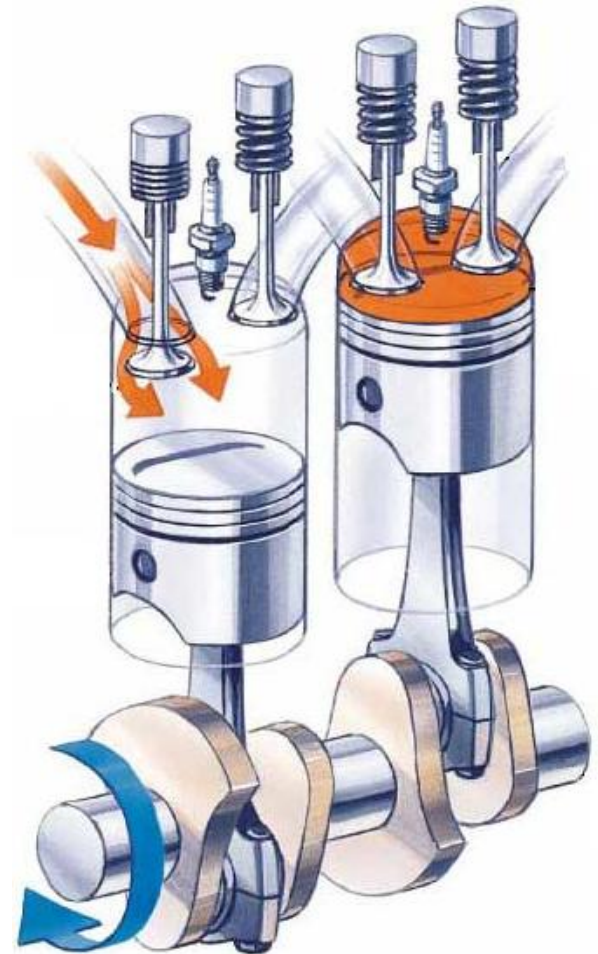


# CƠ SỞ TRUYỀN ĐỘNG CƠ KHÍ

Nguyễn Hữu Hào



### 3.1. Các lực tác dụng lên cơ cấu

#### ❖ Ngoại lực:

- **Lực phát động:** Lực từ động cơ tác dụng lên khâu dẫn của cơ cấu thông qua một hệ truyền dẫn. Lực phát động thường ở dạng mô men lực.
- **Lực cản kỹ thuật:** Lực từ đối tượng công nghệ tác động lên bộ phận làm việc của máy. Lực cản kỹ thuật cần khắc phục để thực hiện quy trình công nghệ của máy, lực này được đặt trên một khâu bị dẫn của cơ cấu.

Ví dụ: Lực cắt của máy cắt gọt kim loại, lực cản của đất tác dụng lên lưỡi máy cày, trọng lực của các vật nặng cần di chuyển tác dụng lên cần trục của máy nâng.

- **Trọng lực các khâu:** Nếu trọng tâm của các khâu di chuyển lên thì trọng lực đóng vai trò là lực cản, ngược lại nếu trọng tâm đi xuống thì trọng lực có vai trò như lực phát động.

## 3.1. Các lực tác dụng lên cơ cấu

### ❖ Lực quán tính:

- Đối với các khâu chuyển động tịnh tiến:

Lực quán tính  $\vec{F}_{qt}$  luôn cùng phương, ngược chiều với gia tốc dài  $\vec{a}$ .

- Đối với khâu chuyển động quay: Mô men

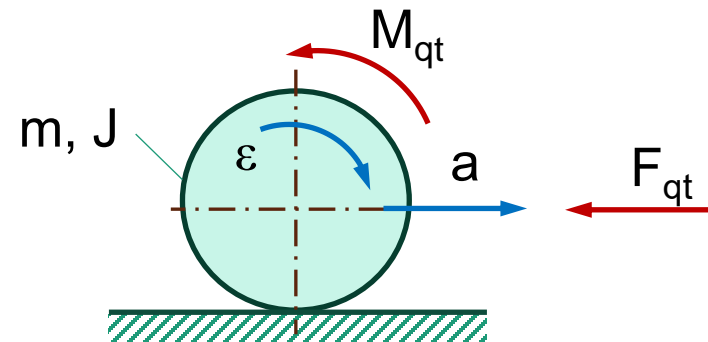
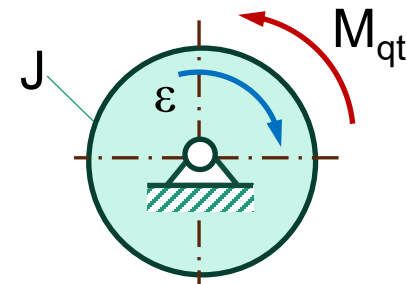
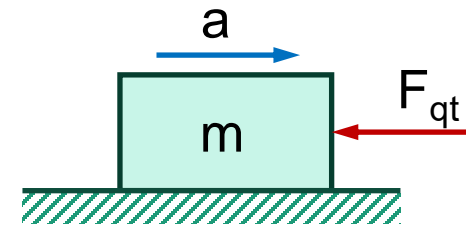
lực quán tính  $\vec{M}_{qt}$  luôn cùng phương, ngược chiều với gia tốc góc  $\vec{\varepsilon}$ .

- Đối với khâu chuyển động song phẳng:

Bao gồm cả lực quán tính và mô men lực quán tính.

