

## 23 Chương 23: ĐIỆN TRƯỜNG

Trong chương này, ta sẽ bắt đầu nghiên cứu về thuyết điện từ trường. Mỗi liên kết đầu tiên mà ta có với các kiến thức cũ là khái niệm về lực. Lực điện từ giữa các hạt mang điện là một trong những lực cơ bản của tự nhiên. Ta bắt đầu bằng việc mô tả một số tính chất cơ bản của biểu hiện đầu tiên của lực điện từ là lực tĩnh điện. Sau đó ta sẽ nghiên cứu định luật Coulomb, một định luật chi phối tương tác điện giữa hai điện tích bất kỳ. Từ đây, ta sẽ giới thiệu khái niệm về điện trường, gắn liền với một phân bố điện tích và mô tả ảnh hưởng của nó lên các hạt mang điện khác. Ta sẽ dùng định luật Coulomb để tìm cường độ điện trường của một phân bố điện tích cho trước. Ngoài ra, ta cũng sẽ tìm hiểu chuyển động của một hạt mang điện trong điện trường đều.

Liên hệ thứ hai giữa thuyết điện từ với các nội dung trước đây là khái niệm về *năng lượng*. Nội dung này sẽ được trình bày trong chương 25

### 23.1 Các tính chất của điện tích

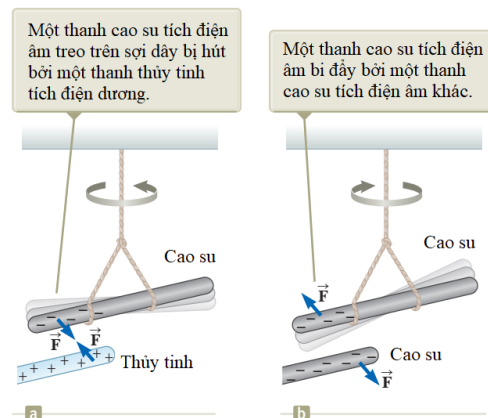
Nhiều thí nghiệm đơn giản đã minh họa cho sự tồn tại của các lực điện. Ví dụ như khi dùng tay cọ xát một quả bóng cao su trong một ngày khô ráo thì ta có thể thấy rằng quả bóng có thể hút các mẩu giấy nhỏ. Lực hút thường là đủ lớn để làm các mẩu giấy treo lơ lửng bên dưới quả bóng.

Khi vật chất hành xử theo cách này, ta nói chúng bị nhiễm điện hay đã tích điện.

Trong một loạt thí nghiệm đơn giản, người ta tìm thấy rằng có hai loại điện tích mà Benjamin Franklin (1706–1790) gọi là điện tích dương và điện tích âm. Các electron được xem là mang điện tích âm và các proton mang điện tích dương. Để kiểm chứng sự tồn tại của hai loại điện tích, giả sử ta cọ xát một thanh cứng bằng cao su vào lông thú rồi treo nó lên trên một sợi dây như trong hình 23.1. Nếu đưa một thanh thủy tinh (đã được cọ xát vào lụa) lại gần thanh cao su thì chúng sẽ hút nhau (hình 23.1a). Mặt khác, nếu để hai thanh cao su (hoặc thủy tinh) đã nhiễm điện lại gần nhau thì chúng sẽ đẩy nhau (hình 23.1b). Trên cơ sở các quan sát này, ta Biện luận rằng các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau và các điện tích trái dấu thì hút nhau.

Theo qui ước của Franklin thì điện tích trên thanh thủy tinh nói trên được gọi là điện tích dương và điện tích trên thanh cao su được gọi là điện tích âm. Vì vậy, vật tích điện nào bị hút vào thanh cao su tích điện (hoặc bị đẩy ra xa thanh thủy tinh tích điện) sẽ phải có điện tích dương.

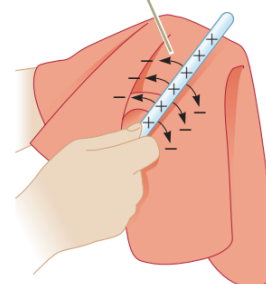
Một khía cạnh quan trọng khác về điện được rút ra từ các quan sát thực nghiệm là trong một hệ cô lập thì **điện tích luôn được bảo toàn**. Nghĩa là khi cọ xát vật này vào vật khác thì điện tích không được sinh ra trong quá trình này. Trạng thái nhiễm điện là do có điện tích



Hình 23.1

chuyển từ vật này sang vật kia. Một vật nhận một lượng điện tích âm thì vật kia nhận một lượng điện tích dương tương ứng. Ví dụ như khi cọ xát thanh thủy tinh vào lụa thì lụa nhận một lượng điện tích âm có độ lớn bằng lượng điện tích dương mà thanh thủy tinh có được. Vận dụng hiểu biết về cấu tạo của nguyên tử thì ta có thể nói rằng trong quá trình này một số electron đã được chuyển từ thanh thủy tinh sang lụa. Tương tự như vậy, khi cọ xát cao su vào lông thú thì electron được chuyển từ lông thú sang cho cao su. Sở dĩ như vậy là do bình thường thì vật chất trung hòa về điện.

Do bảo toàn điện tích nên một electron sẽ bổ sung điện tích âm cho tấm lụa và một lượng điện tích dương tương ứng được để lại trong thanh thủy tinh



Hình 23.2

Vào năm 1909, Robert Millikan (1868–1953) khám phá ra rằng các hạt mang điện luôn luôn xuất hiện như là bội của một đơn vị lượng  $e$ . Theo cách nói hiện đại, điện tích  $q$  (ký hiệu chuẩn dùng cho điện tích) được xem là bị **lượng tử hóa**. Nghĩa là hạt mang điện tồn tại như là các “gói” rời rạc và ta có thể viết  $q = \pm Ne$  với  $N$  là một số nguyên bất kỳ. Một số thí nghiệm khác vào thời gian này đã cho thấy là electron có điện tích  $-e$  và proton có điện tích  $+e$ . Một số hạt khác, neutron chẳng hạn, thì không mang điện.

**Trắc nghiệm nhanh 23.1:** Ba vật được đưa lại gần nhau từng đôi một. Vật A và vật B đẩy nhau. Vật B và vật C cũng đẩy nhau. Phát biểu nào sau đây có thể đúng? (a) Các vật A và C có điện tích cùng dấu. (b) Các vật A và C có điện tích trái dấu. (c) Cả ba vật này mang điện cùng dấu. (d) Một trong ba vật trung hòa về điện. (e) Cần làm thêm một vài thí nghiệm khác để xác định dấu của các điện tích.

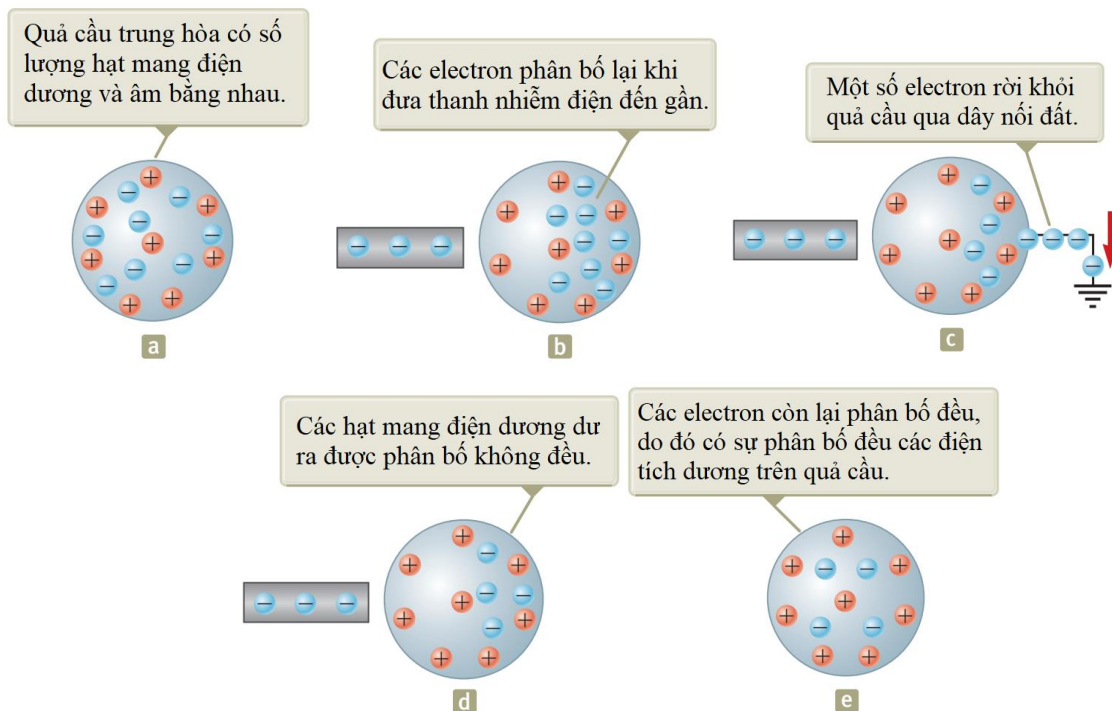
## 23.2 Nhiễm điện do cảm ứng

Việc phân loại vật chất theo khả năng di chuyển của electron trong vật chất là một cách làm thuận tiện.

