

## Bài 6A: Khảo sát lực ma sát

**Mục đích:** Trong bài thí nghiệm này, ta sẽ tiến hành khảo sát sự phụ thuộc của lực ma sát nghỉ, ma sát trượt và ma sát lăn vào áp lực, diện tích và bề mặt tiếp xúc giữa vật và mặt phẳng chuyển động.

### I. LÝ THUYẾT

**L**ỰC MA SÁT là lực cản xuất hiện giữa các bề mặt vật chất, chống lại xu hướng thay đổi vị trí tương đối giữa hai bề mặt. Ma sát được phân loại thành ma sát tĩnh (hay ma sát nghỉ) và ma sát động. Ma sát động lại được chia thành ma sát trượt và ma sát lăn. Ma sát trượt lại bao gồm ma sát khô và ma sát nhớt.

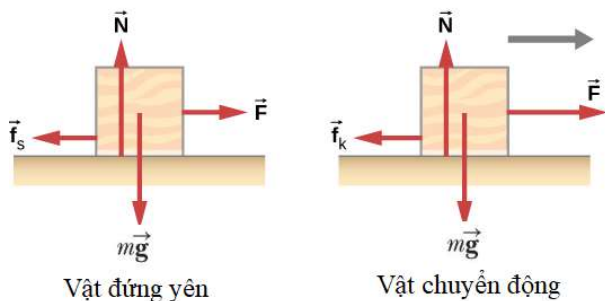
Vấn đề về ma sát nhớt được tìm hiểu trong thí nghiệm "Đo độ nhớt của chất lỏng bằng phương pháp Stoke".

Bài thí nghiệm này giới hạn trong phạm vi ma sát nghỉ, ma sát trượt (khô) và ma sát lăn. Về cơ bản, lực ma sát có độ lớn phụ thuộc vào tính chất riêng của bề mặt tiếp xúc và áp lực xuất hiện giữa các bề mặt.

#### Ma sát nghỉ

Xét một vật nằm trên mặt phẳng ngang như hình 1. Theo điều kiện cân bằng, một vật đứng yên nếu tổng hợp lực tác dụng vào vật bằng không. Như vậy, khi tác dụng lên vật một lực kéo  $\vec{F}$  theo phương ngang nhưng vật vẫn không chuyển động, chứng tỏ tồn tại một lực cân bằng với lực kéo  $\vec{F}$ . Đó chính là lực ma sát nghỉ:

$$f_s = F.$$



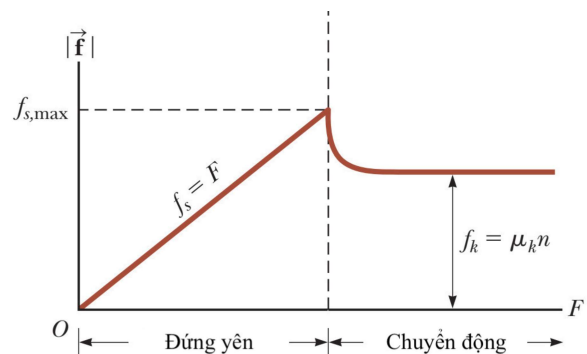
Hình 1: Mô hình phân tích lực

Đồ thị trên hình 2 thể hiện mối liên hệ giữa lực ma sát nghỉ và lực kéo. Khi tăng lực kéo lên, lực

ma sát cũng tăng theo. Nhưng khi lực kéo vượt qua một giới hạn nhất định thì lực ma sát này không tăng thêm được nữa. Lúc này vật bắt đầu chuyển động.

Ngưỡng cao nhất lực ma sát nghỉ không thể vượt qua gọi là lực ma sát nghỉ cực đại:

$$f_s < f_{s,max}.$$



Hình 2: Mối liên hệ giữa lực ma sát và lực kéo

#### Ma sát trượt

Khi vật di chuyển dọc theo bề mặt tiếp xúc, lực ma sát nghỉ chuyển thành lực ma sát trượt. Đồ thị hình 2 cho thấy, khi lực kéo  $F$  tiếp tục tăng lên, lực ma sát trượt  $f_k$  gần như không tăng theo mà giữ mức ổn định. Giá trị ổn định này bé hơn lực ma sát nghỉ cực đại một chút.