- Công thức tính độ lớn:  $F_{qt} = ma$  và  $M_{qt} = J\varepsilon$

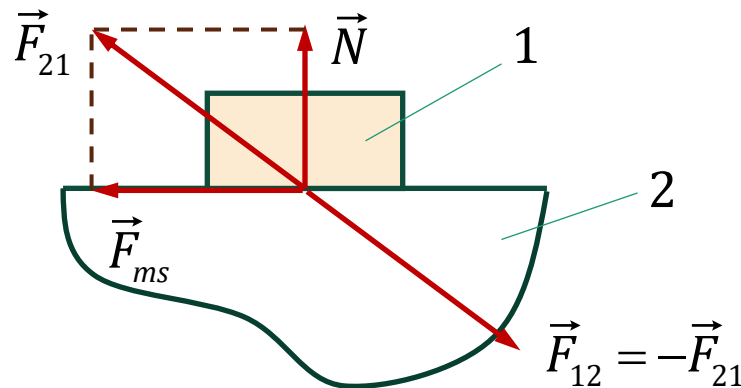
Trong đó:  $m$  là khối lượng của khâu,  $J$  là mô men quán tính khối lượng của khâu lấy đối với trọng tâm của khâu.



## 3.1. Các lực tác dụng lên cơ cấu

### ❖ Phản lực liên kết tại các khớp động:

- Phản lực liên kết tại khớp động (còn gọi là áp lực khớp động): Sinh ra do ngoại lực và lực quán tính tác dụng lên các khâu động.
- Áp lực khớp động là lực từ thành phần khớp động này tác động lên thành phần khớp động kia khi chúng được nối động với nhau. Áp lực khớp động từ khâu thứ  $i$  tác dụng lên khâu thứ  $j$  thường được ký hiệu là  $\vec{F}_{ij}$ .
- Tính chất tác dụng tương hỗ: Trong mỗi khớp động bao giờ cũng có 1 cặp phản lực liên kết trực đối nhau, nghĩa là nếu khâu 2 tác dụng lên khâu 1 một lực  $\vec{F}_{21}$  thì khâu 1 cũng tác dụng lên khâu 2 một lực là  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ .



### 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

#### ❖ Số liệu cho trước:

- Lược đồ động của cơ cấu, khâu dẫn, vận tốc của khâu dẫn.
- Các ngoại lực tác dụng lên các khâu
- Các thông số quán tính: Khối lượng  $m$ , vị trí trọng tâm  $S$ , mô men quán tính khối lượng  $J_S$  lấy đối với trọng tâm của khâu chuyển động quay.

#### ❖ Các giả thiết:

- Khâu dẫn chuyển động đều (vận tốc bằng hằng số)
- Các khớp động được bôi trơn tốt nên bỏ qua mát tại các khớp động
- Đối với cơ cấu phẳng: các lực tác dụng lên cơ cấu cùng nằm trong 1 mặt phẳng hoặc trong các mặt phẳng song song với mặt phẳng chuyển động của cơ cấu.

### 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

#### ❖ Bài toán phân tích lực gồm:

- Phân tích lực trên khâu dẫn, xác định áp lực tại các khớp động trong các nhóm tĩnh định của cơ cấu.
- Phân tích lực khâu dẫn, xác định lực cân bằng  $\vec{P}_{cb}$  hoặc mô men lực cân bằng  $\vec{M}_{cb}$  cần thiết phải đặt lên khâu dẫn để đảm bảo khâu dẫn có vận tốc bằng hằng số. Ngoài ra còn phải xác định áp lực khớp động của khâu dẫn nối với giá.

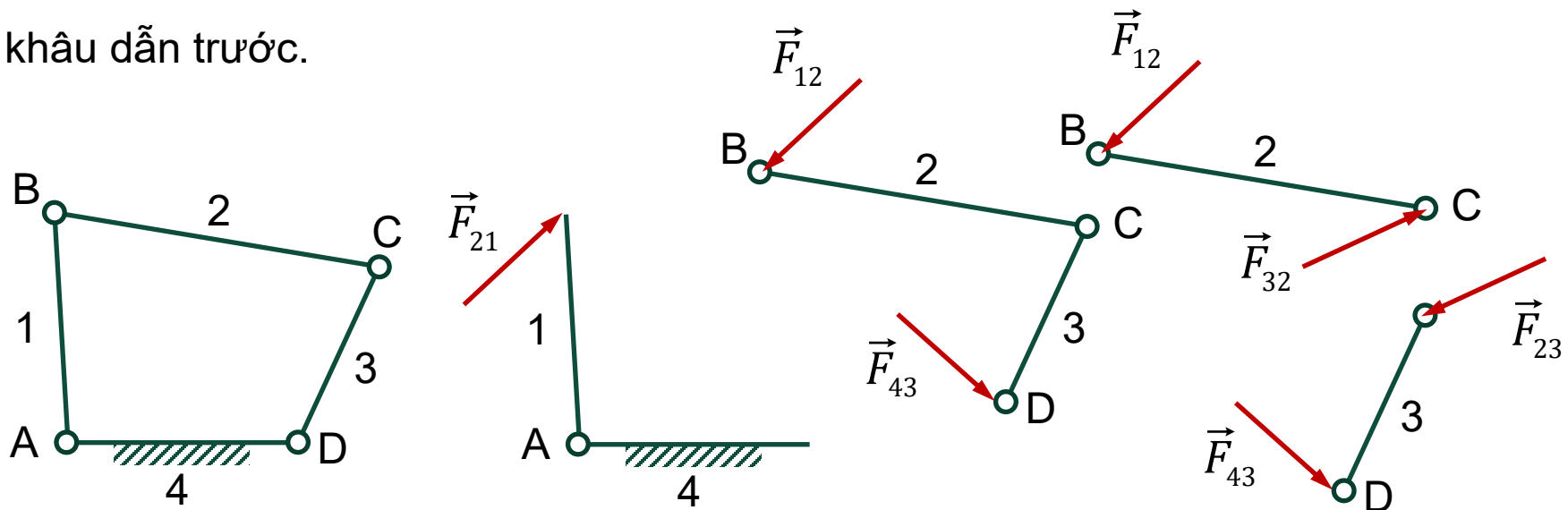
#### ❖ Phương pháp giải bài toán phân tích lực:

