

CHƯƠNG 6. CÁC TÍNH CHẤT CỦA HỆ LỰC TÁC DỤNG LÊN VẬT RẮN

I. LỰC VÀ HỆ LỰC

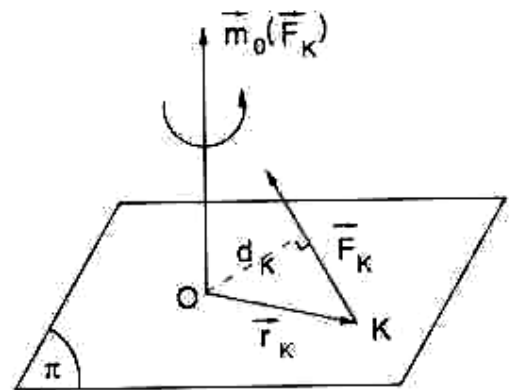
1. Lực và vector mômen của lực đối với một điểm

⇒ Đại lượng vector cơ bản đặc trưng cho tác dụng tương hỗ về mặt cơ học giữa hai chất điểm hay cơ hệ là *lực*.

⇒ Vector lực có gốc trùng với điểm đặt lực, hướng trùng với hướng lực và độ dài tỷ lệ với cường độ của lực. Đường thẳng chứa vector gọi là đường tác dụng của lực.

⇒ Ví dụ lực \vec{F}_K đặt tại điểm K theo chiều KD

⇒ Vector mômen của một lực \vec{F}_K đối với điểm O, ký hiệu là: $\vec{m}_O(\vec{F}_K) = \vec{r}_K \wedge \vec{F}_K$



⇒ $\vec{m}_O(\vec{F}_K)$ có phương vuông góc với mặt phẳng xác định bởi \vec{F}_K và O, có chiều nhìn từ ngọn xuống gốc thấy \vec{F}_K đi quanh O ngược chiều kim đồng hồ (hoặc theo quy tắc bàn tay phải), có giá trị:

$$|\vec{m}_O(\vec{F}_K)| = F_K \cdot d_K; \quad d_K = r_K \sin(\vec{r}_K, \vec{F}_K)$$

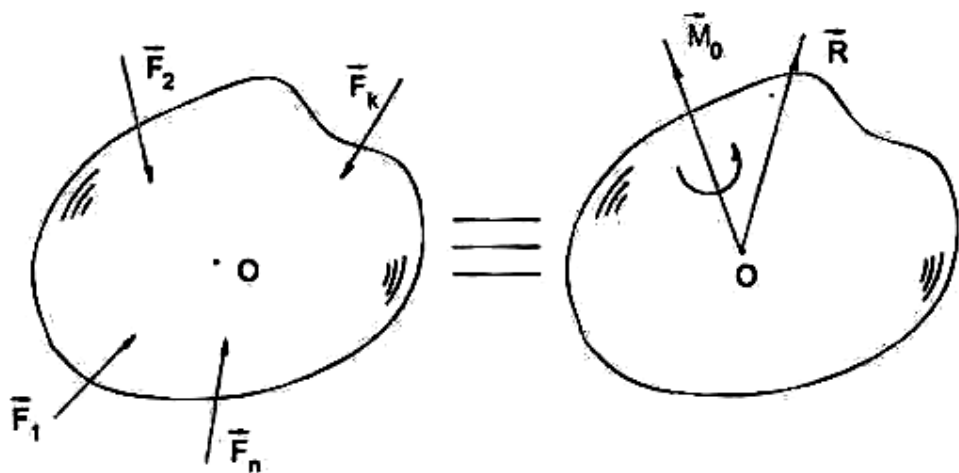
2. Hệ lực

⇒ Biểu diễn tập hợp nhiều lực $\vec{F}_i (i = 1, 2, \dots, n)$ tác dụng lên vật rắn. Gọi phần tử rút gọn của tập hợp đó là hai vector:

- Vector chính:

$$\vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

xác định bằng PP hình học (vẽ các vector nối tiếp nhau, vector tổng hợp là



tổng hình học các vector thành phần) hoặc PP giải tích (chiếu các vector lên các trục tọa độ ta được tổng các hình chiếu).