Khi đó, **chất dẫn điện** là các vật liệu mà electron là electron tự do, không bị liên kết với các nguyên tử và có thể di chuyển tương đối tự do trong vật liệu; **chất cách điện** là các vật liệu mà mọi electron bị liên kết với nguyên tử và không thể di chuyển tự do trong vật liệu. Các vật liệu như thủy tinh, cao su và gỗ khô được xếp vào nhóm chất cách điện. Khi các vật liệu này bị nhiễm điện do cọ xát thì chỉ vùng bị cọ xát bị nhiễm điện và các điện tích không dịch chuyển sang các vùng khác. Ngược lại, các vật liệu như đồng, nhôm và bạc là các vật dẫn điện tốt. Khi một vùng nhỏ của các vật liệu này bị nhiễm điện thì điện tích sẽ tự phân bố trên toàn bộ bề mặt của vật chất.

**Chất bán dẫn** là loại vật chất thứ ba. Tính dẫn điện của nó nằm giữa chất dẫn điện và chất cách điện. Silic (Si) và germani (Ge) là những ví dụ rõ ràng về chất bán dẫn, thường dùng để sản xuất các loại vi mạch (chíp) trong máy tính, điện thoại di động và các hệ thống giải trí tại nhà. Các tính chất điện của chất bán dẫn có thể thay đổi nhiều lần bằng cách thêm vào một lượng nguyên tử của một chất khác.

Để hiểu cách làm nhiễm điện một chất dẫn điện bằng quá trình cảm ứng, ta dùng một quả cầu kim loại rỗng đặt cách điện với mặt đất như hình 23.3. Nếu điện tích của quả cầu đúng bằng 0 thì nó có một số lượng proton và electron như nhau. Khi đưa một thanh cao su nhiễm điện lại gần quả cầu, các electron ở vùng gần thanh nhất sẽ bị đẩy sang phía đối diện của quả cầu. Sự dịch chuyển này để lại một vùng mang điện dương trên quả cầu.



Hình 23.3: Hiện tượng tích điện do cảm ứng.

a: Quả cầu có số điện tích dương và điện tích âm bằng nhau.

b: Một thanh cao su nhiễm điện được đặt gần quả cầu, không tiếp xúc với quả cầu. Các electron trong quả cầu trung hòa điện sẽ được phân bố lại.

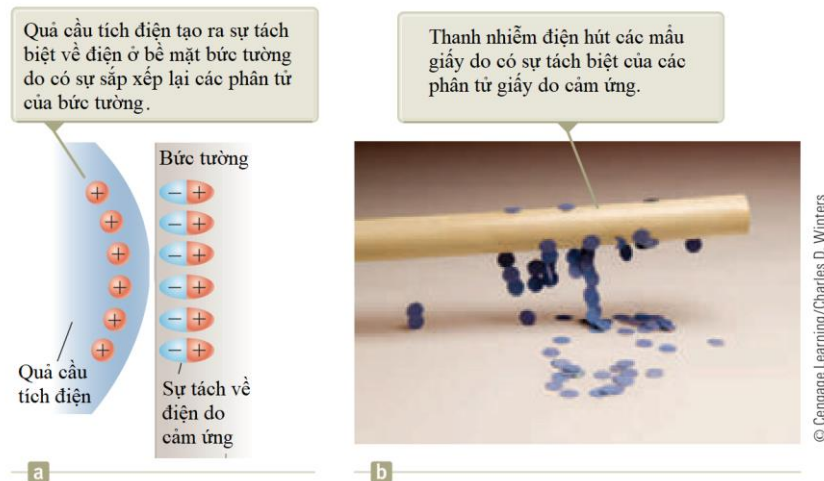
c: Quả cầu được nối với mặt đất. Một số electron có thể rời quả cầu thông qua dây tiếp đất.

d: Bỏ dây tiếp đất. Bây giờ quả cầu sẽ có nhiều điện tích dương hơn. Điện tích không được phân bố đồng đều. Điện tích dương đã bị cảm ứng bởi quả cầu.

e: Bỏ thanh cao su. Các electron tự phân bố lại trên quả cầu. Vẫn có một tập hợp các điện tích dương trên quả cầu. Điện tích bây giờ được phân bố đồng đều trên quả cầu. Chú ý rằng thanh không mất điện tích âm trong quá trình này.

Để làm nhiễm điện một vật dẫn điện bằng cảm ứng không cần phải có sự tiếp xúc với vật cảm ứng. Điều này khác với cách làm nhiễm điện do cọ xát là cách mà cần phải có sự tiếp xúc giữa hai vật.

Một quá trình tương tự với sự cảm ứng có thể xảy ra trong vật cách điện. Trong hầu hết các phân tử trung hòa thì tâm điện âm trùng với tâm điện dương. Khi đến gần một vật mang điện, các tâm này rời xa nhau một khoảng nhỏ và làm xuất hiện điện tích âm ở một phía và điện tích dương ở phía kia. Sự sắp xếp diễn ra bên trong các phân tử này tạo ra một lớp điện tích trên bề mặt của chất cách điện như trong hình 23.4a. Từ đó làm xuất hiện lực hút giữa vật tích điện và vật cách điện. Nhờ đó ta giải thích được tại sao một thanh nhiễm điện lại có thể hút các mẫu giấy trung hòa về điện như trong hình 23.4b.



Hình 23.4

**Trắc nghiệm nhanh 23.2:** Ba vật được đưa lại gần nhau, từng đôi một. Khi vật A và vật B ở gần nhau thì chúng hút nhau. Khi vật B và vật C ở gần nhau thì chúng đẩy nhau. Phát biểu nào sau đây là chắc chắn đúng? a) Vật A và C có điện tích cùng dấu. b) Vật A và C có điện tích trái dấu. c) Cả ba vật đều tích điện cùng dấu. d) Một trong ba vật trung hoà về điện. e) Cần làm thêm một vài thí nghiệm để xác định thông tin về điện tích của các vật.

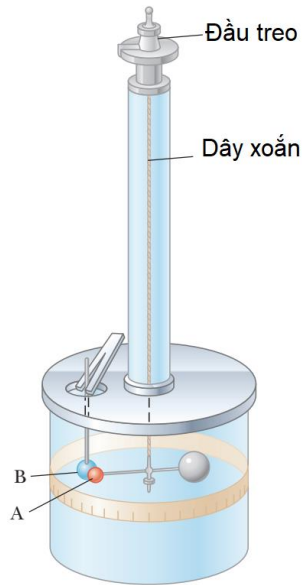
### 23.3 Định luật Coulomb

Charles Coulomb đã đo độ lớn của các lực điện giữa các vật tích điện bằng cân xoắn do ông chế tạo. Nguyên tắc hoạt động của cân xoắn cũng giống như thiết bị do Cavendish dùng để đo khối lượng riêng của Trái đất, trong đó, quả cầu trung hòa về điện được thay bằng một quả cầu tích điện. Lực điện giữa các quả cầu tích điện A và B trong hình 23.5 làm cho chúng hút vào nhau hoặc tách xa nhau ra. Do đó, dây treo bị xoắn lại. Vì lực xoắn của dây tỉ lệ với góc mà thanh treo quay được nên số đo góc này sẽ cho biết độ lớn của lực hút hoặc đẩy giữa các quả cầu. Lực điện có độ lớn lớn hơn nhiều so với lực hấp dẫn giữa chúng, do đó có thể bỏ qua lực hấp dẫn.