- Sử dụng phương pháp giải tích hoặc phương pháp họa đồ

## 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

### ❖ Nguyên tắc giải bài toán phân tích áp lực khớp động:

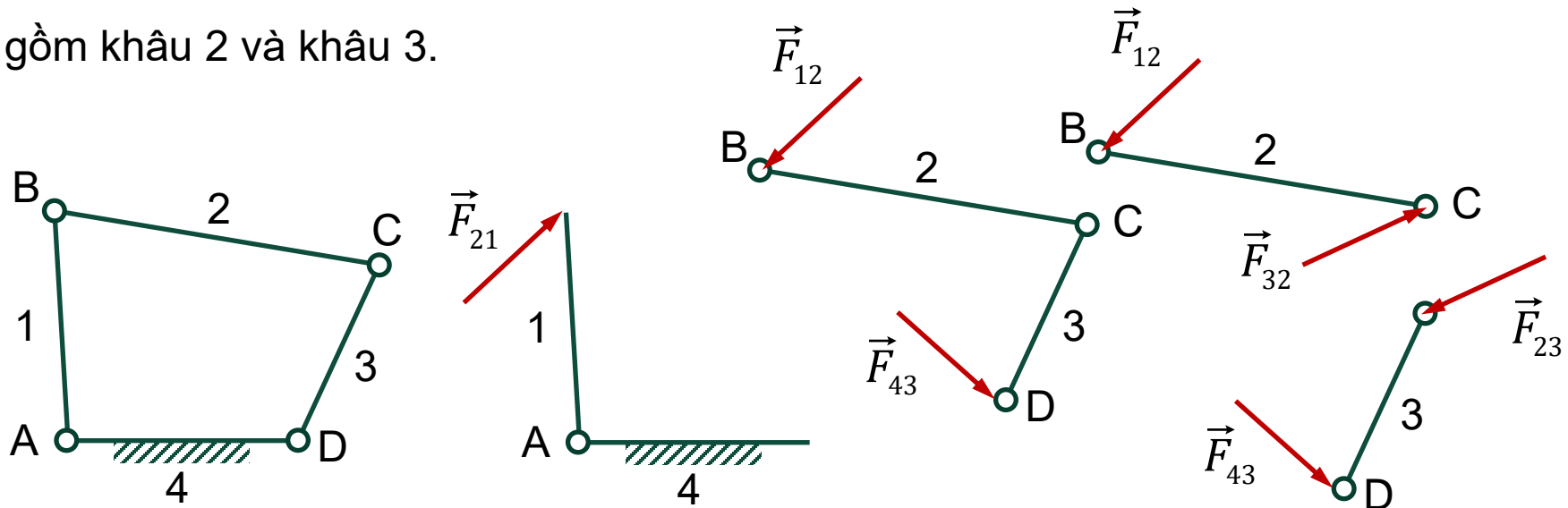
- **Nguyên lý D'Alembert:** Tất cả các lực, mô men lực tác dụng lên vật cùng với lực quán tính và mô men lực quán tính sẽ tạo thành một hệ lực cân bằng.
- **Nguyên tắc giải:** Áp lực khớp động là nội lực của cơ cấu. Để xuất hiện các lực này ta phải tách các khớp động ra. Có thể tách cơ cấu thành các nhóm tĩnh định hoặc/và từng khâu khâu sao cho thỏa điều kiện tĩnh định của bài toán. Xét cân bằng lực của nhóm tĩnh định kết hợp với xét cân bằng lực của từng khâu từ xa khâu dẫn trước.



## 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

### ❖ Nguyên tắc giải bài toán phân tích áp lực khớp động:

- **Điều kiện tĩnh định của bài toán:** Số phương trình cân bằng lực chứa áp lực tại các khớp động phải lớn hơn hoặc bằng số ẩn cần tìm.
- ✓ **Ví dụ:** Đối với cơ cấu 4 khâu bản lề dưới đây nếu chỉ xét cân bằng lực khâu 3 thì số ẩn sẽ là 4 (chiều và độ lớn của 2 lực  $\vec{F}_{23}$  và  $\vec{F}_{43}$ ). Vì chỉ lập được tối đa 3 phương trình cân bằng lực cho một khâu của cơ cấu phẳng nên nó không thỏa điều kiện tĩnh định. Để khắc phục ta xét thêm cân bằng lực của nhóm tĩnh định gồm khâu 2 và khâu 3.



