

Tổng hợp kiến thức: Mômen lực và Điều kiện cân bằng của vật rắn có trục quay cố định

Kiến thức về mômen lực và điều kiện cân bằng là nền tảng quan trọng trong chương trình Vật lý lớp 10, giúp giải thích nhiều hiện tượng cơ học trong đời sống và kỹ thuật. Tài liệu này sẽ tổng hợp đầy đủ và chi tiết các khái niệm liên quan.

I. Mômen lực

1. Tác dụng làm quay của lực

Một lực tác dụng lên vật không chỉ có thể gây ra chuyển động tịnh tiến mà còn có thể gây ra chuyển động quay quanh một trục hoặc một điểm. Tác dụng làm quay của lực phụ thuộc vào 3 yếu tố:

- **Độ lớn của lực:** Lực càng lớn, tác dụng làm quay càng mạnh.
- **Điểm đặt của lực:** Lực tác dụng càng xa trục quay, tác dụng làm quay càng mạnh.
- **Phương và chiều của lực:** Lực có phương không đi qua trục quay mới có thể gây ra tác dụng làm quay.

Ví dụ: Khi đẩy một cánh cửa, nếu ta đẩy ở vị trí gần bản lề (trục quay), ta cần một lực rất lớn để làm cửa quay. Nhưng nếu đẩy ở vị trí tay nắm cửa (xa bản lề), ta chỉ cần một lực nhỏ hơn nhiều.

2. Khái niệm Mômen lực (M)

Mômen lực là một đại lượng vật lý đặc trưng cho tác dụng làm quay của một lực quanh một trục quay.

- **Công thức:** $M = F \cdot d$

- **Giải thích các đại lượng:**

- **M:** Mômen lực (đơn vị: N.m)
- **F:** Độ lớn của lực tác dụng (đơn vị: N)
- **d:** Cánh tay đòn của lực (đơn vị: m)

- **Quy ước dấu:** Mômen lực có thể có giá trị dương hoặc âm tùy theo quy ước chiều quay. Thông thường, ta quy ước chiều quay ngược chiều kim đồng hồ là chiều dương (+), và chiều quay cùng chiều kim đồng hồ là chiều âm (-).

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1:** Một người dùng cờ lê để vặn một con ốc. Người đó tác dụng một lực 100 N vào đầu cờ lê, điểm đặt lực cách tâm ốc (trục quay) 0,2 m và lực vuông góc với thân cờ lê. Mômen lực tác dụng lên ốc là: $M = F \cdot d = 100 \cdot 0,2 = 20 \text{ N.m}$.
2. **Ví dụ 2:** Một đứa trẻ đẩy một cánh cửa với một lực 20 N. Điểm đặt của lực cách bản lề 0,8 m và lực đẩy vuông góc với mặt cửa. Mômen lực làm quay cánh cửa là: $M = F \cdot d = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ N.m}$.

3. Cánh tay đòn (d)

Cánh tay đòn là thành phần quan trọng và thường gây nhầm lẫn nhất khi tính mômen lực.

- **Định nghĩa:** Cánh tay đòn của một lực là khoảng cách vuông góc từ trục quay đến giá (đường thẳng chứa vectơ) của lực.
- **Cách xác định:**
 1. Xác định trục quay (điểm O).
 2. Vẽ đường thẳng (Δ) chứa vectơ lực F (gọi là giá của lực).
 3. Từ trục quay O, hạ đường vuông góc OH xuống giá của lực (Δ).
 4. Độ dài đoạn OH chính là cánh tay đòn d.

Lưu ý: Cánh tay đòn **không phải** luôn là khoảng cách từ trục quay đến điểm đặt của lực.

Ví dụ minh họa:

1. **Ví dụ 1 (Lực vuông góc):** Một thanh AB dài 1m, có thể quay quanh A. Tác dụng một lực $F = 50 \text{ N}$ vuông góc với thanh tại điểm B. Trục quay là A. Giá của lực F là đường thẳng vuông góc với AB tại B. Khoảng cách từ A đến giá của lực chính là chiều dài AB. Vậy cánh tay đòn $d = AB = 1 \text{ m}$. Mômen lực là $M = 50 \cdot 1 = 50 \text{ N.m}$.
2. **Ví dụ 2 (Lực xiên góc):** Vẫn là thanh AB ở trên, nhưng bây giờ lực $F = 50 \text{ N}$ tác dụng vào B và tạo với thanh một góc 30° . Để tìm cánh tay đòn, ta hạ đường vuông góc từ A xuống giá của lực F. Cánh tay đòn lúc này là $d = AB \cdot \sin 30^\circ$.

