

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

I - MỤC TIÊU

- Hiểu được khái niệm vật rắn và chuyển động tịnh tiến của một vật rắn là gì.
- Hiểu được các khái niệm toạ độ góc φ , tốc độ góc ω , gia tốc góc γ .
- Nắm vững các công thức liên hệ giữa tốc độ góc và tốc độ dài, gia tốc góc và gia tốc dài của một điểm trên vật rắn.
- Vận dụng được các công thức của chuyển động quay đều, quay biến đổi đều để giải các bài tập đơn giản.

II - CHUẨN BỊ

Giáo viên

Đây là bài học mở đầu cho chương I và cũng là mở đầu cho môn học. Vì thế việc gây hứng thú học tập cho HS là rất cần thiết. GV có thể dùng các hình vẽ, tranh ảnh minh hoạ về chuyển động quay của vật rắn để mở bài và khai thác các kiến thức có liên quan đến bài học. GV cũng có thể tham khảo các tư liệu (hình ảnh, phim minh hoạ) về chuyển động quay của vật rắn trên các trang web, các phần mềm mô phỏng chuyển động quay của vật rắn...

Học sinh

Ôn lại phần Động học chất điểm ở Vật lí lớp 10 (phương trình chuyển động thẳng đều, thẳng biến đổi đều, các công thức về chuyển động tròn đều) ôn các khái niệm chuyển động tịnh tiến của vật rắn.

III - NHỮNG ĐIỀU CẦN LƯU Ý

1. Trong thực tế, khi quan sát các vật rắn quay (chẳng hạn cánh cửa quay quanh bản lề, chuyển động của con quay, đu quay, cánh quạt của máy bay trực thăng...) ta thường quan tâm chủ yếu đến sự nhanh, chậm, góc quay, thời gian quay... của vật. Vì vậy, để đơn giản và vừa sức với HS, trong bài học này ta không đề cập đến tính chất vectơ của vận tốc góc, gia tốc góc. Các khái niệm *góc quay*, *tốc độ góc*, *tốc độ dài* và đơn vị đo chúng, HS đã được biết đến từ lớp 10, do đó

việc đưa vào các khái niệm này không khó với HS. Tuy nhiên, cần làm cho HS hiểu rõ ý nghĩa của gia tốc góc trung bình, gia tốc góc tức thời. GV chỉ cần giới thiệu sơ lược với HS gia tốc góc tức thời có thể tính bằng đạo hàm bậc một theo thời gian của tốc độ góc, nhưng cần nhấn mạnh gia tốc tức thời (gọi tắt là gia tốc góc) của vật rắn quay quanh một trục là đại lượng đặc trưng cho sự biến thiên của tốc độ góc ở một thời điểm đã cho.

2. Trong SGK chỉ giới hạn sự quay theo một chiều, tức là $\varphi \geq 0$, $\omega \geq 0$, nhưng γ có thể dương hoặc âm. Vì $\omega > 0$, nên nếu ω tăng thì $\gamma > 0$: vật quay nhanh dần ; nếu ω giảm thì $\gamma < 0$: vật quay chậm dần.

3. Trong các giáo trình Vật lí ở bậc đại học, các khái niệm vận tốc góc, gia tốc góc được đưa vào dưới dạng vectơ.

– Vận tốc góc là một vectơ có độ lớn bằng tốc độ góc, có phương dọc theo trục quay và có hướng của chiều tiến của đinh ốc thuận khi nó quay theo chiều quay của vật. Vectơ vận tốc góc là một vectơ trượt, tức là có gốc tùy ý.

– Giữa vectơ vận tốc góc và vectơ vận tốc dài của một điểm nằm trên vật rắn có hệ thức :

$$\vec{v} = \vec{\omega} \wedge \vec{r} \quad (1.1) \text{ (Hình 1.1)}$$

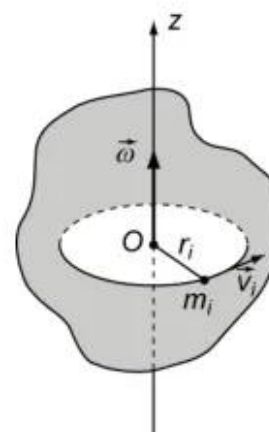
– Đối với các điểm của vật rắn thì vectơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ vuông góc với vectơ tia \vec{r} , do đó về độ lớn hệ thức trên trở thành : $v = \omega r$.