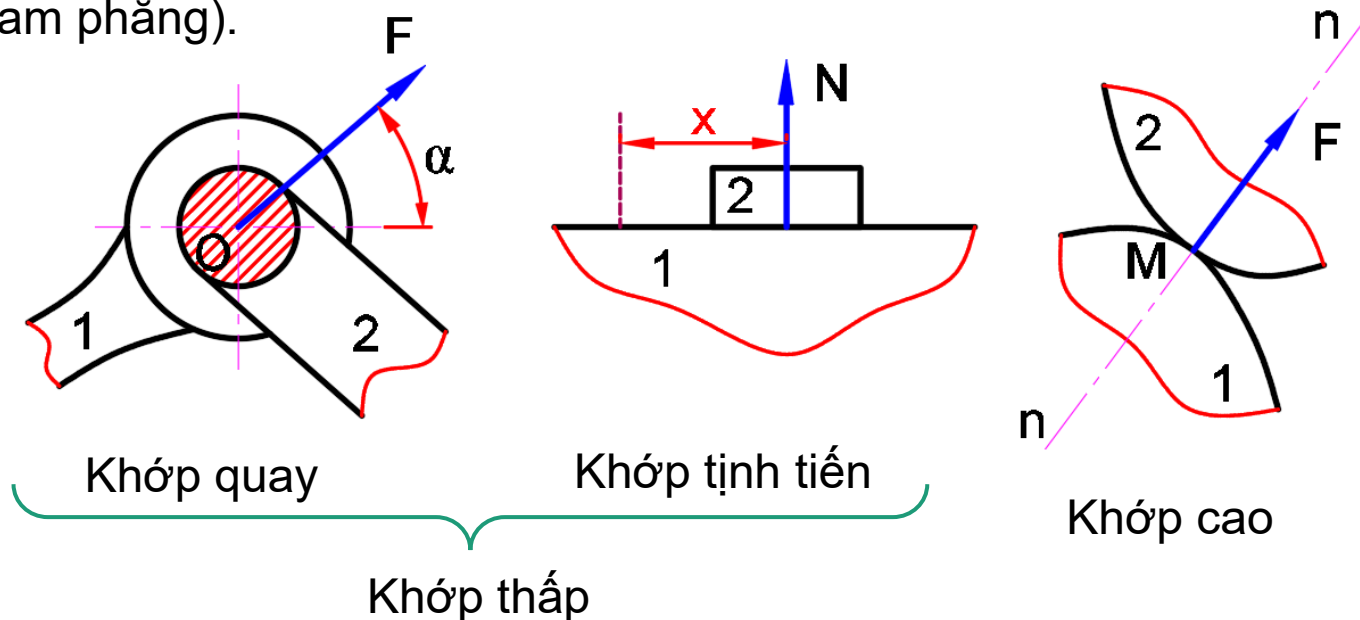


## 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

### ❖ Nguyên tắc giải bài toán phân tích áp lực khớp động:

#### • Điều kiện tĩnh định của bài toán:

- ✓ Xét một nhóm gồm  $n$  khâu bị dẫn liên tiếp nhau. Gọi số khớp loại 5 là  $p_5$ , số khớp loại 4 (kể cả các khớp chờ của nhóm) là  $p_4$ .
- ✓ Đối với cơ cấu phẳng: Các khớp loại 5 (các khớp thấp) là khớp quay và khớp tịnh tiến, các khớp loại 4 là các khớp cao (ăn khớp giữa 2 bánh răng, khớp của cơ cấu cam phẳng).

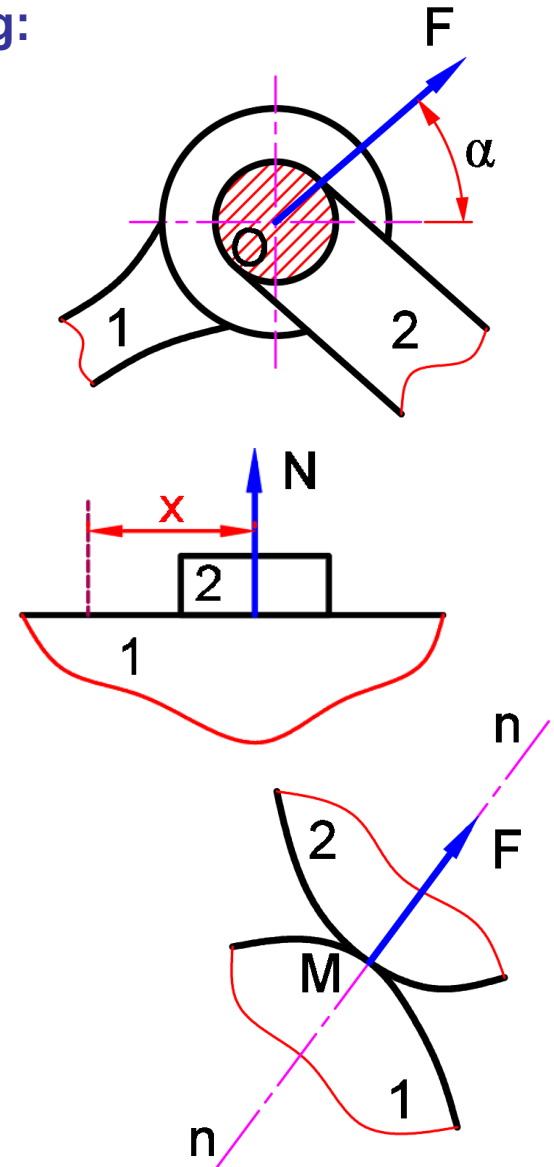


## 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

### ❖ Nguyên tắc giải bài toán phân tích áp lực khớp động:

#### • Điều kiện tĩnh định của bài toán:

- ✓ Đối với khớp quay: Áp lực  $F$  đi qua tâm  $O$ , phương (góc  $\alpha$ ), chiều và độ lớn của  $F$  là các ẩn số.
- ✓ Đối với khớp tịnh tiến: Áp lực  $N$  vuông góc với phương trượt, chiều, độ lớn và điểm đặt (tức là khoảng cách  $x$ ) của  $N$  là các ẩn số.
- ✓ Đối với khớp cao: Áp lực  $F$  vuông góc với phương tiếp tuyến tại điểm tiếp xúc (hoặc nằm dọc theo phương pháp tuyến  $nn$ ), chiều và độ lớn của  $F$  là các ẩn số.