Từ các thí nghiệm của Coulomb, ta có thể tổng quát hóa tính chất của lực điện (đôi khi còn được gọi là lực tĩnh điện) giữa hai hạt mang điện đứng yên. Ta sẽ dùng khái niệm điện tích điểm (hạt mang điện có kích thước rất nhỏ, không đáng kể). Hành vi của các electron và proton có thể được mô tả rất tốt khi xem chúng như là các điện tích điểm. Lực tương tác điện giữa hai điện tích điểm được xác định bởi định luật Coulomb:

$$F_e = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (23.1)$$

với  $k_e$  là hằng số Coulomb.  $k_e = 8,9876 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 = 1/(4\pi\epsilon_0)$ ;  $\epsilon_0$  là hằng số điện trong chân không,  $\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$



Hình 23.5: Cân xoắn

Charles Coulomb đã đo cường độ lực điện giữa 2 quả cầu nhỏ tích điện. Lực này tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách  $r$  giữa các điện tích và hướng dọc theo đường nối giữa chúng, tỉ lệ thuận với tích của các điện tích  $q_1$  và  $q_2$ . Các điện tích trái dấu thì hút nhau (lực hút). Các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau (lực đẩy).

Trong SI, đơn vị của điện tích coulomb (C).

Trong tự nhiên giá trị điện tích nhỏ nhất là  $e = 1,60218 \times 10^{-19} \text{ C}$ . Một điện tích có độ lớn là 1 C tương ứng với  $6,2460218 \times 10^{18}$  electron hoặc proton. Các điện tích thường gặp có giá trị khoảng vài  $\mu\text{C}$ .

Electron và proton giống nhau về độ lớn điện tích nhưng khác nhau về khối lượng. Proton và neutron giống nhau về khối lượng nhưng khác nhau về điện tích.

### Bài toán mẫu 23.1:

Trong nguyên tử Hydro, electron và proton cách nhau một khoảng bằng  $5,30 \times 10^{-11} \text{ m}$ . Hãy tìm độ lớn của lực điện và lực hấp dẫn giữa hai hạt này.

### Giải

**Khái niệm hóa:** Hãy nghĩ về hai hạt cách nhau một khoảng rất nhỏ cho trong đề bài. Trong chương 13, ta đã lưu ý rằng lực hấp dẫn giữa một electron và một proton là rất nhỏ so với lực điện. Do đó, ta mong đợi kết quả của bài toán này sẽ chứng tỏ như vậy.

**Phân loại:** Lực điện và lực hấp dẫn được tính từ các định luật phổ quát, nên bài toán này thuộc dạng bài toán thay thế (chỉ cần thay số vào các công thức đã có).

**Lời giải:** Dùng định luật Coulomb để tìm độ lớn của lực điện:



© INTERFOTO/Alamy

Charles Coulomb (1736 – 1806)

Nhà vật lý người Pháp.

Ông có những đóng góp lớn liên quan đến lĩnh vực tĩnh điện và từ tính.

Các lĩnh vực nghiên cứu khác

- Sức bền vật liệu
- Cơ học kết cấu
- Công thái học (Ergonomics)



$$F_e = k_e \frac{|e||-e|}{r^2} = 8,988 \times 10^9 \frac{(1,60 \times 10^{-19})^2}{(5,30 \times 10^{-11})^2} = 3,20 \times 10^{-8} \text{ N}$$

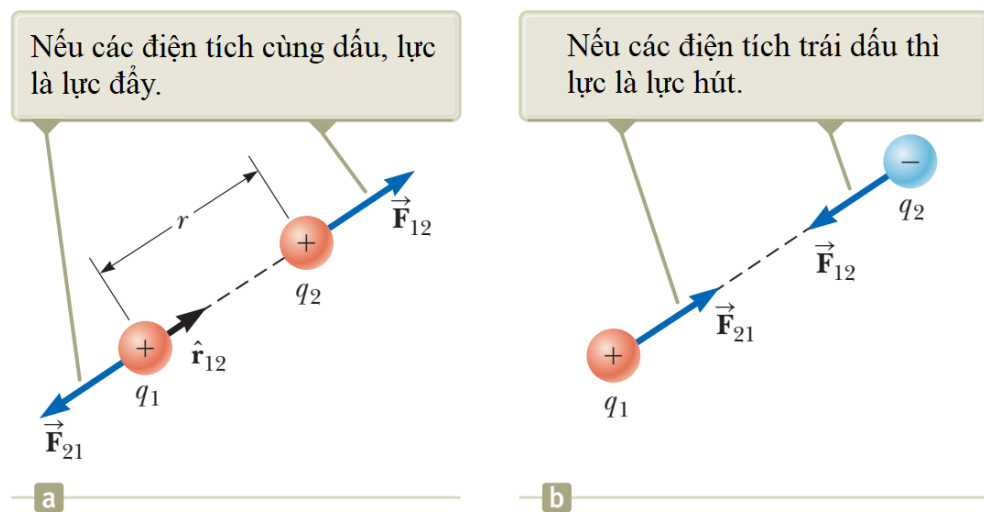
Dùng định luật vạn vật hấp dẫn của Newton:

$$F_e = G \frac{m_e m_p}{r^2} = 6,674 \times 10^{-11} \frac{9,11 \times 10^{-31} \times 1,67 \times 10^{-27}}{(5,30 \times 10^{-11})^2} = 3,60 \times 10^{-47} \text{ N}$$

So sánh 2 kết quả thì ta thấy lực hấp dẫn nhỏ hơn lực điện rất nhiều. Do đó, khi xét tương tác giữa electron và proton trong nguyên tử Hydro, ta thường bỏ qua lực hấp dẫn giữa chúng.

Khi sử dụng định luật Coulomb, cần nhớ rằng lực là một đại lượng vec-tơ và phải xem xét nó một cách phù hợp. Nếu biểu diễn định luật Coulomb dưới dạng vec-tơ, ta sẽ có:

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (23.2)$$



Hình 23.6: Lực điện tác dụng giữa các hạt mang điện

Trong đó:  $\hat{r}_{12}$  là vec-tơ đơn vị, hướng từ điện tích  $q_1$  đến điện tích  $q_2$  như trong hình 23.6.  $\vec{F}_{12}$  là lực điện mà điện tích  $q_1$  tác dụng lên điện tích  $q_2$ , bằng độ lớn của lực  $\vec{F}_{21}$  (do  $q_2$  tác dụng lên điện tích  $q_1$ ).

**Lưu ý về hướng của lực:** Dấu của tích  $q_1 q_2$  sẽ cho biết hướng của lực điện tác dụng giữa  $q_1$  và  $q_2$ . Trong hình 23.6a, hai điện tích là cùng dấu nên lực là lực đẩy, hướng ra phía ngoài hai điện tích. Trong hình 23.6b, hai điện tích trái dấu nên lực là lực hút, hướng vào phía trong 2 điện tích.

Nếu có nhiều hơn 2 điện tích thì lực tác dụng giữa mỗi cặp điện tích được tính bởi (23.2). Lực tổng hợp tác dụng lên một điện tích bất kỳ sẽ bằng tổng vec-tơ của các lực tác

dụng lên điện tích đó từ các điện tích còn lại. Ví dụ, nếu có 4 điện tích thì lực tổng hợp tác dụng lên điện tích thứ nhất sẽ là:

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41}$$

### Trắc nghiệm nhanh 23.3:

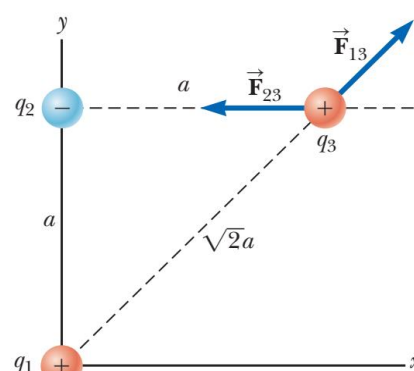
Vật A có điện tích  $12 \mu\text{C}$  và vật B có điện tích  $16 \mu\text{C}$ . Phát biểu nào dưới đây về lực điện tác dụng lên các điện tích này là đúng?

