

4 CÔNG CỦA LỰC ĐIỆN HIỆU ĐIỆN THẾ

Công của trọng lực được biểu diễn qua hiệu thế năng hấp dẫn. Còn công của lực điện có thể được biểu diễn qua đại lượng nào ?

1. Công của lực điện

Ta xét công của lực điện tác dụng lên một điện tích q chuyển động từ M đến N trong điện trường đều, chẳng hạn điện trường giữa hai tấm kim loại rộng, song song, mang điện tích trái dấu có độ lớn bằng nhau.

Giả sử $q > 0$ và đường đi của điện tích q là đoạn đường cong MN (Hình 4.1).

Để tính công của lực điện trên đoạn đường cong MN , ta chia MN thành nhiều đoạn nhỏ, công của lực điện tác dụng lên q bằng tổng các công trên các đoạn nhỏ đó.

Vì $q > 0$ nên lực điện tác dụng lên q có chiều hướng từ tấm mang điện tích dương sang tấm mang điện tích âm. Coi rằng đoạn đường cong MN được chia thành nhiều đoạn nhỏ sao cho mỗi đoạn nhỏ đó có thể coi là đoạn thẳng. Khi đó công thức tính công trên một đoạn nhỏ nào đó, chẳng hạn đoạn PQ , là :

$$\Delta A_{PQ} = qE \cdot PQ \cdot \cos \alpha = qE \cdot \overline{P'Q'}$$

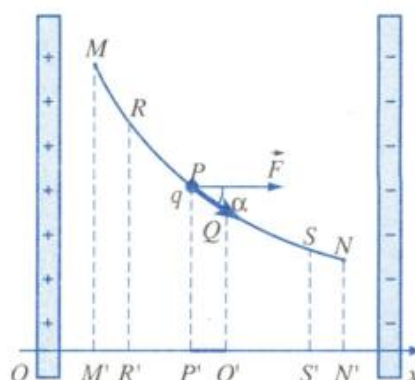
ở đây $\overline{P'Q'}$ là hình chiếu của PQ lên trục Ox ; quy ước vẽ trục Ox có chiều trùng với chiều của đường sức.

Công trên toàn đoạn MN bằng :

$$\begin{aligned} A_{MN} &= \sum \Delta A \\ &= qE(\overline{M'R'} + \dots + \overline{P'Q'} + \dots + \overline{S'N'}) \\ &= qE \cdot \overline{M'N'} \end{aligned}$$

Kết quả trên đây được rút ra từ giả thiết $q > 0$. Tuy nhiên, nếu $q < 0$ ta cũng rút ra được công thức như trên. Do đó có thể viết :

$$A_{MN} = qE \cdot \overline{M'N'} \quad (4.1)$$



Hình 4.1

Trong Cơ học ta cũng đã rút ra kết luận là công của lực hấp dẫn không phụ thuộc vào dạng đường đi của vật mà chỉ phụ thuộc vào điểm đầu và điểm cuối của đường đi.

C1 Vì sao người ta nói trường hấp dẫn và điện trường đều là những trường thế ?

C2 Chứng tỏ rằng (4.1) cũng đúng cả trong trường hợp $q < 0$.

M', N' là hình chiếu của hai điểm M, N lên trục Ox ; $\overline{M'N'}$ là độ dài đại số của đoạn $M'N'$; còn q có dấu tùy ý.

Từ (4.1) ta có nhận xét là, công của lực điện tác dụng lên điện tích q không phụ thuộc vào dạng của đoạn đường đi MN mà chỉ phụ thuộc vào vị trí của hai điểm M, N tức là của điểm đầu và điểm cuối của đường đi.

Người ta đã chứng minh rằng nhận xét trên đây cũng đúng cả trong trường hợp điện trường không đều.

Công của lực điện tác dụng lên một điện tích không phụ thuộc dạng đường đi của điện tích mà chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đầu và điểm cuối của đường đi trong điện trường.

Do đó, người ta nói *điện trường tĩnh là một trường thế* (tương tự như trường hấp dẫn).

2. Khái niệm hiệu điện thế

a) Công của lực điện và hiệu thế năng của điện tích

Công của trọng lực và công của lực điện cùng có một đặc tính quan trọng là những công này không phụ thuộc dạng đường đi của vật mà chỉ phụ thuộc vị trí điểm đầu và điểm cuối của đường đi.

Ta đã biết, công của trọng lực được biểu diễn qua hiệu thế năng tại vị trí đầu và cuối đường đi của vật đó (Bài 35, SGK Vật lí 10 nâng cao).