### 3.2. Nội dung và giả thiết của bài toán phân tích lực

#### ❖ Nguyên tắc giải bài toán phân tích áp lực khớp động:

- Điều kiện tĩnh định của bài toán:
  - ✓ Với mỗi khâu của bài toán phẳng ta lập được tối đa 3 phương trình cân bằng lực nên số phương trình cân bằng lập được cho  $n$  khâu sẽ là  $3n$ . Như vậy ta có điều kiện tĩnh định của cơ cấu phẳng như sau:

$$3n - (2p_5 + p_4) = 0$$

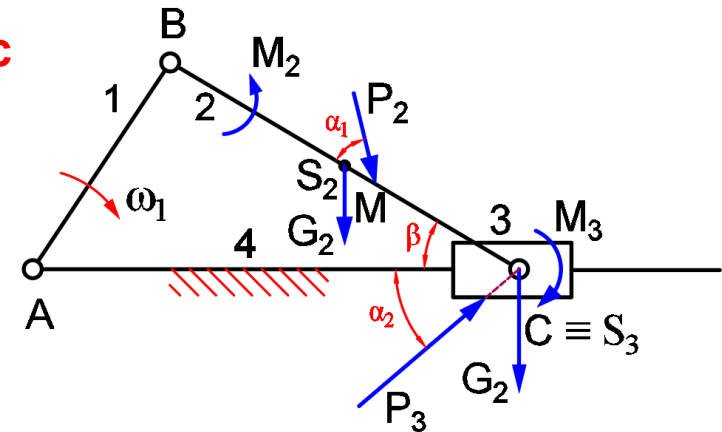
## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

### ❖ Số liệu cho trước:

- Lực đồ động của cơ cấu tay quay con trượt (đã biết các kích thước của cơ cấu)
- Cho khâu dẫn là khâu 1 có vận tốc góc là  $\omega_1$  bằng hằng số (khâu 1 quay đều).
- Ngoại lực tác dụng lên khâu (đã biết phương, chiều, độ lớn, điểm đặt):
- ✓ Khâu 2 chịu tác dụng của lực  $P_2$ , mô men lực  $M_2$ , trọng lực  $G_2$
- ✓ Khâu 3 chịu tác dụng của lực  $P_3$ , mô men lực  $M_3$ , trọng lực  $G_3$
- Khối lượng  $m_i$  ( $i = 2-3$ ), vị trí khối tâm  $S_i$  và mô men quán tính khối lượng  $J_{si}$  đối với trọng tâm của mỗi khâu (bỏ qua khối lượng của khâu dẫn).
- Bỏ qua ma sát tại các khớp động
- Giả thiết bài toán gia tốc đã giải xong nên các lực quán tính và mô men lực quán tính đã xác định.

### ❖ Yêu cầu:

- Xác định áp lực tại các khớp động của cơ cấu có vị trí đang xét.
- Xác định mô men cân bằng khâu dẫn  $M_{cb}$



### 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

#### ❖ Tính áp lực khớp động của các khâu bị dẫn:

- **Bước 1 - Phân tích cơ cấu:** Cơ cấu tay quay con trượt có 1 nhóm tĩnh định (khâu 2 và khâu 3), 3 khớp (2 khớp quay B và C, 1 khớp tịnh tiến C). Khớp chờ của nhóm là khớp quay B và khớp trượt C. Khớp trong của nhóm là khớp quay C. Cơ cấu có 1 bậc tự do nên khi tách nhóm tĩnh định thì chỉ còn lại một khâu dẫn AB nối với giá bằng khớp quay A.
- **Bước 2 – Tách nhóm:** Tách cơ cấu thành các nhóm tĩnh định sao cho khâu còn lại là khâu dẫn nối với giá (hoặc các khâu dẫn nối với giá).
- **Bước 3 – Xác định lực và mô men lực quán tính tác dụng lên các khâu:** Đặt các ngoại lực, các lực và mô men lực quán tính, các áp lực của khớp chờ lên các nhóm tĩnh định.
- **Bước 4 – Viết phương trình cân bằng lực cho các nhóm, các khâu.** Giải phương trình cân bằng lực.

### 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

#### ❖ Tính áp lực khớp động của các khâu bị dẫn:

- **Bước 5 – Kết luận:** Lực và mô men lực là một đại lượng véc tơ, chúng chỉ xác định khi phương, chiều, độ lớn, điểm đặt của chúng được xác định. Do đó khi giải xong phương trình ở bước 4 để tìm được độ lớn của các lực và mô men lực thì phải chỉ ra được phương, chiều, điểm đặt của chúng.
- **Lưu ý:** Bài toán phân tích áp lực khớp động luôn luôn giải cho các nhóm xa khâu dẫn trước, sau đó đến nhóm gần khâu dẫn.

## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

### ❖ Tính lực khâu dẫn:

- Đối với cơ cấu 1 bậc tự do, sau khi tách các nhóm tĩnh định sẽ còn lại 1 khâu dẫn nối với giá.
- Ở đây ta xét cơ cấu tay quay con trượt làm minh họa, sau khi tách nhóm tĩnh định gồm khâu 2, 3 sẽ còn lại khâu dẫn 1 nối giá.
- Giả thiết khâu dẫn có vận tốc góc  $\omega_1 = const$  và ở trạng thái cân bằng. Do đó phải đặt lên khâu dẫn một mô men cân bằng hay một lực caán bằng để cân bằng với lực  $\vec{F}_{21}$ .