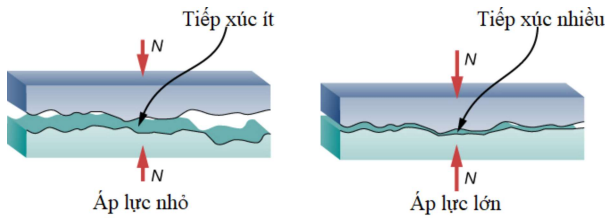
Ma sát nghỉ và ma sát trượt đều có nguyên nhân xuất phát từ sự gồ ghề của bề mặt tiếp xúc (hình 3). Bề mặt càng nhám, ma sát càng lớn. Khi hai bề mặt càng ép chặt vào nhau, sự vướng víu lại càng tăng lên. Do đó, lực ma sát nghỉ cực đại và lực ma sát trượt tỉ lệ với áp lực sinh ra giữa hai bề mặt. Trên mặt phẳng ngang, áp lực này cân bằng phản lực vuông góc  $N$ , do đó:

$$f_{s,max} = \mu_s N,$$

$$f_k = \mu_k N.$$

Ở đây  $\mu_s$  – hệ số ma sát nghỉ, còn  $\mu_k$  – hệ số ma sát trượt.

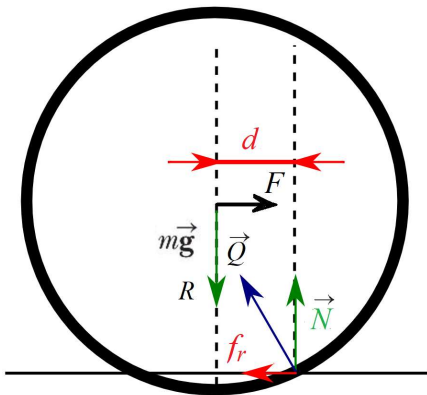




Hình 3: Lực ma sát phụ thuộc vào áp lực giữa hai bề mặt

**Ma sát lăn**

Xét vật hình trụ bán kính  $R$  có thể lăn không trượt trên mặt phẳng ngang. Tác dụng lực kéo  $\vec{F}$  sao cho vật lăn đều về bên phải như hình 4. Ngoài lực kéo  $\vec{F}$ , trong lực  $m\vec{g}$ , còn có phản lực đàn hồi  $\vec{Q}$  hình thành do sự biến dạng của vật và mặt phẳng.



Hình 4: Cơ chế hình thành ma sát lăn

Có thể phân tích  $\vec{Q}$  ra thành phản lực vuông góc  $\vec{N}$  và lực  $\vec{f}_r$  – đóng vai trò của lực cản, ta gọi là *lực ma sát lăn*. Phản lực vuông góc  $\vec{N}$  cân bằng với trọng lực  $m\vec{g}$ . Trong khi đó lực ma sát lăn  $\vec{f}_r$  cân bằng với lực kéo  $\vec{F}$ .

Mặt khác, phản lực đàn hồi  $\vec{Q}$  cũng có phương đi qua điểm đặt của  $\vec{F}$ , giúp vật cân bằng về moment lực. Xét trục quay đi qua khối tâm, tổng moment lực khi vật quay đều phải bằng 0:

$$f_r \cdot R = N \cdot d,$$

suy ra:

$$f_r = \frac{d}{R} \cdot N.$$

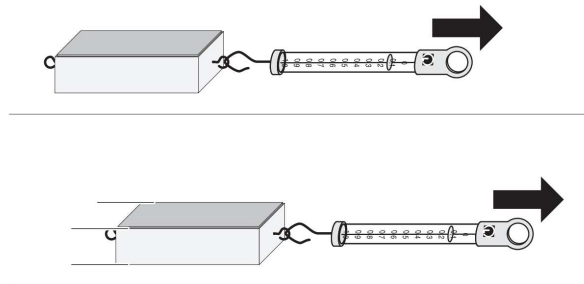
Hệ thức  $d/R$  đóng vai trò làm hệ số ma sát lăn:

