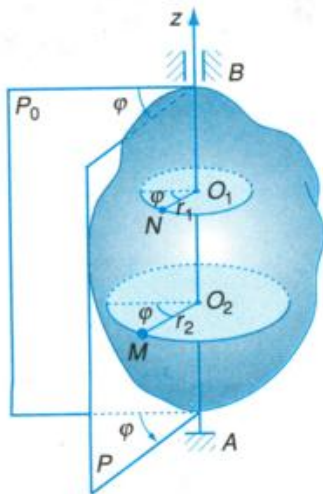


1 CHUYỂN ĐỘNG QUAY CỦA VẬT RẮN QUANH MỘT TRỤC CỐ ĐỊNH



Chuyển động quay của côn nước (loại guồng nước thường thấy ở vùng núi phía Bắc nước ta). Côn nước được dùng để tải nước từ suối lên ruộng cao.

Ở lớp 10, ta đã biết *vật rắn* là vật mà khoảng cách giữa hai điểm bất kì của vật không thay đổi (vật không thay đổi hình dạng). Khi vật rắn *chuyển động tịnh tiến* (thẳng hoặc cong) thì mọi điểm của vật có quỹ đạo giống hệt nhau, có thể chồng khít lên nhau. Vì thế, muốn khảo sát chuyển động tịnh tiến của vật rắn, ta chỉ cần xét chuyển động của một điểm bất kì của nó. Trong bài này, chúng ta sẽ đi sâu tìm hiểu chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định về phương diện động học với nội dung là: Xác định quy luật chuyển động của vật và tìm mối liên hệ giữa các đại lượng đặc trưng cho chuyển động quay.



Hình 1.1 Vật rắn quay quanh một trục cố định Az . P_0 là mặt phẳng cố định, P là mặt phẳng động gắn với vật và quay cùng với vật.

C1 Trên Hình 1.1, khi vật rắn quay quanh trục Az thì các điểm M, N trên vật sẽ chuyển động như thế nào?

1. Toạ độ góc

Xét một vật rắn bất kì quay quanh một trục Az cố định (Hình 1.1). Chuyển động này có hai đặc điểm sau đây:

– Mỗi điểm trên vật vạch một đường tròn nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục quay, có bán kính bằng khoảng cách từ điểm đó đến trục quay, có tâm ở trên trục quay.

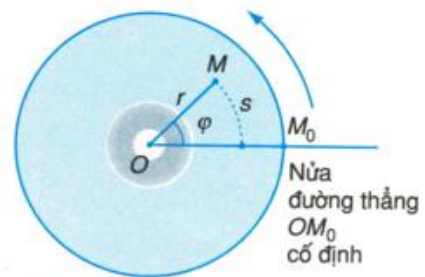
– Mọi điểm của vật đều quay được cùng một góc trong cùng một khoảng thời gian.

Trên Hình 1.1, vị trí của vật tại mỗi thời điểm sẽ được xác định bằng góc φ giữa một *mặt phẳng động* P gắn với vật và một *mặt phẳng cố định* P_0 (hai mặt phẳng này đều chứa trục quay). Góc φ được gọi là *toạ độ góc* của vật.

Góc φ đo bằng *radian* (rad).

Để đơn giản, ta chỉ xét vật quay theo một chiều và chọn chiều dương là chiều quay của vật, khi đó $\varphi > 0$.

Khi vật rắn quay, sự biến thiên của φ theo thời gian t thể hiện quy luật chuyển động của mặt phẳng P , cũng chính là thể hiện quy luật chuyển động quay của vật quanh trục cố định Az .



Hình 1.2 Khi vật rắn có dạng phẳng quay trong mặt phẳng của nó quanh tâm O (chẳng hạn, một đĩa compact quay quanh trục vuông góc với mặt đĩa), thay cho mặt phẳng động P và mặt phẳng cố định P_0 , ta chỉ cần lấy một bán kính động OM nào đó và một nửa đường thẳng OM_0 cố định.

2. Tốc độ góc

Ở thời điểm t , toạ độ góc của vật là φ . Ở thời điểm $t + \Delta t$, toạ độ góc của vật là $\varphi + \Delta\varphi$. Như vậy, trong khoảng thời gian Δt , góc quay của vật là $\Delta\varphi$.