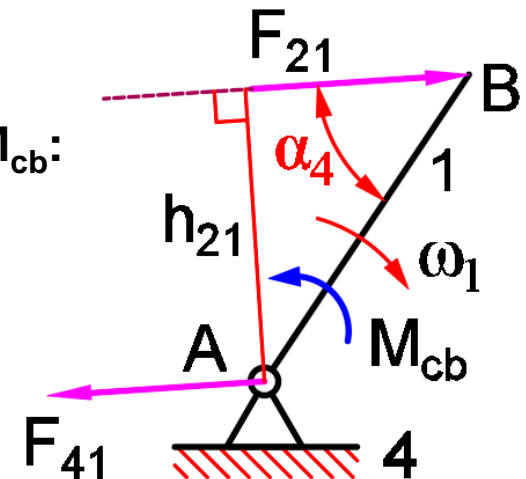
- **Trường hợp đặt lên khâu dẫn 1 mô men cân bằng  $M_{cb}$ :**

Lấy mô men cân bằng lực đối với điểm A ta có:

$$M_{cb} = F_{21} h_{21}$$

Xét cân bằng lực khâu dẫn 1 ta có:

$$\vec{F}_{41} = -\vec{F}_{21}$$



## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

### ❖ Tính lực khâu dẫn:

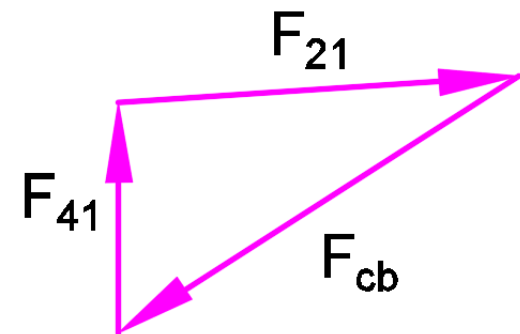
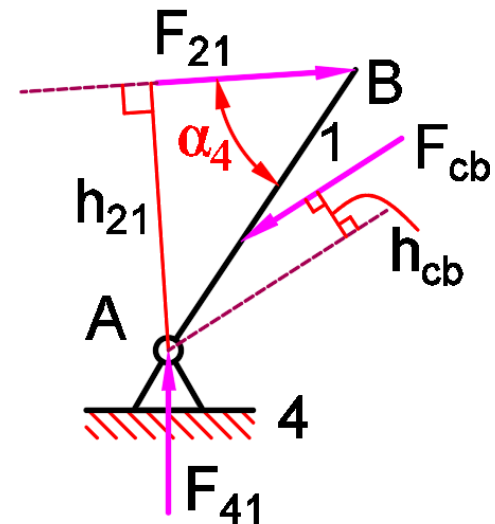
- Trường hợp đặt lên khâu dẫn 1 lực cân bằng  $F_{cb}$ :

Lấy mô men cân bằng lực đối với điểm A ta có:

$$F_{21} h_{21} - F_{cb} h_{cb} = 0 \Rightarrow F_{cb} = \frac{F_{21} h_{21}}{h_{cb}}$$

Xét cân bằng lực khâu dẫn 1 ta có họa đồ lực như hình vẽ. Dựa vào họa đồ ta xác định được áp lực khớp động  $F_{41}$ . Phương trình cân bằng lực:

$$\vec{F}_{41} + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{cb} = 0$$





## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

### ❖ Tính lực khâu dẫn:

- Áp dụng phương pháp công suất (nguyên lý di chuyển khả dĩ) để xác định  $M_{cb}$  và  $F_{cb}$ .

- ✓ Phương pháp công suất: Tổng công suất tức thời của một hệ lực bằng 0.
- ✓ Đặt lên khâu dẫn một mô men cân bằng ta có:

$$\sum \vec{P}_i \vec{v}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i + \vec{M}_{cb} \vec{\omega}_1 = 0 \Rightarrow M_{cb} = -\frac{1}{\omega_1} \left( \sum \vec{P}_i \vec{v}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i \right)$$

- ✓ Đặt lên khâu dẫn một lực cân bằng ta có:

$$\sum \vec{P}_i \vec{v}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i + \vec{F}_{cb} \vec{v}_{cb} = 0 \Rightarrow F_{cb} = -\frac{1}{v_{cb} \cos(\vec{F}_{cb}, \vec{v}_{cb})} \left( \sum \vec{P}_i \vec{v}_i + \sum \vec{M}_i \vec{\omega}_i \right)$$

Trong đó:  $\vec{P}_i, \vec{M}_i$  là ngoại lực và mô men ngoại lực tác dụng lên khâu thứ  $i$  (kể cả lực quán tính và mô men lực quán tính);  $\vec{v}_i$  là vận tốc điểm đặt lực  $\vec{P}_i$ ;  $\vec{\omega}_i$  là vận tốc góc của khâu thứ  $i$  trên đó có mô men  $\vec{M}_i$ ;  $\vec{v}_{cb}$  là vận tốc của đặt lực  $\vec{F}_{cb}$ .

Lưu ý:  $M_{cb} > 0$  thì  $\vec{M}_{cb}$  cùng chiều với  $\vec{\omega}_1$ ;  $M_{cb} < 0$  thì  $\vec{M}_{cb}$  ngược chiều với  $\vec{\omega}_1$

## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

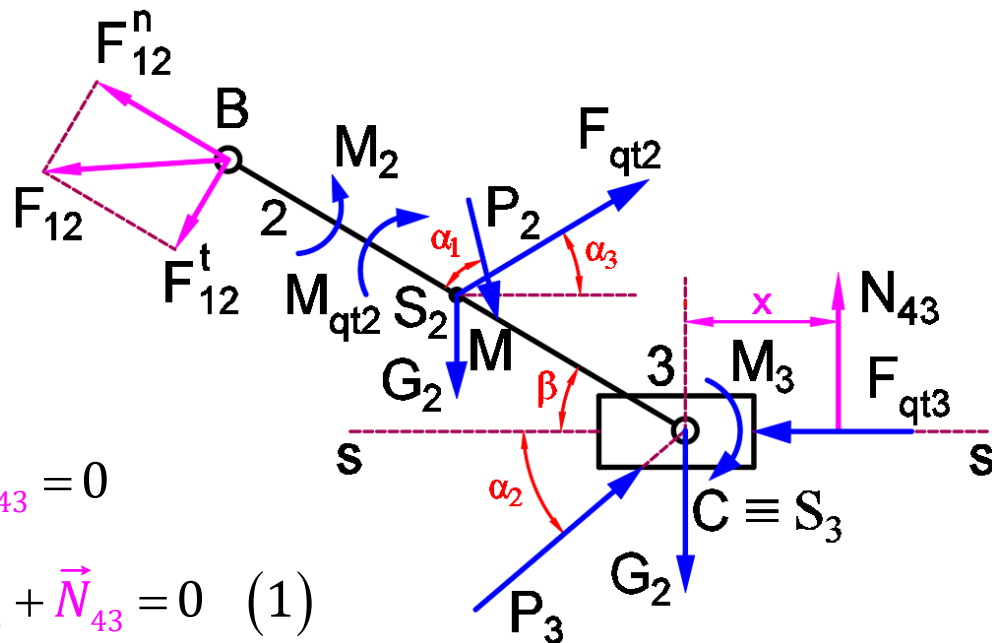
### ❖ Tính áp lực khớp động của các khâu bị dẫn:

Xét cân bằng lực nhóm tĩnh  
định gồm khâu 2, 3:

Phương trình cân bằng lực:

$$\vec{F}_{12} + \vec{P}_2 + \vec{F}_{qt2} + \vec{G}_2 + \vec{P}_3 + \vec{G}_3 + \vec{N}_{43} = 0$$

$$\Leftrightarrow \vec{F}_{12}^n + \vec{F}_{12}^t + \vec{P}_2 + \vec{F}_{qt2} + \vec{G}_2 + \vec{P}_3 + \vec{G}_3 + \vec{N}_{43} = 0 \quad (1)$$



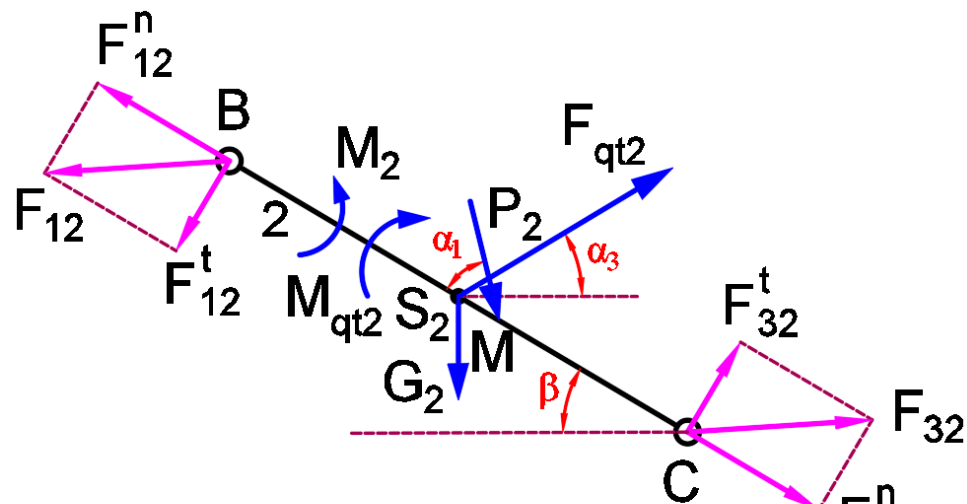
Ta nhận thấy các áp lực tác dụng lên nhóm tĩnh định gồm khâu 2, 3 gồm  $\vec{F}_{12}$  và  $\vec{N}_{43}$ . Tổng số có 4 ẩn cần phải xác định gồm chiều và độ lớn của  $\vec{F}_{12}$ , độ lớn và điểm đặt của  $\vec{N}_{43}$ . Trong khi đó, đối với cơ cấu phẳng ta chỉ viết được tối đa 3 phương trình cân bằng lực cho một nhóm tĩnh định. Vì vậy bài toán không thỏa mãn điều kiện tĩnh định. Để khắc phục ta tách riêng khâu 2 và xét cân bằng lực khâu 2.

## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

### ❖ Tính áp lực khớp động của các khâu bị dẫn:

#### Xét cân bằng lực khâu 2:

Phương trình cân bằng mô men lực lấy đối với điểm C:



$$F_{12}^t L_{BC} + P_2 \sin \alpha_1 L_{MC} + F_{qt2} \sin \alpha_3 L_{CS_2} + G_2 \cos \beta L_{CS_2} + M_2 - M_{qt2} = 0$$

$$\Rightarrow F_{12}^t = \frac{M_{qt2} - P_2 \sin \alpha_1 L_{MC} - F_{qt2} \sin \alpha_3 L_{CS_2} - G_2 \cos \beta L_{CS_2} - M_2}{L_{BC}} \quad (2)$$

Thay (2) vào (1) ta có:  $\vec{F}_{12}^n + \vec{F}_{12}^t + \vec{P}_2 + \vec{F}_{qt2} + \vec{G}_2 + \vec{P}_3 + \vec{G}_3 + \vec{N}_{43} = 0 \quad (3)$

Chiếu (3) lên phương vuông góc với BC ta tìm được  $\vec{N}_{43}$ , chiếu (3) lên phương BC ta tìm được  $\vec{F}_{12}^n$ .