$$f_r = \mu_r N.$$

Thực nghiệm cho thấy, tham số biến dạng  $d$  chỉ phụ thuộc vào chất liệu của vật lăn và mặt phẳng ngang. Như vậy, đường kính vật lăn càng lớn, hệ số ma sát lăn sẽ càng nhỏ. Cũng tương tự ma sát trượt, lực ma sát lăn tỉ lệ với áp lực do vật lăn đè lên mặt phẳng.

**II. NGUYÊN LÝ PHÉP ĐO**

Trong thí nghiệm này, ta sẽ tiến hành đo lực ma sát khi kéo một khối vật trên mặt phẳng nằm ngang. Nguyên lý phép đo được miêu tả trên hình 5.



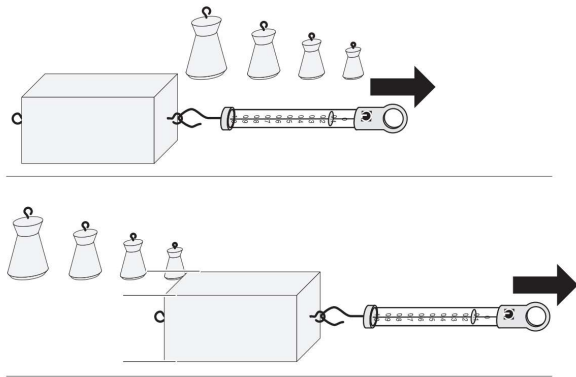
Hình 5: Đo lực ma sát thông qua lực kéo

Khi vật đứng yên hoặc chuyển động thẳng đều, tổng hợp lực tác dụng lên vật bằng 0, lực ma sát sẽ cân bằng với lực kéo. Như vậy khi vật đứng yên, lực ma sát nghỉ hoàn toàn quan sát được qua số đo của lực kế. Trong khi đó, lực ma sát trượt có thể quan sát qua số đo của lực kế chỉ khi vật chuyển động thẳng đều.

Từ nguyên lý trên, ta sẽ dùng lực kế để kéo vật theo phương ngang, từ từ tăng dần độ lớn của lực. Đến khi nào vật bắt đầu chuyển động, lực kế sẽ chỉ thị số đo của lực ma sát nghỉ cực đại. Khi kéo vật chuyển động thẳng đều, lực kế sẽ chỉ giá trị của lực ma sát trượt.

Trên mặt phẳng ngang, áp lực mà vật đè lên bề mặt bằng với trọng lực tác dụng lên vật. Vì thế áp lực hoàn toàn đo được bằng cách cân tải trọng của vật. Ta cũng có thể thay đổi áp lực/tải trọng này bằng cách thêm bớt các quả nặng chất lên vật như hình 6

Ta có thể khảo sát lực ma sát trên nhiều loại chất liệu khác nhau, bằng cách thay đổi chất liệu mặt đáy của vật và chất liệu phủ lên mặt phẳng ngang.



Hình 6: Đo ma sát thông qua lực kéo

### III. QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM

#### Phần I: Khảo sát lực ma sát nghỉ cực đại và lực ma sát lăn

Giáo viên sẽ chỉ định 4 trường hợp khảo sát với chất liệu bề mặt và diện tích tiếp xúc thay đổi, sao cho khi thay đổi chất liệu thì diện tích giữ nguyên, còn khi thay đổi diện tích thì chất liệu giữ nguyên. Ví dụ ta nhận tổ hợp khảo sát như bảng dưới:

Bảng 1: Tổ hợp khảo sát

Trường hợp	Chất liệu khối vật	Chất liệu mặt phẳng	Diện tích tiếp xúc
1	Gỗ	Gỗ	12 × 6
2	Nhựa	Gỗ	12 × 6
3	Gỗ	Gỗ	12 × 3
4	Nhựa	Gỗ	12 × 3

Với mỗi trường hợp trên, chuẩn bị bảng ghi chép như bảng 2.