Tốc độ góc trung bình ω_{tb} của vật rắn trong khoảng thời gian Δt là :

$$\omega_{tb} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Tốc độ góc tức thời ở một thời điểm t được xác định bằng giới hạn của tỉ số $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ khi Δt tiến dần tới 0. Như vậy :

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}, \text{ hay } \omega = \varphi'(t) \quad (1.2)$$

Tốc độ góc tức thời (gọi tắt là tốc độ góc) là đại lượng đặc trưng cho mức độ nhanh, chậm của chuyển động quay của vật rắn quanh một trục ở thời điểm t và được xác định bằng đạo hàm của toạ độ góc theo thời gian.

Đơn vị của tốc độ góc là rad/s.

3. Gia tốc góc

Tại thời điểm t , vật có tốc độ góc là ω . Tại thời điểm $t + \Delta t$, vật có tốc độ góc là $\omega + \Delta\omega$. Như vậy, trong khoảng thời gian Δt , tốc độ góc của vật biến thiên một lượng là $\Delta\omega$.

☞ Một đĩa compact trong ổ đọc của một máy vi tính đang quay đều với tốc độ quay 450 vòng/phút. Hãy xác định tốc độ góc của đĩa bằng đơn vị rad/s.



Hình 1.3 Bánh xe đạp quay quanh trục cố định.

C3 Trên Hình 1.3, một bánh xe đạp quay từ trạng thái đứng yên, sau 2 s nó đạt được tốc độ góc 10 rad/s. Gia tốc góc trung bình trong thời gian đó của bánh xe có giá trị bằng bao nhiêu ?

Bảng 1.1

Sự tương ứng giữa các đại lượng góc trong chuyển động quay và các đại lượng dài trong chuyển động thẳng.

Đại lượng góc	Đại lượng dài
Toạ độ góc φ	Toạ độ x
Tốc độ góc ω	Tốc độ v
Gia tốc góc γ	Gia tốc a

Gia tốc góc trung bình của vật trong khoảng thời gian Δt là :

$$\gamma_{tb} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1.3)$$

Gia tốc góc tức thời ở thời điểm t được xác định bằng giới hạn của tỉ số $\frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ khi Δt tiến dần tới 0. Như vậy :

$$\gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}, \text{ hay } \gamma = \omega'(t) \quad (1.4)$$

Gia tốc góc tức thời (gọi tắt là gia tốc góc) của vật rắn quay quanh một trục ở thời điểm t là đại lượng đặc trưng cho sự biến thiên của tốc độ góc ở thời điểm đó và được xác định bằng đạo hàm của tốc độ góc theo thời gian.

Đơn vị của gia tốc góc là rad/s^2 .

4. Các phương trình động học của chuyển động quay

Ta xét hai dạng chuyển động quay quan trọng, đó là chuyển động quay với tốc độ góc không đổi và chuyển động quay với gia tốc góc không đổi.

a) Trong trường hợp tốc độ góc của vật rắn không đổi theo thời gian ($\omega = \text{hằng số}$) thì chuyển động của vật rắn là *chuyển động quay đều*.

Từ công thức (1.1), chọn gốc thời gian $t = 0$ là lúc mặt phẳng P lệch với mặt phẳng P_0 một góc φ_0 , ta suy ra :

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t \quad (1.5)$$

trong đó φ_0 là toạ độ góc ban đầu, lúc $t = 0$.

Phương trình (1.5) là *phương trình chuyển động của vật rắn quay đều* quanh một trục cố định.

b) Trong trường hợp gia tốc góc của vật rắn không đổi theo thời gian ($\gamma =$ hằng số) thì chuyển động của vật rắn là *chuyển động quay biến đổi đều*.

Các phương trình của chuyển động quay biến đổi đều của vật rắn quanh một trục cố định có dạng :

$$\omega = \omega_0 + \gamma t \quad (1.6)$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \gamma t^2 \quad (1.7)$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\gamma(\varphi - \varphi_0) \quad (1.8)$$

(φ_0, ω_0 là toạ độ góc và tốc độ góc ban đầu tại thời điểm $t = 0$).