## 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

### ❖ Tính áp lực khớp động của các khâu bị dẫn:

#### Xét cân bằng lực khâu 2:

Để xác định các lực  $\vec{F}_{32}^n$  và  $\vec{F}_{32}^t$  ta lần lượt chiếu các lực lên phương BC và phương vuông góc với BC.

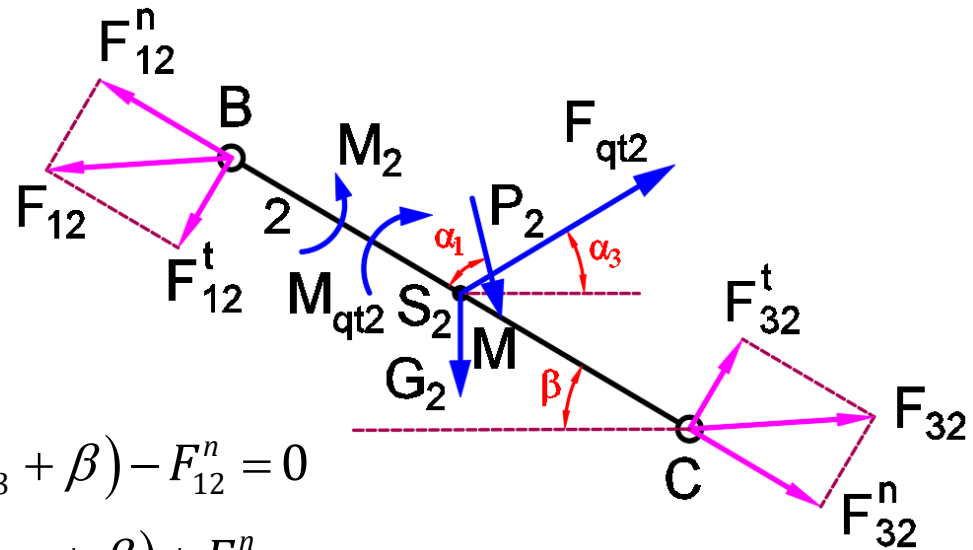
$$F_{32}^n + G_2 \sin \beta + P_2 \cos \alpha_1 + F_{qt2} \cos(\alpha_3 + \beta) - F_{12}^n = 0$$

$$\Rightarrow F_{32}^n = -G_2 \sin \beta - P_2 \cos \alpha_1 - F_{qt2} \cos(\alpha_3 + \beta) + F_{12}^n$$

$$F_{32}^t - G_2 \cos \beta - P_2 \sin \alpha_1 + F_{qt2} \sin(\alpha_3 + \beta) - F_{12}^t = 0$$

$$\Rightarrow F_{32}^t = G_2 \cos \beta + P_2 \sin \alpha_1 - F_{qt2} \sin(\alpha_3 + \beta) + F_{12}^t$$

Như vậy áp lực của các khớp quay tại B và C đã xác định.



### 3.3. Minh họa trình tự giải bài toán phân tích lực

#### ❖ Tính áp lực khớp động của các khâu bị dẫn:

##### Xét cân bằng lực khâu 3:

Để xác định điểm đặt của  $\vec{N}_{43}$  ta xét cân bằng lực khâu 3. Lấy mô men cân bằng lực đối với điểm C:

$$N_{43}x - M_3 = 0 \Rightarrow x = \frac{M_3}{N_{43}}$$

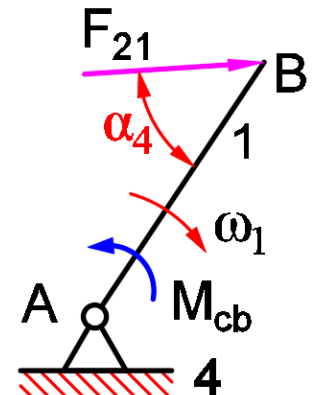
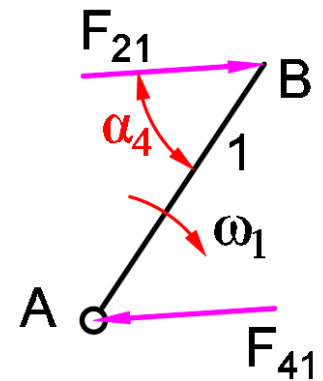
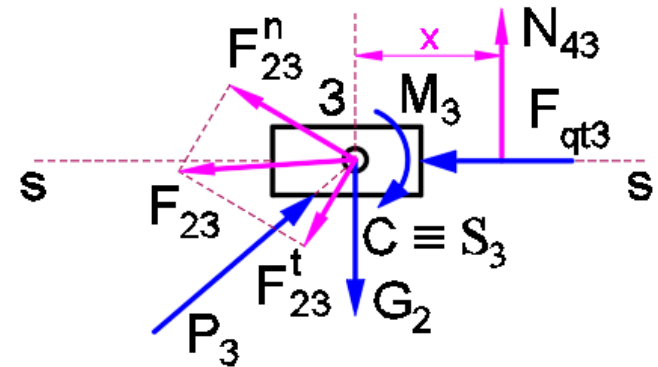
##### Xét cân bằng lực khâu 1:

Để xác định áp lực tại khớp động A ta xét cân bằng lực khâu 1:

$$F_{41} = F_{21} = F_{12} = \sqrt{(F_{12}^n)^2 + (F_{12}^t)^2}$$

Mô men cân bằng khâu dẫn 1:

$$M_{cb} = F_{21} \sin \alpha_4 L_{AB}$$



## 3.4. Ví dụ và Bài tập

### ❖ Ví dụ 3.1