Ở đây, ta cũng coi một điện tích q ở trong điện trường thì có thế năng, và công của lực điện khi điện tích q di chuyển từ điểm M đến điểm N cũng được biểu diễn qua hiệu của các thế năng của điện tích q tại hai điểm đó :

$$A_{MN} = W_M - W_N$$

b) Hiệu điện thế, điện thế

Hiệu thế năng của vật trong trọng trường tỉ lệ với khối lượng m của vật. Ở đây, ta cũng coi hiệu thế năng của điện tích q trong điện trường tỉ lệ với điện tích q , nghĩa là có thể biểu diễn A_{MN} dưới dạng sau :

$$A_{MN} = q(V_M - V_N) \quad (4.2)$$

$(V_M - V_N)$ được gọi là *hiệu điện thế* (hay điện áp) giữa hai điểm M, N và kí hiệu là U_{MN} .

Từ (4.2) rút ra công thức sau đây được coi là công thức định nghĩa hiệu điện thế :

$$U_{MN} = V_M - V_N = \frac{A_{MN}}{q} \quad (4.3)$$

Hiệu điện thế giữa hai điểm trong điện trường là đại lượng đặc trưng cho khả năng thực hiện công của điện trường khi có một điện tích di chuyển giữa hai điểm đó.

Các đại lượng V_M, V_N được gọi là điện thế của điện trường tại điểm M, N tương ứng. Điện thế của điện trường phụ thuộc vào cách chọn mốc tính điện thế. Thường người ta chọn điện thế ở xa vô cực làm mốc. Cũng có khi người ta chọn điện thế ở mặt đất làm mốc (nghĩa là coi điện thế ở mặt đất bằng 0). Vì vậy, khi nói tới điện thế tại một điểm A nào đó thì thực chất đó là hiệu điện thế $V_A - V_B$, trong đó V_B là điện thế được chọn làm mốc nghĩa là $V_B = 0$.

Trong hệ SI, đơn vị điện thế và hiệu điện thế là vôn kí hiệu là V. Từ công thức (4.2) suy ra, nếu $U_{MN} = 1 \text{ V}, q = 1 \text{ C}$ thì $A_{MN} = 1 \text{ J}$. Vậy vôn là hiệu điện thế giữa hai điểm M, N mà khi một điện tích dương 1 C di chuyển từ điểm M đến điểm N thì lực điện sẽ thực hiện một công dương là 1 J.

Để đo hiệu điện thế giữa hai vật, người ta dùng *tĩnh điện kế* (Hình 4.2).

Trong kĩ thuật, hiệu điện thế gọi là điện áp.

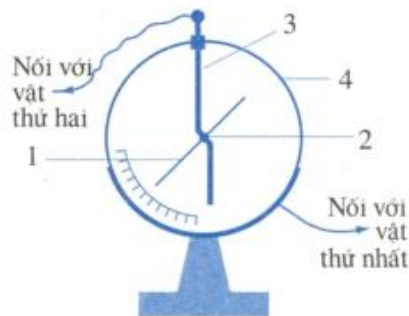
3. Liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế

So sánh hai công thức (4.1) và (4.2) ta rút ra :

$$E = \frac{U_{MN}}{M'N'} \quad (4.4)$$

Đó là công thức biểu thị mối liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế đối với điện trường đều. Các điểm M, N, M', N' được chỉ rõ trên

C3 Hiệu điện thế giữa hai điểm có phụ thuộc việc chọn mốc tính điện thế không ? Giải thích.



Hình 4.2 Tĩnh điện kế.

1. Kim của tĩnh điện kế ; 2. Trục quay của kim ; 3. Thanh kim loại, gọi là cần của tĩnh điện kế ; 4. Vỏ tĩnh điện kế bằng kim loại.

Muốn đo hiệu điện thế giữa hai vật, ta nối một vật với cần của tĩnh điện kế, vật kia với vỏ. Độ lệch của kim cho biết hiệu điện thế giữa hai vật đó.

C4 Muốn đo điện thế của vật A ta nối A với cần tĩnh điện kế, vỏ tĩnh điện kế nối với đất. Vậy nối vỏ tĩnh điện kế với đất có ý nghĩa gì ?

C5 Dựa vào công thức (4.4) hãy chứng minh rằng điện thế giảm theo chiều của đường sức.

Hướng dẫn

Vẽ trục Ox trùng với một đường sức bất kì như trên Hình 4.3 và áp dụng công thức (4.3) đối với hai điểm M, N gần nhau trên trục Ox .



Hình 4.3

Hình 4.1. Từ (4.4) ta hiểu tại sao đơn vị cường độ điện trường là vôn trên mét.

Mối liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế thường được viết dưới dạng đơn giản như sau :

$$E = \frac{U}{d} \quad (4.5)$$

d là khoảng cách giữa hai điểm M', N' .