- a)  $\vec{F}_{AB} = -3\vec{F}_{BA}$     b)  $\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$     c)  $3\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$     d)  $\vec{F}_{AB} = 3\vec{F}_{BA}$   
 e)  $\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$     f)  $3\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$

### Bài toán mẫu 23.2:

Xét 3 điện tích điểm nằm ở 3 góc của một tam giác vuông như trong hình 23.7. Biết  $q_1 = q_3 = 5,00 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = -2,00 \mu\text{C}$  và  $a = 0,100 \text{ m}$ . Tìm lực tổng hợp tác dụng lên điện tích  $q_3$ .

**Khái niệm hóa:** Xét điện tích  $q_3$ . Vì nó nằm gần 2 điện tích còn lại nên sẽ chịu tác dụng của hai lực điện. Các lực này tác dụng theo hai hướng khác nhau (hình 23.7). Dựa vào các lực này, ta ước lượng được vec-tơ lực tổng hợp.



Hình 23.7

**Phân loại:** Bài toán này thuộc dạng tính tổng vec-tơ.

**Phân tích:** Lực  $\vec{F}_{23}$  do điện tích  $q_2$  tác dụng lên  $q_3$  là lực hút vì hai điện tích này trái dấu. Lực  $\vec{F}_{13}$  do điện tích  $q_1$  tác dụng lên  $q_3$  là lực đẩy vì hai điện tích này cùng dấu. Ta sẽ tìm lực tổng hợp  $\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$  bằng cách dùng các thành phần tọa độ của các vec-tơ lực theo các trục  $x$  và  $y$ .

Trước tiên, tìm độ lớn của các lực:

$$F_{13} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(\sqrt{2}a)^2} = 8,988 \times 10^9 \frac{(5,00 \times 10^{-6})(5,00 \times 10^{-6})}{(\sqrt{2} \times 0,100)^2} = 11,2 \text{ N}$$

$$F_{23} = k_e \frac{|q_2||q_3|}{a^2} = 8,988 \times 10^9 \frac{(2,00 \times 10^{-6})(5,00 \times 10^{-6})}{0,100^2} = 8,99 \text{ N}$$

Các thành phần tọa độ của lực  $\vec{F}_{13}$

$$F_{13x} = F_{13} \cos(45,0^\circ) = 7,94 \text{ N}; \quad F_{13y} = F_{13} \sin(45,0^\circ) = 7,94 \text{ N}$$

Các thành phần tọa độ của lực  $\vec{F}_{23}$

$$F_{23x} = -F_{23}\cos(180^\circ) = -8,99 \text{ N}.$$

Từ đó tính được các thành phần của lực  $\vec{F}_3$ :

$$F_{3x} = F_{13x} + F_{23x} = 7,94 + (-8,99) = -1,05 \text{ N}$$

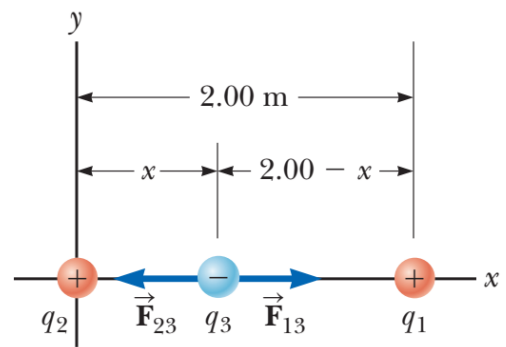
$$F_{3y} = F_{13y} + F_{23y} = 7,94 + 0 = 7,94 \text{ N}.$$

Tức là:  $\vec{F}_3 = (-1,04\hat{i} + 7,94\hat{j}) \text{ N}$

**Biện luận:** Lực tổng hợp tác dụng lên điện tích  $q_3$  hướng chéo lên phía trên, sang trái.

**Bài toán mẫu 23.3:** Ở đâu thì lực tổng hợp bằng không?

Xét 3 điện tích điểm nằm thẳng hàng như trong hình 23.8. Điện tích dương  $q_1 = 15,0 \mu\text{C}$  nằm ở vị trí  $x = 2,00 \text{ m}$ . Điện tích dương  $q_2 = 6,00 \mu\text{C}$  nằm tại gốc tọa độ. Lực tổng hợp tác dụng lên điện tích  $q_3$  bằng 0. Tọa độ  $x$  của  $q_3$  là bao nhiêu?



Hình 23.8

**Khái niệm hóa:**  $q_3$  nằm gần hai điện tích còn lại nên nó chịu lực tác dụng từ các điện tích này. Với cách sắp đặt các điện tích trong đề bài toán thì các lực tác dụng lên  $q_3$  là cùng phương và ngược chiều. Vì  $q_2 < q_1$  nên điện tích  $q_3$  sẽ nằm gần  $q_2$  hơn.

**Phân loại:** Do lực tổng hợp tác dụng lên  $q_3$  bằng 0 nên bài toán này là bài toán chất điểm ở trạng thái cân bằng.

Lực điện tác dụng lên  $q_3$ :

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = k_e \frac{|q_1||q_3|}{(2,00 - x)^2} \hat{i} - k_e \frac{|q_2||q_3|}{x^2} \hat{i} = 0$$

Nên:  $\frac{|q_1|}{(2,00 - x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2}$ . Tức là:  $(2,00 - x)^2 |q_2| = x^2 |q_1|$

Giải phương trình này, tìm được  $x = \frac{2,00\sqrt{6,00 \times 10^{-6}}}{\sqrt{6,00 \times 10^{-6}} + \sqrt{15,0 \times 10^{-6}}} = 0,775 \text{ m}$

**Biện luận:** Về mặt toán học, phương trình nói trên có thể có một nghiệm khác là  $x = -3,44 \text{ m}$  nhưng không phù hợp với bài toán. Ở tọa độ này, hai lực tác dụng lên  $q_3$  cùng chiều nên không thể triệt tiêu lẫn nhau.



### Bài toán mẫu 23.4: Tìm điện tích trên các quả cầu

Hai quả cầu tích điện giống nhau có khối lượng  $3,00 \times 10^{-2}$  kg được treo cân bằng như trong hình 23.9. Chiều dài  $L$  của mỗi sợi dây là 0,150 m và góc  $\theta$  là  $5,00^\circ$ . Tìm độ lớn điện tích của mỗi quả cầu.

**Khái niệm hóa:** Hai quả cầu tác dụng lực đẩy lên nhau. Nếu ban đầu chúng được giữ gần nhau rồi thả ra thì chúng sẽ bị đẩy ra xa nhau và dao động qua lại một lúc rồi đứng yên cân bằng do có lực cản của không khí.

**Phân loại:** Từ khóa “cân bằng” giúp ta hình dung mỗi quả cầu là một hạt ở trạng thái cân bằng.

**Phân tích:** Trong hình 23.9b là sơ đồ lực của quả cầu bên trái. Quả cầu nằm cân bằng dưới tác dụng của căng dây và lực tĩnh điện. Từ sơ đồ lực gồm các thành phần lực căng, lực điện và trọng lực ta có thể tìm được độ lớn  $q$ .

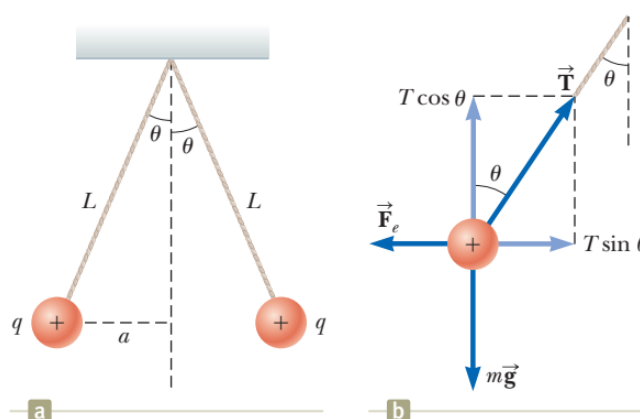
Cho thành phần của lực tổng hợp bằng 0 theo hai trục  $x$  và  $y$ , ta được:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= T \sin \theta - F_e = 0 \rightarrow T \sin \theta = F_e \\ \sum F_y &= T \cos \theta - mg = 0 \rightarrow T \cos \theta = mg \rightarrow F_e = mg \tan \theta\end{aligned}$$

Từ định luật Coulomb:  $F_e = k_e \frac{q^2}{r^2} = k_e \frac{q^2}{(2a)^2}$  ta tìm được độ lớn điện tích  $q$

$$\begin{aligned}q &= \sqrt{\frac{mg \tan \theta}{k_e}} 2a = \sqrt{\frac{mg \tan \theta}{k_e}} 2L \sin \theta = \sqrt{\frac{0,03 \times 9,80 \times \tan 5^\circ}{8,988 \times 10^9}} 2 \times 0,15 \times \sin 5^\circ \\ &= 3,78 \times 10^{-8} \text{ C}\end{aligned}$$

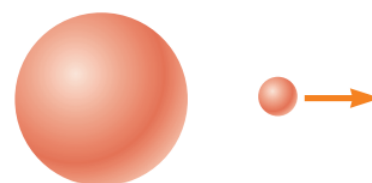
**Biện luận:** Nếu không cho biết dấu của điện tích của các quả cầu thì ta không thể xác định dấu của  $q$ . Trên thực tế, dấu của điện tích là không quan trọng, chỉ cần biết hai quả cầu tích điện cùng dấu.