– Trong chuyển động quay quanh một trục cố định, vectơ gia tốc góc $\vec{\gamma}$ có cùng phương với vectơ vận tốc góc $\vec{\omega}$ nhưng có chiều tùy thuộc độ biến thiên theo thời gian của vận tốc góc.

– Vectơ gia tốc dài \vec{a} của một điểm trên vật rắn được tính bằng đạo hàm theo thời gian của vectơ vận tốc dài. Theo (1.1), ta có :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \wedge \vec{r} + \vec{\omega} \wedge \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\gamma} \wedge \vec{r} + \vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r}) \quad (1.2)$$

Số hạng thứ nhất : $\vec{a}_t = \vec{\gamma} \wedge \vec{r}$ là gia tốc tiếp tuyến, có độ lớn bằng : $a_t = r\gamma$, đặc trưng cho sự biến thiên nhanh hay chậm về độ lớn của vectơ vận tốc \vec{v} .



Hình 1.1

Số hạng thứ hai : $\vec{\omega} \wedge (\vec{\omega} \wedge \vec{r})$ là gia tốc pháp tuyến (còn gọi là gia tốc hướng tâm), có độ lớn bằng : $a_n = r\omega^2$, đặc trưng cho sự biến thiên nhanh hay chậm về hướng của vectơ vận tốc \vec{v} .

4. Trong phạm vi chương trình phổ thông, chúng ta chỉ 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.

GV cần phân tích kĩ Hình 1.6 SGK để giúp HS hiểu rõ trường hợp khi *vật 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.

IV - GỢI Ý VỀ PHƯƠNG PHÁP VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC

1. Toạ độ góc

GV có thể mở đầu bài học bằng cách nhắc lại khái niệm vật rắn, chuyển động tịnh tiến. Tiếp đó, GV gợi ý HS nêu các ví dụ thường gặp về chuyển động quay của vật rắn quanh một trục cố định (chẳng hạn như chuyển động của cánh quạt quanh trục, chuyển động của con quay, của đu quay...). Sau đó, GV hướng dẫn HS thảo luận và tìm hiểu xem bằng cách nào xác định được vị trí của vật rắn quay.

Tiếp theo, GV nêu câu hỏi **C1** và hướng dẫn HS trả lời : Khi vật rắn quay quanh trục Az cố định thì các điểm M, N trên vật đều vạch những đường tròn nằm trong các 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. Các điểm M, N của vật đều có cùng một góc quay. Từ đó gợi ý cho HS thấy rằng chuyển động ấy 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 cùng một góc trong cùng một khoảng thời gian.*

GV dùng Hình 1.1 (SGK) để giúp HS hiểu được vị trí của vật tại mỗi thời điểm có thể được xác định bằng góc φ giữa *mặt phẳng động* P cắt qua vật và *mặt phẳng cố định* P_0 (hai mặt phẳng này đều chứa trục quay). Góc φ được gọi là toạ độ góc của vật, với quy ước chiều dương được chọn sao cho toạ độ góc $\varphi \geq 0$.

Góc φ đo bằng rad.

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

Từ hình 1.1, GV gợi ý cho HS cách tính góc quay $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$, trong đó φ là toạ độ góc lúc sau, φ_0 là toạ độ góc lúc đầu của vật rắn.

2. Tốc độ góc

GV gợi ý cho HS nêu ý nghĩa của tốc độ góc là đại lượng đặc trưng cho mức độ quay nhanh, chậm của vật rắn, quanh một trục.

Cách đưa vào khái niệm và công thức tốc độ góc trung bình ω_{tb} của vật rắn cũng tương tự như với tốc độ trung bình v_{tb} của chất điểm trong chuyển động thẳng ở Vật lí 10.

Cụ thể là : Ở thời điểm t , toạ độ góc của vật là φ .

Ở thời điểm $t + \Delta t$, toạ độ góc của vật là $\varphi + \Delta\varphi$.