Bảng 2: Dữ liệu phần I

Chất liệu mặt đáy vật: ...			
Chất liệu mặt phẳng ngang: ...			
Diện tích tiếp xúc: ... cm <sup>2</sup>			
Khối lượng (kg)	Áp lực (N)	$f_{s,max}$ (N)	$f_k$ (N)

Việc đo lực ma sát thực hiện theo quy trình sau:

- **Bước 1:** Dùng cân đo khối lượng của vật, ghi vào bảng 2. Khối lượng này tạo nên áp lực ban đầu của vật lên mặt phẳng ngang.

- **Bước 2:** Đặt khối vật trên mặt phẳng ngang. Lưu ý chọn đúng chất liệu các bề mặt và diện tích tiếp xúc.

- **Bước 3:** Gắn lực kế như hình 6, sao cho phương của lực kế song song với mặt phẳng ngang. Mặt hiện số của lực kế cần hướng ra ngoài để đọc giá trị.

- **Bước 4:** Dùng lực kế kéo từ từ đến khi vật bắt đầu chuyển động. Khi đó, số chỉ trên lực kế ngay trước khi vật bắt đầu chuyển động là giá trị cực đại của lực ma sát nghỉ  $f_{s,max}$ . Đọc nhanh giá trị này và ghi lại vào bảng 2.

- **Bước 5:** Tiếp tục kéo vật chuyển động thẳng đều trên mặt phẳng ngang, số chỉ của lực kế lúc này chính là lực ma sát trượt  $f_k$ . Ghi giá trị  $f_k$  vào bảng 2.

- **Bước 6:** Tăng áp lực bằng cách thêm tải trọng lên khối vật. Ghi lại tổng khối lượng của vật lúc này. Lặp lại các bước 4-5.

Việc khảo sát cần dừng lại nếu lực ma sát vượt quá ngưỡng đo của lực kế.

#### Phần II: Khảo sát lực ma sát lăn

Giáo viên sẽ chỉ định 2 trường hợp khác nhau về chất liệu của mặt phẳng ngang: một mặt cứng và một mặt mềm.

Với mỗi trường hợp như vậy, cần chuẩn bị bảng ghi chép như bảng 3.

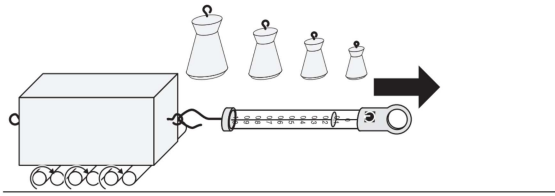
Bảng 3: Dữ liệu phần II

Chất liệu mặt phẳng ngang: ...		
Khối lượng (kg)	Áp lực (N)	$f_r$ (N)

Việc đo lực ma sát lăn thực hiện theo quy trình sau:

- **Bước 1:** Dùng cân đo tổng khối lượng của vật





Hình 7: Khảo sát lực ma sát lăn

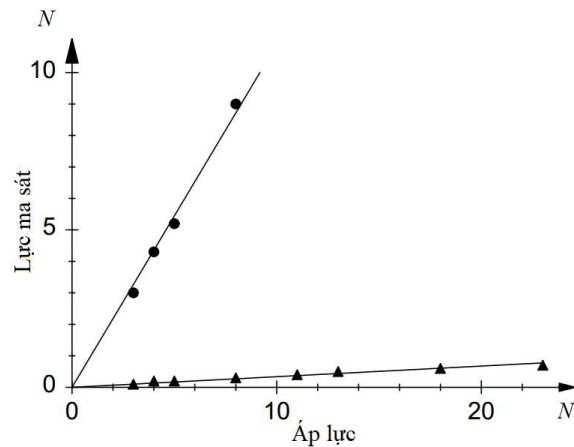
và các thanh kim loại hình trụ, ghi vào bảng 3. Khối lượng này tạo nên áp lực ban đầu của hệ vật lên mặt phẳng ngang.