Hình 23.9: Bài toán cân bằng của quả cầu tích điện

## 23.4 Hạt trong điện trường

Trong trường hợp các lực điện, Faraday đã phát triển khái niệm về trường. Theo hướng tiếp cận này, một điện trường được cho là tồn tại trong vùng không gian xung quanh các vật tích điện, điện tích nguồn. Có thể phát hiện ra sự tồn tại của điện trường bằng cách đặt một điện tích thử vào trong trường đó và xem xét lực điện tác dụng lên nó. Ví dụ, trong hình 23.10 là một điện tích thử dương



Hình 23.10: Điện tích thử đặt gần điện tích nguồn.

khá nhỏ ở gần một vật tích điện thứ 2 (có điện tích lớn hơn nhiều so với điện tích thử). Ta định nghĩa điện trường tạo bởi vật mang điện tại vị trí có điện tích thử như là lực điện tác dụng lên điện tích thử (có độ lớn điện tích là 1 đơn vị) hay cụ thể hơn: vec-tơ điện trường  $\vec{E}$  tại vị trí đặt điện tích thử được định nghĩa là:

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}}{q} \quad (23.3)$$

Vec-tơ  $\vec{E}$  có đơn vị trong SI là N/C. Hướng của  $\vec{E}$  là hướng của lực điện tác dụng lên điện tích thử dương (hình 23.10)

Cần lưu ý rằng  $\vec{E}$  là trường được tạo bởi một số điện tích hoặc phân bố điện *khác với* điện tích thử. Sự tồn tại của điện trường là thuộc tính của nguồn tạo ra nó, không phụ thuộc vào sự tồn tại của điện tích thử. Điện tích thử đóng vai trò như một đầu dò trong điện trường, nếu ở một vị trí nào đó có điện trường thì điện tích thử đặt vào đó sẽ chịu tác dụng bởi một lực điện.

Nếu đặt một điện tích  $q$  bất kỳ vào điện trường thì nó sẽ chịu một lực điện cho bởi:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (23.4)$$

Nếu  $q$  dương, lực điện và điện trường cùng chiều nhau. Nếu  $q$  âm, lực điện và điện trường ngược chiều nhau.

Công thức (23.4) có sự tương tự với công thức của vật trong trường trọng lực  $\vec{F} = m\vec{g}$ . Công thức này được dùng để tìm lực điện tác dụng lên một điện tích bất kỳ tại một vị trí mà ở đó đã biết điện trường.

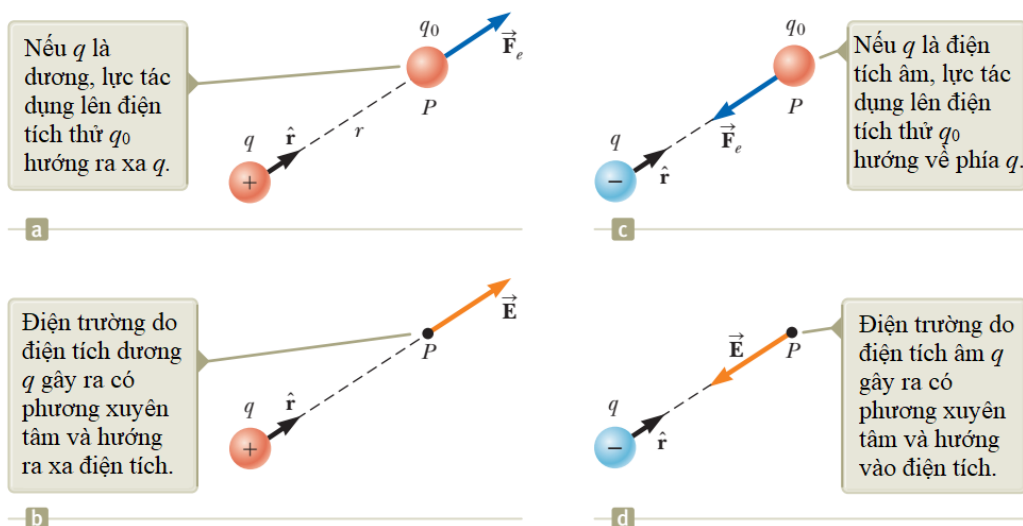
Áp dụng định luật Coulomb ta tìm được lực điện tác dụng bởi điện tích điểm  $q$  lên điện tích thử  $q_0$  đặt gần nó:

$$\vec{F} = k_e \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}$$

Từ đó, điện trường tại điểm đặt điện tích thử  $q_0$  sẽ là:

$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (23.5)$$

Nếu điện tích  $q$  dương, lực hướng ra xa  $q$ . Điện trường hướng ra xa điện tích nguồn dương. Nếu  $q$  âm, lực hướng lại gần  $q$ . Điện trường hướng lại gần điện tích nguồn âm.



Hình 23.11: Lực điện và điện trường do các điện tích khác nhau tạo ra

Để tính điện trường tại một điểm  $P$  do một số hữu hạn điện tích điểm gây ra thì ta lần lượt áp dụng công thức (23.5) cho mỗi điện tích điểm  $q_i$  rồi lấy tổng vec-tơ các điện trường thành phần này:

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (23.6)$$

#### Trắc nghiệm nhanh 23.4:

Một điện tích  $+3 \mu\text{C}$  được đặt tại điểm  $P$  thì nó chịu tác dụng bởi một lực điện từ bên ngoài, hướng sang phải và có độ lớn  $4 \times 10^6 \text{ N/C}$ . Nếu thay điện tích này bằng một điện tích  $-3 \mu\text{C}$  thì lực điện tác dụng lên điện tích này sẽ thế nào? (a) Không bị ảnh hưởng gì; (b) Đảo hướng; (c) Lực bị thay đổi theo một cách không thể xác định được.

**Bài toán mẫu 23.5:** Một giọt nước nhỏ có khối lượng  $3,00 \times 10^{-12} \text{ kg}$  nằm gần mặt đất, trong không khí vào một ngày mưa bão. Một điện trường trong khí quyển có hướng thẳng đứng từ trên xuống và có độ lớn là  $6,00 \times 10^3 \text{ N/C}$  trong vùng có giọt nước. Giọt nước nằm lơ lửng trong không khí. Hỏi điện tích của giọt nước là bao nhiêu?

**Khái niệm hóa:** Hình ảnh một giọt nước nằm lơ lửng trong không khí là không bình thường. Vậy phải có cái gì đó kéo giọt nước lên để nó không rơi xuống.

**Phân loại:** Bài toán này thuộc dạng bài toán cân bằng của hạt trong điện trường và trong trường hấp dẫn.

**Phân tích:** Từ điều kiện cân bằng của giọt nước ta có lực điện tác dụng vào giọt nước cùng phương, ngược chiều với trọng lực tác dụng lên nó:  $F_e = mg$ . Từ đó, ta tìm được độ lớn của điện tích là:  $q = \frac{mg}{E}$ . Do điện trường hướng thẳng đứng xuống dưới và lực điện hướng lên trên nên điện tích của giọt nước là âm.

**Đáp số:**  $q = -4,90 \times 10^{-15} \text{ C}$

**Bài toán mẫu 23.6:** Điện trường do hai hạt mang điện tạo ra

Hai điện tích  $q_1$  và  $q_2$  được đặt trên trục  $x$  và lần lượt cách trục một khoảng là  $a$  và  $b$ . (A) Tìm các thành phần của điện trường tổng hợp tại điểm  $P$  nằm tại vị trí  $(0, y)$ .