$\sin(30^\circ) = 1 \cdot 0,5 = 0,5$ m. Mômen lực là $M = 50 \cdot 0,5 = 25$ N.m.

II. Quy tắc Mômen lực (Điều kiện cân bằng của vật rắn có trục quay cố định)

1. Phát biểu quy tắc

Muốn cho một vật rắn có trục quay cố định ở trạng thái cân bằng thì tổng các mômen lực có xu hướng làm vật quay theo một chiều phải bằng tổng các mômen lực có xu hướng làm vật quay theo chiều ngược lại.

- **Biểu thức:** ΣM (cùng chiều kim đồng hồ) = ΣM (ngược chiều kim đồng hồ)
- **Dạng tổng quát:** $\Sigma M = M_1 + M_2 + M_3 + \dots = 0$ (trong đó các mômen lực được lấy giá trị đại số theo quy ước dấu).

2. Các bước giải bài toán cân bằng

Để áp dụng quy tắc mômen lực, ta thực hiện theo các bước sau:

1. **Bước 1:** Xác định trục quay của vật.
2. **Bước 2:** Xác định tất cả các lực tác dụng lên vật.
3. **Bước 3:** Phân loại các lực: lực nào làm vật quay cùng chiều kim đồng hồ, lực nào làm vật quay ngược chiều kim đồng hồ.
4. **Bước 4:** Tính cánh tay đòn (d) tương ứng với mỗi lực.
5. **Bước 5:** Viết phương trình cân bằng mômen lực.
6. **Bước 6:** Giải phương trình để tìm đại lượng chưa biết.

3. Ví dụ minh họa

Ví dụ 1: Bài toán cầu bập bênh

An (30 kg) và Bình (40 kg) chơi bập bênh. Điểm tựa O của bập bênh ở chính giữa. An ngồi cách điểm tựa 1,2 m. Hỏi Bình phải ngồi cách điểm tựa bao nhiêu để bập bênh cân bằng? (Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- Trục quay: Điểm tựa O.
- Lực tác dụng: Trọng lực của An (P_1) và trọng lực của Bình (P_2).
- Phân loại: P_1 làm bập bênh quay ngược chiều kim đồng hồ. P_2 làm bập bênh quay cùng chiều kim đồng hồ.
- Tính lực: $P_1 = m_1g = 30 \cdot 10 = 300 \text{ N}$; $P_2 = m_2g = 40 \cdot 10 = 400 \text{ N}$.
- Cánh tay đòn: $d_1 = 1,2 \text{ m}$. Gọi d_2 là khoảng cách Bình ngồi.
- Phương trình cân bằng: $M_1 = M_2 \Leftrightarrow P_1 \cdot d_1 = P_2 \cdot d_2$
- Giải: $300 \cdot 1,2 = 400 \cdot d_2 \Rightarrow d_2 = (300 \cdot 1,2) / 400 = 0,9 \text{ m}$.
- **Kết luận:** Bình phải ngồi cách điểm tựa 0,9 m.

Ví dụ 2: Thanh gỗ gác lên tường

Một thanh gỗ đồng chất AB, dài 2 m, khối lượng 10 kg, được đặt gác lên một bức tường tại điểm C, với $AC = 0,5 \text{ m}$. Đầu A của thanh tựa trên sàn nhà. Một người có khối lượng 60 kg đứng trên thanh tại điểm D, cách A 1,5 m. Tìm các lực do sàn nhà và tường tác dụng lên thanh để thanh cân bằng. (Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- Ta chọn trục quay tại A để khử phản lực của sàn nhà.