- Vector mômen chính: $\vec{M}_O = \sum_k \vec{m}_O(\vec{F}_k) = \sum_k \vec{r}_k \wedge \vec{F}_k$

Trong hệ tọa độ Đề các ta có:

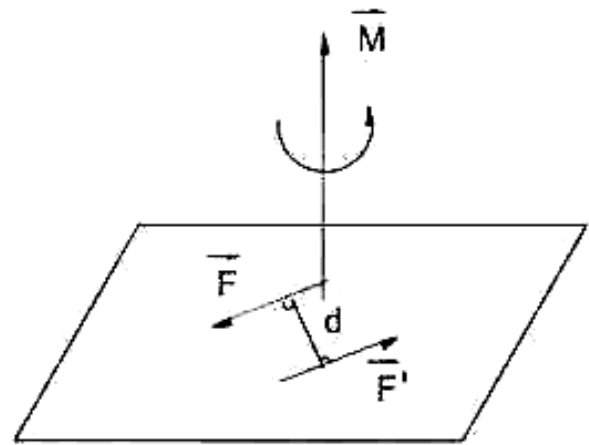
$$\vec{M}_O = \sum_k \vec{r}_k \wedge \vec{F}_k = \sum_k \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ x_k & y_k & z_k \\ X_k & Y_k & Z_k \end{vmatrix} = M_{Ox} \vec{i} + M_{Oy} \vec{j} + M_{Oz} \vec{k}$$

⇒ Hai hệ thống vector lực khác nhau có các thành phần vector chính và vector mômen chính đối với 1 điểm như nhau thì gọi là *hệ lực tương đương*.

3. Ngẫu lực và tính chất của nó

⇒ Định nghĩa: *Hệ hai lực đối song (song song, trái chiều và cùng trị số) gọi là ngẫu lực.*

⇒ Ký hiệu ngẫu lực là (\vec{F}, \vec{F}') , trong đó \vec{F} và \vec{F}' là hai lực của ngẫu lực. Cánh tay đòn d và chiều quay của ngẫu lực như hình vẽ.



⇒ Vector chính của ngẫu lực $\vec{R} = 0$

⇒ Vector mômen chính (vector mômen) của ngẫu lực: có phương chiều như hình vẽ, có giá trị $M = Fd$

⇒ Các tính chất của ngẫu lực:

- Ngẫu lực không tương đương với 1 lực.
- Ngẫu lực hoàn toàn xác định bởi vector mômen của nó.

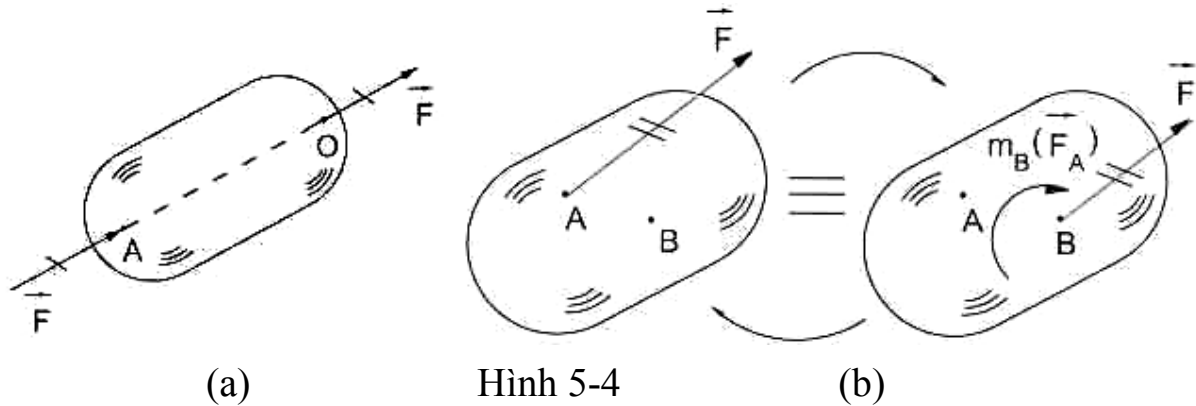
4. Các phép biến đổi tương đương

⇒ Mọi biến đổi hệ lực từ dạng này sang dạng khác, bảo toàn vector chính và mômen chính đối với một điểm, gọi là những biến đổi tương đương của hệ lực.

⇒ Định lý: *Mọi hệ lực đều tương đương với một lực đặt tại một điểm chọn tùy ý và một ngẫu lực. Lực được biểu diễn bằng vector chính của hệ lực, ngẫu lực có mômen bằng mômen chính của hệ.*

⇒ Nếu hệ lực chỉ có một lực ta có 2 hệ quả:

- Tác dụng của lực không đổi khi ta trượt lực trên đường tác dụng của nó (định lý trượt lực – hình 5-4a). $\vec{F}_A \equiv \{\vec{F}_A, \vec{M} = \vec{m}_O(\vec{F}_A) = 0\}$



- Khi dời song song một lực từ điểm này sang điểm khác sẽ làm xuất hiện một ngẫu lực có mômen bằng mômen của lực tại điểm đặt cũ đối với điểm đặt mới (hình 5-4b): $\vec{F}_A \equiv \{\vec{F}_B, \vec{M} = \vec{m}_B(\vec{F}_A)\}$

II. NGUYÊN LÝ CHUYỂN VỊ KHẢ DĨ (CVKD)

1. Nguyên lý chuyển vị khả dĩ đối với một chất điểm

⇒ Giả sử một chất điểm tự do M ở trạng thái cân bằng dưới tác dụng của hệ lực {P}.