(B) Xét trường hợp đặc biệt khi các điện tích này cùng độ lớn và  $a = b$ .

(C) Xét trường hợp  $P$  nằm rất xa gốc tọa độ, tức là  $y \gg a$ .

Giải:

**Khái niệm hóa:** Trong bài toán này, điện trường tổng hợp do hai điện tích điểm tạo ra ở  $P$  là tổng vec-tơ của điện trường do mỗi điện tích tạo ra.

**Phân loại:** Đây là bài toán mà ta sử dụng công thức (23.6) để giải.

**Phân tích:**

a) Điện trường do  $q_1$  và  $q_2$  gây ra tại  $P$  được chỉ ra trong hình 23.12. Độ lớn của chúng lần lượt là:

$$E_1 = k_e \frac{|q_1|}{r_1^2} = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2}; \quad E_2 = k_e \frac{|q_2|}{r_2^2} = k_e \frac{|q_2|}{b^2 + x^2}$$

Biểu diễn các điện trường này dưới dạng vec-tơ:

$$\vec{E}_1 = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \cos \Phi \hat{\mathbf{i}} + k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \sin \Phi \hat{\mathbf{j}};$$

$$\vec{E}_2 = k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \cos \theta \hat{\mathbf{i}} - k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \sin \theta \hat{\mathbf{j}}$$

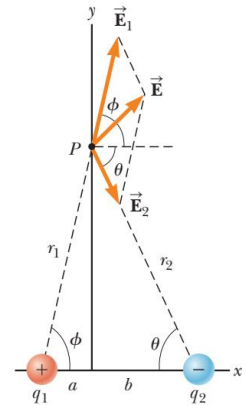
Từ đó tìm được các thành phần của điện trường tổng hợp:

$$E_x = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \cos \Phi + k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \cos \theta$$

$$E_y = k_e \frac{|q_1|}{a^2 + y^2} \sin \Phi - k_e \frac{|q_2|}{b^2 + y^2} \sin \theta$$

b) Trong trường hợp hai điện tích bằng nhau về độ lớn và  $a = b$  thì các kết quả trên sẽ trở thành:

$$E_x = k_e \frac{2|q|}{a^2 + y^2} \cos \theta = k_e \frac{2a|q|}{(a^2 + y^2)^{3/2}} \quad \text{và} \quad E_y = 0$$



Hình 23.12

c) Nếu  $y \gg a$  thì kết quả trên sẽ là:  $E_x \approx k_e \frac{2a|q|}{y^3}$

### 23.5 Điện trường gây ra bởi phân bố điện tích liên tục

Công thức (23.6) được sử dụng trong trường hợp có một hệ gồm các điện tích riêng biệt. Nó sẽ không áp dụng được nếu ta có một phân bố điện tích liên tục (hay một vật tích điện bất kỳ) như ở hình 23.13: Điện trường gây ra bởi phân bố điện tích liên tục: trên một sợi dây (một đường), một mặt, hoặc một khối. Giả sử có một phân bố điện tích như hình bên cạnh.

Ta có thể áp dụng công thức (23.6) bằng cách chia nhỏ phân bố này thành các điện tích  $\Delta q_i$  nhỏ. Ta có:

$\vec{E} \approx k_e \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$  trong đó chỉ số  $i$  được dùng để chỉ phần tử thứ  $i$  trong phân bố. Do số phần tử sẽ rất lớn và phân bố điện tích là liên tục nên giới hạn của điện trường khi  $\Delta q_i \rightarrow 0$  sẽ là

$$\vec{E} = k_e \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (23.7)$$

trong đó tích phân được lấy trên toàn bộ phân bố điện. Tích phân này là một phép toán vec-tơ nên phải có cách tính phù hợp. Ta phải tính theo các thành phần tọa độ của hệ trục tọa độ không gian tương ứng với phân bố điện.

Các phân bố điện thường gặp là phân bố theo một đường, phân bố theo mặt và phân bố theo khối. Để thuận tiện trong tính toán, ta thường sử dụng khái niệm *mật độ điện tích*. Giả sử điện tích được *phân bố đều (đồng nhất)* thì:

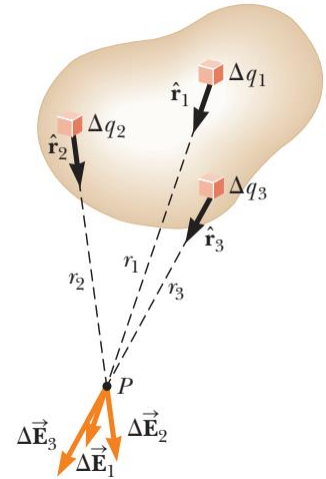
- Đối với phân bố theo khối:  $\rho \equiv \frac{Q}{V}$ ; tỉ số giữa tổng điện tích và thể tích của vật.  
Đơn vị của  $\rho$  là C/m<sup>3</sup>.
- Đối với phân bố theo mặt:  $\sigma \equiv \frac{Q}{A}$ ; tỉ số giữa tổng điện tích và diện tích của vật.  
Đơn vị của  $\sigma$  là C/m<sup>2</sup>.
- Đối với phân bố theo đường:  $\lambda \equiv \frac{Q}{\ell}$ ; tỉ số giữa tổng điện tích và độ dài của vật.  
Đơn vị của  $\lambda$  là C/m.

Nếu phân bố điện không đều (đồng nhất) thì điện lượng của một vi phân thể tích, diện tích và độ dài sẽ lần lượt là:

$$dq = \rho dV$$

$$dq = \sigma dA$$

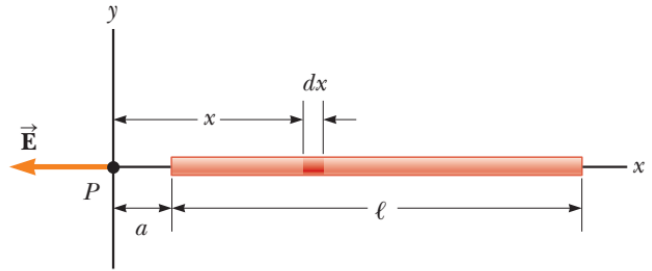
$$dq = \lambda d\ell$$



Hình 23.13

### Bài toán mẫu 23.7

Một thanh dài  $\ell$  tích điện đều với mật độ điện tích  $\lambda$  và điện tích toàn phần là  $Q$ . Hãy tính điện trường tại một điểm  $P$  nằm trên trục của thanh và cách một đầu thanh một khoảng  $a$ . (Hình 23.14)



Hình 23.14

**Giải:**

**Khái niệm hóa:** Điện trường  $d\vec{E}$  do mỗi phần tử mang điện trên thanh tạo ra tại điểm  $P$  sẽ hướng theo chiều âm của trục  $x$  do thanh tích điện dương. Trong kết quả mong đợi, điện trường sẽ bé đi nếu khoảng cách  $a$  lớn lên (tức là  $P$  càng xa thanh).

**Phân loại:** Vì thanh là liên tục nên ta sẽ đánh giá điện trường như là một phân bố điện tích liên tục hơn là một nhóm các điện tích riêng biệt. Vì mọi đoạn nhỏ của dây đều gây ra điện trường hướng theo chiều âm của trục  $x$  nên có thể tính điện trường tổng hợp mà không cần phải làm phép cộng vec-tơ.

**Phân tích:** Giả sử thanh nằm dọc theo trục  $x$  và  $dx$  là một đoạn nhỏ ứng với điện tích  $dq$ . Do thanh có mật độ điện tích  $\lambda$  nên điện tích  $dq = \lambda dx$ .

Độ lớn điện trường do  $dq$  gây ra tại  $P$  là:  $dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \frac{\lambda dx}{x^2}$

Điện trường tổng hợp được tính bởi công thức (23.7):  $E = k_e \int_a^{a+\ell} \frac{\lambda dx}{x^2}$

Chú ý rằng  $k_e$  và  $\lambda = Q/\ell$  là hằng số, ta tìm được:

$$E = k_e \lambda \int_a^{a+\ell} \frac{\lambda dx}{x^2} = k_e \lambda \left[ -\frac{1}{x} \right]_a^{a+\ell} = \frac{k_e Q}{a(a+\ell)}$$

**Biện luận:** Ta thấy rằng dự đoán của ta là đúng, khi  $a$  tăng lên mẫu số của kết quả tăng lên làm cho điện trường  $E$  giảm đi. Nếu  $a \rightarrow 0$  (tức là ta dời thanh về phía gốc tọa độ  $O$ ) thì  $E \rightarrow \infty$ .