- Các lực làm thanh quay quanh A: Trọng lực của thanh (P_{thanh}), trọng lực của người ($P_{\text{ngươi}}$), phản lực của tường (N_C).
- Trọng lực P_{thanh} đặt tại trung điểm G của thanh (cách A 1m), $P_{\text{ngươi}}$ đặt tại D (cách A 1,5m). Cả hai lực này đều có xu hướng làm thanh quay xuống (cùng chiều kim đồng hồ).
- Phản lực N_C của tường tại C (cách A 0,5m) có phương vuông góc với thanh, hướng lên, làm thanh quay lên (ngược chiều kim đồng hồ).
- Tính lực: $P_{\text{thanh}} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ N}$; $P_{\text{ngươi}} = 60 \cdot 10 = 600 \text{ N}$.
- Cánh tay đòn (quanh A): $d_{P_{\text{thanh}}} = 1 \text{ m}$; $d_{P_{\text{ngươi}}} = 1,5 \text{ m}$; $d_{N_C} = AC = 0,5 \text{ m}$.
- Phương trình cân bằng mômen quanh A: $M(N_C) = M(P_{\text{thanh}}) + M(P_{\text{ngươi}})$
- Giải: $N_C \cdot 0,5 = (100 \cdot 1) + (600 \cdot 1,5) = 100 + 900 = 1000 \text{ N.m}$
- $\Rightarrow N_C = 1000 / 0,5 = 2000 \text{ N}$.
- Để tìm phản lực tại A (N_A), ta dùng điều kiện cân bằng lực: Tổng lực hướng lên = Tổng lực hướng xuống. $N_A + N_C = P_{\text{thanh}} + P_{\text{ngươi}} \Rightarrow N_A = 100 + 600 - 2000 = -1300 \text{ N}$. Dấu âm cho thấy ta đã giả sử sai chiều của N_A , thực tế lực của sàn tác dụng lên thanh phải hướng xuống (thanh có xu hướng bị bẩy lên ở đầu A).

III. Ngẫu lực

1. Khái niệm Ngẫu lực

Ngẫu lực là hệ hai lực song song, ngược chiều, có độ lớn bằng nhau và cùng tác dụng vào một vật.

- **Đặc điểm:**

- Hợp lực của ngẫu lực bằng không ($F_{hl} = F - F = 0$). Do đó, ngẫu lực không gây ra chuyển động tịnh tiến cho vật.
- Ngẫu lực chỉ có tác dụng làm quay vật.

2. Mômen của ngẫu lực

Mômen của ngẫu lực đặc trưng cho tác dụng làm quay của ngẫu lực và không phụ thuộc vào vị trí trục quay.

- **Công thức:** $M = F \cdot d$

- **Giải thích:**

- **F:** là độ lớn của một trong hai lực.
- **d:** là khoảng cách giữa giá của hai lực (gọi là cánh tay đòn của ngẫu lực).

3. Ví dụ về ngẫu lực

1. **Vặn vòi nước:** Hai ngón tay của bạn tác dụng hai lực song song, ngược chiều lên tay vặn, tạo thành một ngẫu lực làm vòi nước quay.
2. **Lái xe ô tô:** Khi xoay vô lăng, hai tay bạn tạo ra một ngẫu lực làm vô lăng quay.

3. **Dùng tua vít:** Các ngón tay tạo ra một ngẫu lực để xoay tua vít và vặn ốc.

IV. Ứng dụng trong thực tế

Nguyên lý mômen lực và cân bằng được ứng dụng rộng rãi trong đời sống và kỹ thuật:

- **Đòn bẩy:** Dùng để khuếch đại lực. Ví dụ: cái bập bênh, xe cút kít, cái kìm, cái kéo.
- **Cần cầu:** Đối trọng ở phía sau tạo ra một mômen lực cân bằng với mômen lực do vật nặng gây ra ở phía trước, giúp cần cầu không bị lật.
- **Cân Robecvan:** Hoạt động dựa trên nguyên tắc cân bằng mômen lực của hai bên đĩa cân.
- **Cửa:** Bản lề là trục quay, tay nắm cửa được đặt xa bản lề để tăng cánh tay đòn, giúp ta mở cửa dễ dàng hơn (chỉ cần lực nhỏ).