Nếu vật quay theo một chiều nhất định và tốc độ góc ω tăng theo thời gian thì chuyển động quay là *nhANH DẦN* ($\gamma > 0$).

Nếu tốc độ góc ω giảm theo thời gian thì chuyển động quay là *CHẬM DẦN* ($\gamma < 0$).

5. Vận tốc và gia tốc của các điểm trên vật quay

Ở lớp 10, ta đã biết giữa tốc độ góc ω và tốc độ dài v của một điểm chuyển động trên quỹ đạo tròn có bán kính r , có hệ thức :

$$v = \omega r \quad (1.9)$$

Nếu vật rắn quay đều thì mỗi điểm của vật chuyển động tròn đều. Khi đó vectơ vận tốc \vec{v} của mỗi điểm chỉ thay đổi về hướng mà không thay đổi về độ lớn, do đó mỗi điểm của vật có gia tốc hướng tâm với độ lớn được xác định bởi :

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (1.10)$$

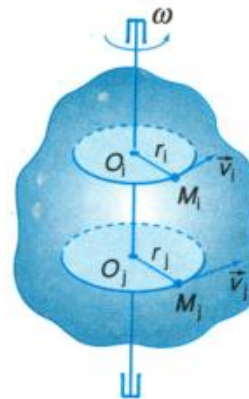
Nếu vật rắn quay không đều thì mỗi điểm của vật cũng chuyển động tròn không đều. Khi đó vectơ vận tốc \vec{v} của mỗi điểm thay đổi cả về hướng lẫn độ lớn. Trong trường hợp này, vectơ gia

C4 Dựa vào sự tương ứng giữa các đại lượng góc trong chuyển động quay biến đổi đều quanh trục cố định với các đại lượng dài trong chuyển động thẳng biến đổi đều, hãy điền vào các ô trống công thức tương tự ở cột bên cạnh trong Bảng 1.2

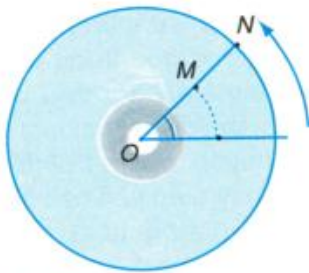
Bảng 1.2

Chuyển động quay (quanh trục cố định)	Chuyển động thẳng biến đổi đều
?	$v = v_0 + at$
$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \gamma t^2$?
?	$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

Khi vật rắn quay, mỗi điểm của vật (trừ các điểm nằm trên trục quay) đều có cùng φ, ω và γ . Vì thế, các công thức trên không những dùng được cho vật rắn quay, xét về toàn bộ, mà còn dùng được cho cả mỗi điểm của vật đó.



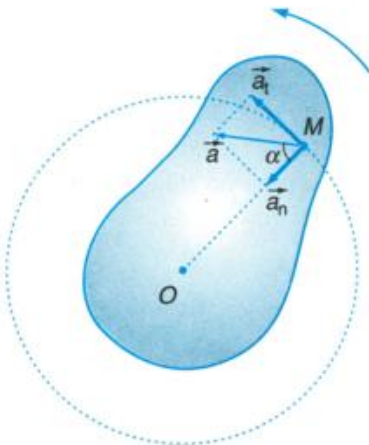
Hình 1.4 Khi vật rắn quay quanh trục cố định, các điểm trên vật có cùng tốc độ góc. Điểm nào càng ở xa trục quay thì có tốc độ dài càng lớn.



Hình 1.5 Một đĩa compact đang quay đều.

C5 Trong Hình 1.5, hãy so sánh gia tốc hướng tâm của điểm N trên vành đĩa với gia tốc hướng tâm của điểm M cách trục quay một khoảng cách bằng nửa bán kính của đĩa.

C6 Khi vật quay không đều, vectơ gia tốc \vec{a} của mỗi điểm trên vật rắn có đặc điểm gì khác với khi vật quay đều ?



Hình 1.6 Vật rắn quay không đều quanh trục đi qua O, vuông góc với mặt phẳng hình vẽ.

tốc \vec{a} của mỗi điểm có hai thành phần (Hình 1.6) :

– Thành phần \vec{a}_n vuông góc với \vec{v} , đặc trưng cho sự thay đổi về hướng của \vec{v} , thành phần này chính là gia tốc hướng tâm.