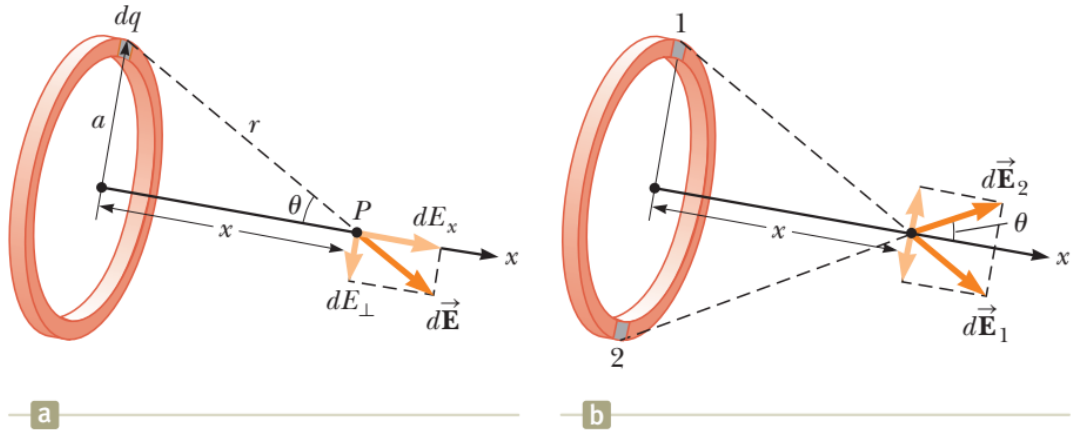
### Bài toán mẫu 23.8

Một cái vòng có bán kính  $a$  tích điện đều  $Q$ . Hãy tính điện trường tại một điểm  $P$  nằm trên trục của vòng và cách tâm vòng một khoảng  $x$ . (Hình 23.15a).

**Giải:**



**Khái niệm hóa:** Hình 23.15a cho thấy điện trường  $d\vec{E}$  do một đoạn dây nằm ở đỉnh của vòng tạo ra tại  $P$ . Có thể phân tích vec-tơ này thành thành phần  $dE_x$  song song với trục của vòng và  $dE_{\perp}$  vuông góc với trục này. Hình 23.14b cho thấy điện trường tạo ra bởi 2 đoạn dây đối xứng nhau. Do tính đối xứng của vòng dây, thành phần vuông góc với trục của các điện trường sẽ bị triệt tiêu lẫn nhau. Vì vậy, ta chỉ cần tìm thành phần dọc theo trục  $x$  của điện trường.



Hình 23.15: Tìm điện trường do một vòng dây sinh ra

**Phân loại:** Vì vòng dây là một vật liên tục nên đây là bài toán tìm điện trường của một phân bố điện liên tục. Phân bố điện ở đây là phân bố theo một đường cong.

**Phân tích:** Tìm thành phần song song với trục của vòng của điện trường tạo bởi đoạn  $dq$  của vòng:

$$dE_x = k_e \frac{dq}{r^2} \cos \theta = k_e \frac{dq}{a^2 + x^2} \cos \theta.$$

Từ hình 23.14a, ta có:  $\cos \theta = \frac{x}{r} = \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}}$  nên

$$dE_x = k_e \frac{dq}{a^2 + x^2} \frac{x}{\sqrt{a^2 + x^2}} = k_e \frac{x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} dq.$$

Mọi đoạn nhỏ có cùng độ dài trên vòng đều tạo ra tại  $P$  một điện trường có độ lớn tương tự như vậy nên điện trường tổng hợp tại  $P$  là:

$$E = \int \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} dq = \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \int dq = \frac{k_e x}{(a^2 + x^2)^{3/2}} Q$$

**Biện luận:** Kết quả tìm được cho thấy điện trường bằng 0 tại vị trí  $x = 0$ . Điều đó có phù hợp với tính đối xứng trong bài toán hay không? Ngoài ra, biểu thức cuối của  $E$  sẽ dẫn đến kết quả  $k_e Q/x^2$  nếu  $x \gg a$ . Tức là vòng dây có tác dụng như là một điện tích điểm đối với các vị trí nằm rất xa nó.

### Chiến lược giải toán

**1. Khái niệm hóa:** Thiết lập một hình ảnh trong đầu về bài toán: suy nghĩ về các điện tích riêng biệt hoặc một phân bố điện và tưởng tượng về dạng điện trường mà chúng có thể tạo ra. Xem xét tính đối xứng của các hệ điện tích để hình dung về điện trường.

**2. Phân loại:** Bài toán đề cập đến hệ điện tích điểm rời rạc hay một phân bố điện liên tục? Tìm được câu trả lời cho câu hỏi này thì ta sẽ biết cách làm tiếp theo trong phần phân tích.

### 3. Phân tích

(a) Nếu là một nhóm các điện tích riêng lẻ: Sử dụng nguyên lý chồng chất, tìm các điện trường do những điện tích riêng gây ra tại điểm khảo sát, rồi cộng chúng lại như các vec-tơ để tìm ra điện trường tổng hợp. Chú ý số lượng các vec-tơ.

(b) Nếu là một phân bố điện tích liên tục: Tổng vec-tơ để đánh giá điện trường tổng hợp tại một điểm phải được thay thế bằng tích phân vec-tơ. Chia phân bố điện tích thành nhiều phần tử nhỏ, tính vec-tơ tổng bằng cách lấy tích phân trên toàn bộ miền phân bố điện tích đó.

Lưu ý về tính đối xứng của hệ điện tích để đơn giản hóa tính toán. Sự khử của các thành phần điện trường trong bài toán mẫu 23.8 là một minh họa cho việc áp dụng tính đối xứng.

### 4. Biện luận

- Kiểm tra xem biểu thức của điện trường có phù hợp với hình dung ban đầu hay không và có phản ánh tính đối xứng mà ta đã lưu ý trước đó không.

- Hình dung sự thay đổi các thông số để xem kết quả tính toán có thay đổi một cách hợp lý hay không.

**Bài toán mẫu 23.9:** Điện trường của một đĩa tròn tích điện đều

Một đĩa tròn bán kính  $R$  với mật độ điện tích  $s$ . Hãy tính điện trường tại một điểm  $P$  nằm trên trục của đĩa và cách tâm đĩa một khoảng  $x$  (hình 23.16).

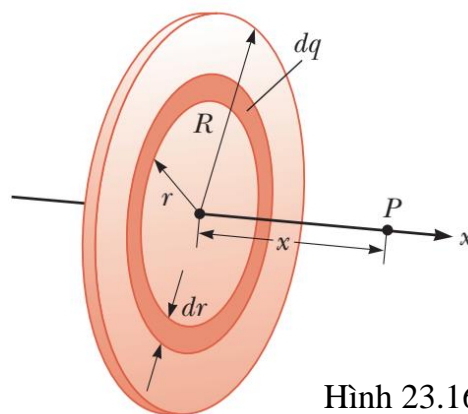
**Giải:**

**Khái niệm hóa:** Nếu xem đĩa như là một tập hợp các vòng tròn xếp kế nhau thì ta có thể sử dụng kết quả của bài toán mẫu 23.8 – điện trường do một vòng tròn bán kính  $a$  tạo ra – và tính tổng đối với tất cả các vòng tạo nên đĩa.