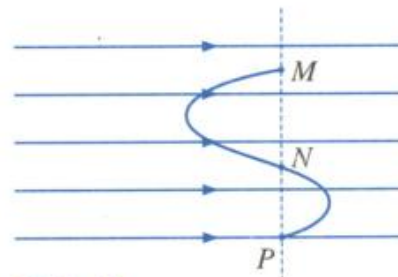
CÂU HỎI

- Hãy giải thích bằng hình vẽ đại lượng $\overline{M'N'}$ trong công thức (4.1).
- Hãy viết công thức tính công của lực điện khi một điện tích di chuyển từ điểm M đến điểm N trong điện trường. Có gì đáng chú ý trong công thức vừa viết ?
- Hãy tìm mối liên hệ giữa U_{MN} và U_{NM} .
- Hãy viết công thức định nghĩa hiệu điện thế.
- Hãy viết công thức liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế trong trường hợp điện trường đều.

BÀI TẬP

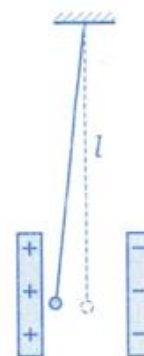
- Chọn phương án đúng.
Một điện tích q chuyển động trong điện trường (đều hay không đều) theo một đường cong kín. Gọi công của lực điện trong chuyển động đó là A thì
 - $A > 0$ nếu $q > 0$.
 - $A > 0$ nếu $q < 0$.
 - $A \neq 0$ nếu điện trường không đều.
 - $A = 0$.
- Chọn phương án đúng.
Cho ba điểm M, N, P trong một điện trường đều. $MN = 1 \text{ cm}$; $NP = 3 \text{ cm}$; $U_{MN} = 1 \text{ V}$; $U_{MP} = 2 \text{ V}$. Gọi cường độ điện trường tại M, N, P là E_M, E_N, E_P ,
 - $E_N > E_M$.
 - $E_P = 2E_N$.
 - $E_P = 3E_N$.
 - $E_P = E_N$.

3. Một điện tích q chuyển động từ điểm M đến điểm N , từ điểm N đến điểm P như trên Hình 4.4 thì công của lực điện trong mỗi trường hợp bằng bao nhiêu? Giải thích.



Hình 4.4

4. Hai tấm kim loại phẳng rộng đặt song song, cách nhau 2 cm, được nhiễm điện trái dấu nhau và có độ lớn bằng nhau. Muốn điện tích $q = 5 \cdot 10^{-10}$ C di chuyển từ tấm này đến tấm kia cần tốn một công $A = 2 \cdot 10^{-9}$ J. Hãy xác định cường độ điện trường bên trong hai tấm kim loại đó. Cho biết điện trường bên trong hai tấm kim loại đã cho là điện trường đều và có đường sức vuông góc với các tấm.
5. Một electron chuyển động dọc theo đường sức của một điện trường đều. Cường độ điện trường $E = 100$ V/m. Vận tốc ban đầu của electron bằng 300 km/s. Hỏi electron chuyển động được quãng đường dài bao nhiêu thì vận tốc của nó bằng không? Cho biết khối lượng electron $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.
6. Hiệu điện thế giữa hai điểm M, N là $U_{MN} = 1$ V. Một điện tích $q = -1$ C di chuyển từ M đến N thì công của lực điện bằng bao nhiêu? Giải thích ý nghĩa của kết quả tính được.
7. Một quả cầu nhỏ khối lượng $3,06 \cdot 10^{-15}$ kg nằm lơ lửng giữa hai tấm kim loại song song nằm ngang và nhiễm điện trái dấu. Điện tích của quả cầu đó bằng $4,8 \cdot 10^{-18}$ C. Hai tấm kim loại cách nhau 2 cm. Hãy tính hiệu điện thế đặt vào hai tấm đó. Lấy $g = 10$ m/s².
8. Một quả cầu khối lượng $4,5 \cdot 10^{-3}$ kg treo vào một sợi dây dài 1 m. Quả cầu nằm giữa hai tấm kim loại song song, thẳng đứng như Hình 4.5. Hai tấm cách nhau 4 cm. Đặt một hiệu điện thế 750 V vào hai tấm đó thì quả cầu lệch ra khỏi vị trí ban đầu 1 cm. Tính điện tích của quả cầu. Lấy $g = 10$ m/s².