– Thành phần \vec{a}_t có phương của \vec{v} , đặc trưng cho sự thay đổi về độ lớn của \vec{v} , được gọi là gia tốc tiếp tuyến :

$$a_t = \frac{dv}{dt} = v' = (r\omega)'$$

Từ đó :
$$a_t = r\gamma \quad (1.11)$$

$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$ gọi là gia tốc của điểm chuyển động tròn không đều.

Độ lớn của gia tốc \vec{a} :

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2} \quad (1.12)$$

Vectơ gia tốc \vec{a} hợp với bán kính OM góc α , với :

$$\tan \alpha = \frac{a_t}{a_n} = \frac{\gamma}{\omega^2} \quad (1.13)$$

? CÂU HỎI

1. Nêu sự tương ứng giữa các đại lượng góc trong chuyển động quay và các đại lượng dài trong chuyển động thẳng.
2. Viết các phương trình của chuyển động quay biến đổi đều của vật rắn quanh một trục cố định.
3. Viết công thức tính gia tốc tiếp tuyến, gia tốc hướng tâm của một điểm chuyển động tròn không đều.



BÀI TẬP

- Một cánh quạt dài 20 cm, quay với tốc độ góc không đổi là $\omega = 94 \text{ rad/s}$. Tốc độ dài của một điểm ở đầu ngoài của cánh quạt bằng
A. 37,6 m/s. B. 23,5 m/s. C. 18,8 m/s. D. 47 m/s.
- Hai học sinh A và B đứng trên chiếc đu quay tròn, A ở ngoài rìa, B ở cách tâm một đoạn bằng nửa bán kính của đu. Gọi $\omega_A, \omega_B, \gamma_A, \gamma_B$ lần lượt là tốc độ góc và gia tốc góc của A và B. Kết luận nào sau đây là đúng?
A. $\omega_A = \omega_B, \gamma_A = \gamma_B$. B. $\omega_A > \omega_B, \gamma_A > \gamma_B$.
C. $\omega_A < \omega_B, \gamma_A = 2\gamma_B$. D. $\omega_A = \omega_B, \gamma_A > \gamma_B$.
- Một điểm ở trên vật rắn cách trục quay một khoảng R. Khi vật rắn quay đều quanh trục, điểm đó có tốc độ dài là v. Tốc độ góc của vật rắn là
A. $\omega = \frac{v}{R}$. B. $\omega = \frac{v^2}{R}$. C. $\omega = vR$. D. $\omega = \frac{R}{v}$.
- Bánh đà của một động cơ từ lúc khởi động đến lúc đạt tốc độ góc 140 rad/s phải mất 2 s. Biết động cơ quay nhanh dần đều. Góc quay của bánh đà trong thời gian trên bằng
A. 140 rad. B. 70 rad. C. 35 rad. D. 35π rad.
- Một bánh xe quay nhanh dần đều quanh trục. Lúc $t = 0$ bánh xe có tốc độ góc 5 rad/s. Sau 5 s, tốc độ góc của nó tăng lên đến 7 rad/s. Gia tốc góc của bánh xe là
A. $0,2 \text{ rad/s}^2$. B. $0,4 \text{ rad/s}^2$. C. $2,4 \text{ rad/s}^2$. D. $0,8 \text{ rad/s}^2$.
- Rôto của một động cơ quay đều, cứ mỗi phút quay được 3 000 vòng. Trong 20 s, rôto quay được một góc bằng bao nhiêu?
- Cánh quạt của máy phát điện chạy bằng sức gió dài 4 m, quay đều với tốc độ 45 vòng/phút. Tính tốc độ dài tại một điểm nằm ở đầu ngoài của cánh quạt.
- Tại thời điểm $t = 0$, một bánh xe đập bắt đầu quay quanh một trục với gia tốc góc không đổi. Sau 5 s nó quay được một góc 25 rad. Tính tốc độ góc và gia tốc góc của bánh xe tại thời điểm $t = 5 \text{ s}$.