⇒ Gọi δr là chuyển vị khả dĩ của M. Công nguyên tố của những lực này trên chuyển vị khả dĩ δr là:

$$\sum \delta A = P_{1r} \delta r + P_{2r} \delta r + \dots + P_{nr} \delta r = \left(\sum_{i=1}^n P_{ir} \right) \delta r$$

Trong đó P_{ir} là hình chiếu của lực P_i lên phương δr . Vì hệ lực cân bằng nên

$$\sum_{i=1}^n P_{ir} = 0. \text{ Do đó: } \sum \delta A = 0$$

⇒ Nếu một chất điểm chịu lực ở trạng thái cân bằng thì tổng công của tất cả các lực trên các chuyển vị khả dĩ phải bằng không.

2. Nội dung của nguyên lý CVKD đối với một cơ hệ

a) Liên kết lý tưởng: Cơ hệ chịu liên kết lý tưởng khi tổng công nguyên tố của các lực liên kết trong mọi di chuyển khả dĩ của hệ bằng không.

b) Lực hoạt động: là lực sinh công trong mọi di chuyển khả dĩ của hệ.

c) Nguyên lý di chuyển khả dĩ: *Điều kiện cần và đủ để cơ hệ chịu liên kết lý tưởng cân bằng ở vị trí đang xét là công nguyên tố của các lực hoạt động trong mọi di chuyển khả dĩ của hệ từ vị trí ấy bằng không.*

- Điều kiện cần: nếu cơ hệ cân bằng thì $\sum \delta A_K = \sum \vec{F}_K \cdot \delta \vec{r}_K = 0$

- Điều kiện đủ: Nếu cơ hệ cân bằng và có $\sum \delta A_K = 0$ thì hệ tiếp tục cân bằng.

III. ĐIỀU KIỆN CÂN BẰNG CỦA HỆ LỰC TÁC DỤNG LÊN VẬT RẮN

⇒ Vật rắn cân bằng thì hệ lực tác dụng lên nó cân bằng

⇒ Định lý: *Điều kiện cần và đủ để một vật rắn cân bằng là vector chính và vector mômen chính đối với một điểm nào đó của hệ lực tác dụng lên vật ấy đồng thời triệt tiêu.*

⇒ Các dạng cân bằng của hệ lực phẳng

Dạng 1	Dạng 2	Dạng 3
$\sum X_K = 0$	$\sum m_A(\vec{F}_K) = 0$	$\sum m_A(\vec{F}_K) = 0$
$\sum Y_K = 0$	$\sum m_B(\vec{F}_K) = 0$	$\sum m_B(\vec{F}_K) = 0$
$\sum m_O(\vec{F}_K) = 0$	$\sum X_K = 0$	$\sum m_C(\vec{F}_K) = 0$
O là điểm bất kỳ	Trục x không được vuông góc với AB.	A, B, C không thẳng hàng

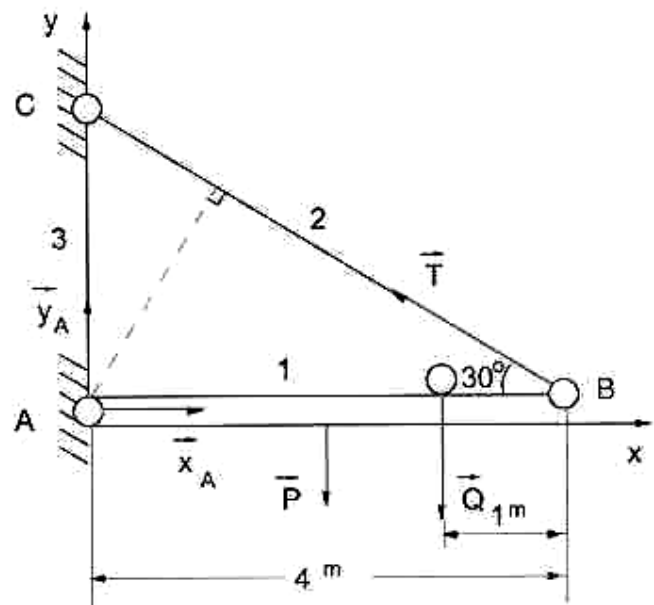
VI. VÍ DỤ ÁP DỤNG

1. Ví dụ 1: Thanh AB gắn vào tường bằng bản lề A, treo nằm ngang nhờ dây BC. Trên thanh có đặt vật nặng có trọng lượng $Q = 500\text{N}$. Tìm phản lực tại bản lề A và sức căng của dây. Biết thanh có trọng lượng $P = 200\text{N}$, các kích thước được cho trên hình 5-5

Bài giải

Đây là một hệ tĩnh định vì số bậc tự do $W = 3n - 2p_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$.