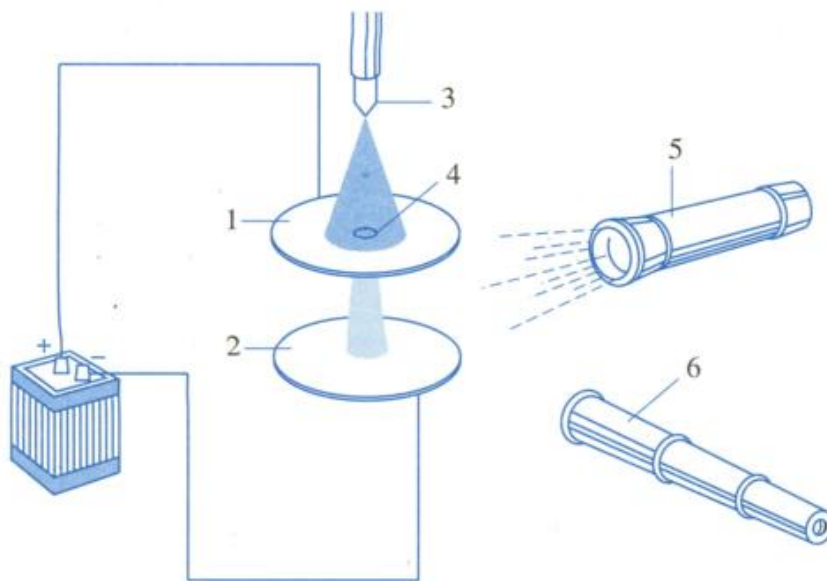
Hình 4.5

Em có biết ?

THÍ NGHIỆM MI-LI-KAN

Thí nghiệm Mi-li-kan (Robert Andrews Millikan, 1868 – 1953, nhà vật lý người Mĩ, giải Nobel năm 1925) nhằm xác định điện tích nhỏ nhất trong tự nhiên.

Sơ đồ thí nghiệm Mi-li-kan được trình bày trên Hình 4.6. Trong hình đó 1 và 2 là hai tấm kim loại đường kính khoảng 20 cm. Hai tấm được đặt nằm ngang và cách nhau chừng 2 cm. Dùng máy phun, phun vào lỗ nhỏ ở tấm kim loại 1 những hạt dầu có kích thước rất nhỏ (vào cỡ 1 μ m). Do cọ xát với miệng vòi phun mà một số hạt dầu được nhiễm điện. Qua lỗ nhỏ có một số hạt dầu rơi vào bên trong khoảng không gian giữa hai tấm kim loại. Dùng kính quan sát các hạt đó trong khoảng thời gian chừng vài ba giờ.



Hình 4.6 Sơ đồ thí nghiệm Mi-li-kan.

1, 2. Hai tấm kim loại ; 3. Máy phun ; 4. Lỗ nhỏ ; 5. Đèn chiếu sáng ; 6. Kính quan sát.

Đầu tiên, khi hai tấm 1 và 2 chưa nối với nguồn, ta thấy những hạt dầu rơi xuống với tốc độ lớn dần. Sau đó tốc độ rơi của chúng không đổi. Đó là lúc lực ma sát cân bằng với lực hấp dẫn. Ở đây lực ma sát tỉ lệ với tốc độ rơi của hạt. Kí hiệu tốc độ không đổi này là v thì $f_{ms} = kv$. Ta có hệ thức sau :

$$mg = f_{ms} = kv$$

(k là một hệ số tỉ lệ)

Bây giờ nối tấm 1 với cực dương và tấm 2 với cực âm của một nguồn điện. Khi đó

có một số hạt không rơi xuống mà lại chuyển động từ dưới lên trên, đó là những hạt nhiễm điện âm. Khi những hạt này đạt đến tốc độ không đổi v_1 , ta có thể viết công thức sau :

$$q \frac{U}{d} = mg + kv_1 \quad (1)$$

trong đó q là điện tích của hạt dầu, U là hiệu điện thế giữa hai tấm kim loại, d là khoảng cách giữa hai tấm đó.

Ion hoá không khí trong khoảng không gian giữa hai tấm kim loại (bằng tia X, tia phóng xạ,...) thì có một số hạt thay đổi tốc độ đột ngột do chúng nhận thêm hạt mang điện từ không khí. Khi những hạt nhận thêm điện tích này đạt đến tốc độ không đổi v_2 , ta có thể viết hệ thức sau :

$$(q + q_n) \frac{U}{d} = mg + kv_2 \quad (2)$$

ở đây q_n là điện tích mà hạt dầu nhận thêm được.

Từ (1) và (2) ta rút ra :

$$\frac{U}{d} q_n = k (v_2 - v_1)$$

d và U là những đại lượng có thể đo được, v_2 và v_1 có thể xác định được bằng kính quan sát. Còn k phải xác định bằng những phương pháp riêng xuất phát từ hệ thức $mg = kv$ (ở đây không nói đến). Từ đó ta tìm được q_n .

Trong khoảng thời gian từ 1909 đến 1913, Mi-li-kan và các cộng sự của ông đã đo điện tích của chừng vài nghìn hạt. Ông nhận thấy rằng, không có hạt nào có điện tích nhỏ hơn $1,6 \cdot 10^{-19}$ C và điện tích của các hạt đều bằng một số nguyên lần $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Từ đó ông rút ra kết luận rằng, trong tự nhiên tồn tại điện tích nguyên tố ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C).