Suy ra, trong khoảng thời gian Δt , góc quay của vật là $\Delta\varphi$. Từ đó, tốc độ góc trung bình ω_{tb} của vật rắn trong khoảng thời gian Δt là :

$$\omega_{tb} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1.3)$$

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

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1.4)$$

GV lưu ý HS rằng, có thể xác định tốc độ góc bằng đạo hàm của toạ độ góc theo thời gian.

Đơn vị của tốc độ góc là rad/s.

Có thể dùng **C2** để khích lệ HS tham gia bài giảng.

C2 Tốc độ góc của đĩa : $\omega = \frac{450.2\pi}{60} \approx 47 \text{ rad/s}$.

3. Gia tốc góc

Cách đưa vào khái niệm và công thức gia tốc góc trung bình γ_{tb} của vật rắn cũng tương tự như với gia tốc trung bình a_{tb} của chất điểm trong chuyển động thẳng :

$$\gamma_{tb} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1.5)$$

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 không.

$$\gamma = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (1.6)$$

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 .

GV hướng dẫn HS áp dụng công thức (1.5) để trả lời câu hỏi **C3**.

Gia tốc góc trung bình của bánh xe : $\gamma_{tb} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{10 \text{ rad/s}}{2\text{s}} = 5 \text{ rad/s}^2$.

4. Các phương trình động học của chuyển động quay

GV dùng Bảng 1.1 SGK để gợi ý cho HS tìm các phương trình của 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, dựa vào sự so sánh giữa chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay.

a) Trong trường hợp tốc độ góc của vật rắn không đổi theo thời gian ($\omega =$ hằng số) thì chuyển động của vật rắn là *chuyển động quay đều* với phương trình chuyển động :

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t \quad (1.7)$$

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

Phương trình này có dạng tương tự với phương trình chuyển động thẳng đều :

$$x = x_0 + vt$$

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*.

Để dẫn đến các phương trình của chuyển động quay biến đổi đều của vật rắn quanh một trục cố định, GV hướng dẫn HS điền vào các ô trống trong Bảng 1.2 SGK :

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

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

GV cần lưu ý HS :

– Nếu vật quay theo một chiều nhất định ($\omega > 0$) và nếu tốc độ góc ω tăng đều theo thời gian thì chuyển động quay là nhanh dần đều ($\gamma > 0$).

– Nếu tốc độ góc ω giảm đều ($\omega > 0$) theo thời gian thì chuyển động quay là chậm dần đều ($\gamma < 0$).

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

GV nhắc lại kiến thức về chuyển động tròn đều ở lớp 10, từ đó đi đến hệ thức giữa tốc độ góc ω và tốc độ dài của một điểm chuyển động tròn đều cách trục quay đoạn r có hệ thức : $v = \omega r$.

– Trong trường hợp 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 \vec{a}_n với độ lớn xác

định bởi : $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$.

GV hướng dẫn HS áp dụng công thức $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$ để trả lời câu hỏi **C5**.

C5 Từ công thức : $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$, ta thấy gia tốc hướng tâm của điểm N trên vành đĩa gấp hai lần gia tốc hướng tâm a_n của điểm M .

Để dẫn đến trường hợp vật rắn quay không đều, GV có thể dùng gợi ý **C6**.

C6 Trong trường hợp vật 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. Khi đó vectơ gia tốc \vec{a} của mỗi điểm có hai thành phần :

– 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 $a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$.

– 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*: $a_t = \frac{dv}{dt} = v' = (r\omega)'$.

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

Độ lớn của vectơ gia tốc \vec{a} là: $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$.

Vectơ gia tốc \vec{a} hợp với bán kính OM góc α , với $\tan \alpha = \frac{a_t}{a_n} = \frac{\gamma}{\omega^2}$.

V - HƯỚNG DẪN TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ GIẢI BÀI TẬP

Câu hỏi

1. Xem các thông tin ở Bảng 1.1 và Bảng 1.2 SGK.
2. Xem mục 4. Các phương trình động học của chuyển động quay (SGK).
3. Xem mục 5. Vận tốc và gia tốc của các điểm trên vật quay (SGK).

Bài tập

1. C.
2. A.
3. A.
4. A.
5. B.
6. 6 280 rad.
7. $v = r\omega = 18,84$ m/s.
8. 10 rad/s ; 2 rad/s².