⇒ Xét sự cân bằng của thanh AB: các lực tác dụng gồm \vec{P} , \vec{Q} và sức



Hình 5-5

căng \vec{T} . Các thành phần phản lực tại A: \vec{X}_A và \vec{Y}_A . Hệ lực tác dụng lên thanh cân bằng ($\vec{P}, \vec{Q}, \vec{T}, \vec{X}_A, \vec{Y}_A$)=0.

⇒ Lập các phương trình cân bằng cho hệ lực này:

$$\sum_k X_k = X_A - T \cos 30^\circ = 0$$

$$\sum_k Y_k = Y_A - P - Q + T \cos 30^\circ = 0$$

$$\sum_k m_A(F_k) = P.2 - Q.3 - T.4 \cos 30^\circ = 0$$

⇒ Giải các phương trình trên ta được: $T = 950 \text{ N}$, $X_A = 822 \text{ N}$, $Y_A = 225 \text{ N}$

⇒ Các lực \vec{X}_A và \vec{Y}_A tìm được đều có trị số dương, điều đó chứng tỏ chiều giả thử của chúng trên hình 5-5 là đúng.

2. Ví dụ 2: Cho cơ cấu tay quay con trượt cân ABC có $AB = BC = a$. Tay quay 1 (AB) chịu tác dụng của ngẫu lực có mômen \vec{M}_1 , con trượt 3 chịu lực nằm ngang \vec{F}_3 (hình 5-6). Tìm quan hệ giữa \vec{M}_1 và \vec{F}_3 để cơ hệ cân bằng ở vị trí đang xét. Bỏ qua ma sát ở các khớp động.

Bài giải

⇒ Cơ hệ khảo sát là cơ cấu ABC chịu liên kết lý tưởng vì bỏ qua ma sát ở các khớp động. Các lực hoạt động là: \vec{M}_1 và \vec{F}_3 .

⇒ Vì cơ hệ cân bằng, theo nguyên lý di chuyển khả dĩ, ta có:

$$\vec{M}_1 \delta \vec{\varphi}_1 + \vec{F}_3 \delta \vec{r}_3 = 0$$

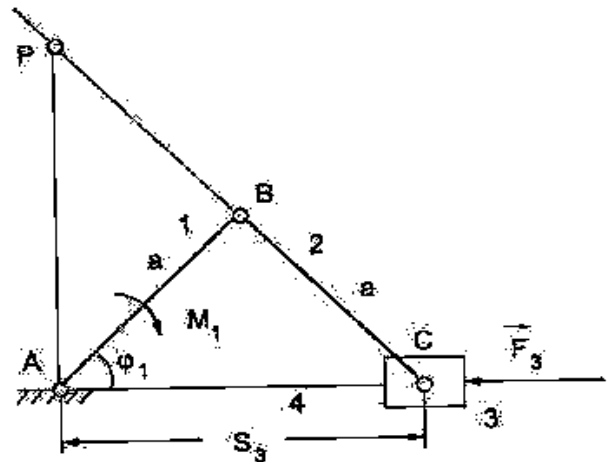
trong đó $\delta \vec{\varphi}_1$ và $\delta \vec{r}_3$ lần lượt là chuyển vị khả dĩ của tay quay 1 và con trượt 3. Vì các vector $\vec{M}_1, \delta \vec{\varphi}_1$ (cũng như $\vec{F}_3, \delta \vec{r}_3$) cùng phương nên ta có:

$$M_1 \delta \varphi_1 - F_3 \delta r_3 = 0 \Rightarrow M_1 \omega_1 \delta t - F_3 v_3 \delta t = 0 \Rightarrow M_1 = F_3 \frac{v_3}{\omega_1}$$

⇒ Tỷ số truyền v_3 / ω_1 có thể được xác định thông qua TVT „P“ của con trượt 1

đối với tay quay 3, ta có: $\frac{v_3}{\omega_1} = AP = 2a \sin \varphi_1$.

⇒ Quan hệ giữa M_1 và F_3 để cơ hệ cân bằng: $M_1 = F_3 2a \sin \varphi_1$



Hình 5-6