- **Bước 2:** Xếp các thanh hình trụ như hình 7. Đặt khối vật lên trên các thanh hình trụ.

- **Bước 3:** Gắn lực kế như hình 7, sao cho phương của lực kế song song với mặt phẳng ngang, hướng theo chiều vuông góc với các thanh hình trụ. Mặt hiện số của lực kế cần hướng ra ngoài để đọc giá trị.

- **Bước 4:** Kéo hệ vật *chuyển động thẳng đều* trên mặt phẳng ngang, số chỉ của lực kế lúc này chính là lực ma sát lăn  $f_r$ . Ghi giá trị  $f_r$  vào bảng 3.

- **Bước 5:** Tăng áp lực bằng cách thêm tải trọng lên khối vật. Ghi lại tổng khối lượng của hệ vật lúc này. Lặp lại các bước 2-4.



Hình 8: Xác định hệ số ma sát qua đồ thị

3. Miêu tả nguyên lý đo lực ma sát trong bài thí nghiệm.
4. Vẽ đồ thị sự phụ thuộc của lực ma sát vào lực kéo khi kéo vật dọc theo mặt phẳng ngang.
5. Nêu ví dụ trong đời sống và kỹ thuật, khi lực ma sát là có lợi và bất lợi. Nêu biện pháp để tăng cường tác dụng có lợi và hạn chế bất lợi đó?

#### IV. XỬ LÝ DỮ LIỆU

Từ bộ dữ liệu đo được, dựng các đồ thị miêu tả sự phụ thuộc của ma sát nghỉ cực đại vào áp lực. Các đồ thị này cần thể hiện *trên cùng một hệ trục* như hình 8. Từ mỗi đồ thị, hãy khớp hàm bằng một đường thẳng đi qua gốc tọa độ. Tìm hệ số ma sát thông qua hệ số góc của đường thẳng. Viết giá trị tìm được vào bảng 4.

Ta cũng tiến hành tương tự cho lực ma sát trượt, ma sát lăn và ghi hệ số ma sát tìm được vào bảng 5 và bảng 6.

Hãy đưa ra nhận định về quy luật xuất hiện của các loại lực ma sát trong bài thí nghiệm.

#### V. CÂU HỎI KIỂM TRA

1. Nêu cơ chế xuất hiện của ma sát nghỉ, ma sát trượt và ma sát lăn.
2. Lực ma sát phụ thuộc vào những yếu tố nào?

Bảng 4: Hệ số ma sát nghỉ

Trường hợp	Chất liệu khối vật	Chất liệu mặt phẳng	Diện tích tiếp xúc $\text{cm}^2$	Hệ số ma sát $\mu_s$
1	Gỗ	Gỗ	$12 \times 6$	
2	Nhựa	Gỗ	$12 \times 6$	
3	Gỗ	Gỗ	$12 \times 3$	
4	Nhựa	Gỗ	$12 \times 3$	

Tổ hợp chất liệu ghi trong bảng này chỉ là ví dụ.

Bảng 5: Hệ số ma sát trượt

Trường hợp	Chất liệu khối vật	Chất liệu mặt phẳng	Diện tích tiếp xúc $\text{cm}^2$	Hệ số ma sát $\mu_k$
1	Gỗ	Gỗ	$12 \times 6$	
2	Nhựa	Gỗ	$12 \times 6$	
3	Gỗ	Gỗ	$12 \times 3$	
4	Nhựa	Gỗ	$12 \times 3$	

Tổ hợp chất liệu ghi trong bảng này chỉ là ví dụ.

Bảng 6: Hệ số ma sát lăn

Trường hợp	Chất liệu mặt phẳng	Hệ số ma sát $\mu_r$
1		
2		