**Phân loại:** Vì đĩa là một vật liên tục nên ta phải tìm điện trường đối với một phân bố liên tục.

**Phân tích:** Trước tiên, cần tìm điện tích  $dq$  của một phần diện tích có dạng một vành tròn có bán kính trong là  $r$  và bề rộng  $dr$  như trong hình 23.16:

$$dq = \sigma dA = \sigma (2\pi r dr) = 2\pi \sigma r dr.$$



Hình 23.16

Dùng kết quả của bài toán 23.8; thành phần theo trục  $x$  của điện trường do vành này tạo ra tại  $P$  là:

$$dE_x = \frac{k_e x}{(r^2 + x^2)^{3/2}} (2\pi \sigma r dr)$$

Để tìm điện trường của toàn bộ đĩa, ta lấy tích phân biểu thức trên trong khoảng từ  $r = 0$  đến  $r = R$ :

$$\begin{aligned} E_x &= k_e x \pi \sigma \int_0^R \frac{2r dr}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = k_e x \pi \sigma \int_0^R \frac{d(r^2)}{(r^2 + x^2)^{3/2}} = k_e x \pi \sigma \left[ \frac{(r^2 + x^2)^{-1/2}}{-1/2} \right]_0^R \\ &= 2k_e \pi \sigma \left[ 1 - \frac{x}{(R^2 + x^2)^{1/2}} \right] \end{aligned}$$

**Biện luận:** Kết quả này là đúng với mọi giá trị  $x > 0$ . Với các giá trị lớn của  $x$  thì có thể đánh giá kết quả bằng một loạt cách mở rộng bài toán và lúc đó có thể xem đĩa như là một điện tích điểm. Nếu xét các điểm rất gần đĩa tròn ( $x \ll R$ ) thì biểu thức của  $E_x$  sẽ trở thành

$$E_x = 2k_e \pi \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Với  $\epsilon_0$  là hằng số điện môi trong chân không.

**Câu hỏi mở rộng:** Điều gì sẽ xảy ra nếu ta cho bán kính của đĩa tăng đến mức có thể xem đĩa là một mặt phẳng tích điện vô hạn?

**Trả lời:** Khi cho  $R \rightarrow \infty$  thì biểu thức của điện trường cũng trở thành biểu thức nêu trên. Tức là điện trường do một mặt phẳng tích điện tạo ra tại một điểm trong không gian sẽ có phương vuông góc với mặt phẳng và có độ lớn là:  $E = \sigma / 2\epsilon_0$ .

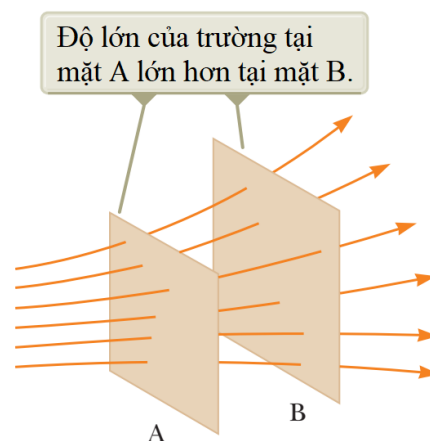
## 23.6 ĐƯỜNG SỨC ĐIỆN TRƯỜNG

Trong các phần trước ta đã định nghĩa điện trường bằng biểu diễn toán học với phương trình (23.3). Bây giờ ta sẽ tìm cách trực quan hóa điện trường bởi một biểu diễn bằng hình ảnh. Một cách thuận tiện để trực quan hóa các mẫu điện trường là vẽ các đường gọi là đường sức điện trường (được Faraday giới thiệu đầu tiên). Đường sức điện trường có một số tính chất sau:

+ Vec-tơ điện trường tiếp tuyến với đường sức điện trường tại mỗi điểm. Hướng của đường sức cùng hướng với vec-tơ điện trường.

+ Số đường sức đi qua một đơn vị diện tích bề mặt vuông góc với các đường sức tỉ lệ thuận với độ lớn của điện trường trong khu vực đó. Nếu các đường sức nằm sát nhau thì ở đó điện trường mạnh, nếu các đường sức nằm xa nhau thì điện trường ở đó yếu.

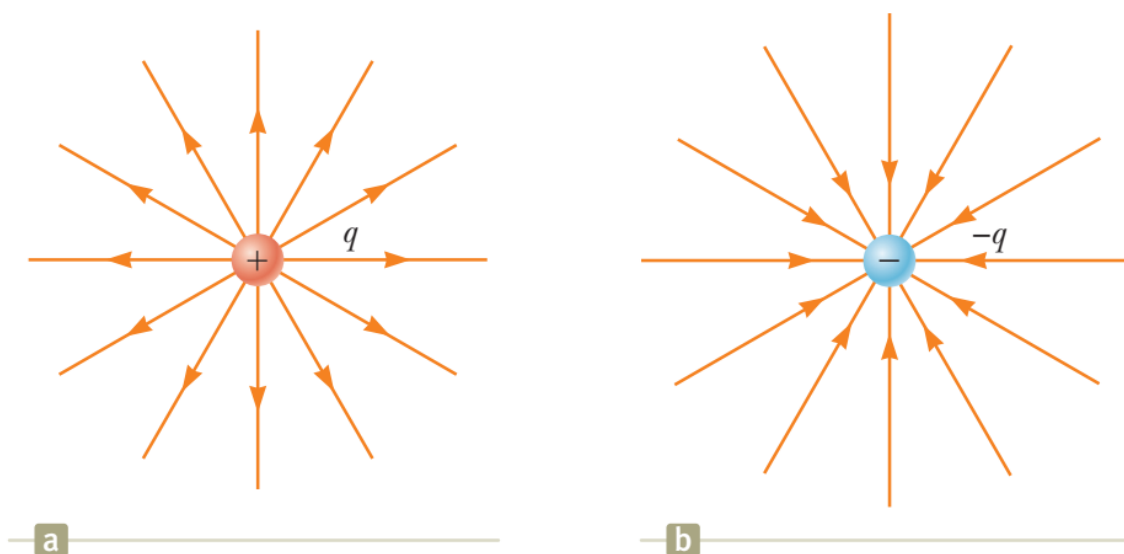
Các tính chất này được thể hiện trên hình 23.17. Mật độ của các đường sức đi qua mặt A lớn hơn mật độ của các đường sức đi qua mặt B. Do đó, điện trường ở mặt A lớn hơn ở mặt B. Ngoài ra, vì các đường sức ở các vị trí khác nhau có hướng khác nhau nên điện trường này là không đều.



Hình 23.17

Ta có thể kiểm chứng được rằng mối quan hệ giữa cường độ điện trường với mật độ của đường sức là phù hợp với công thức (23.5) (công thức tìm điện trường từ định luật Coulomb).

Hình 23.18 cho thấy các đường sức biểu diễn cho điện trường của điện tích điểm trong không gian 2 chiều. Các đường sức này là các đường xuyên tâm, xuất phát từ điện tích điểm. Nếu điện tích là dương thì các đường sức hướng ra xa điện tích. Nếu điện tích là âm thì các đường sức hướng ra xa điện tích. Trong cả hai trường hợp, đường sức là dài vô hạn.



Hình 23.18

Dưới đây là một số qui tắc để vẽ đường sức:

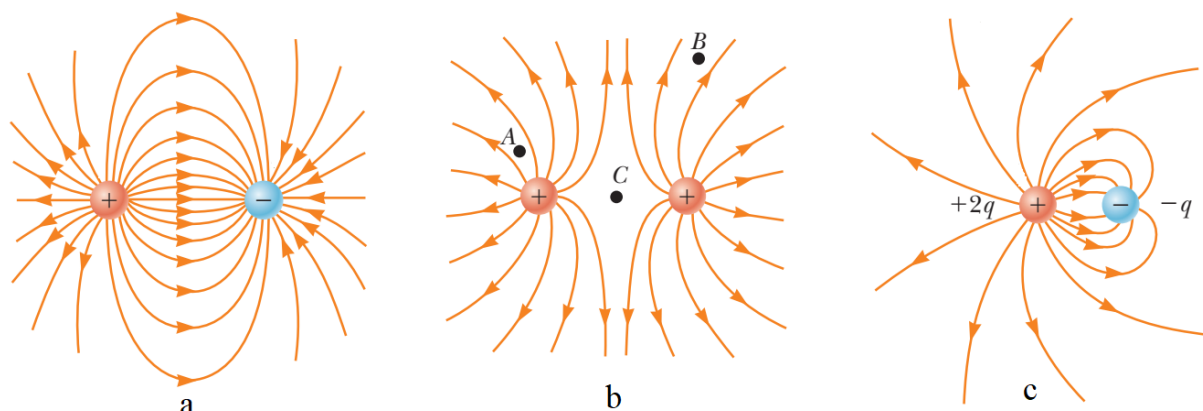
+ Đường sức phải xuất phát từ điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm. Trong trường hợp số điện tích âm và dương khác nhau thì một số đường có thể xuất phát hoặc kết thúc ở rất xa.

+ Số đường sức đi vào hoặc ra khỏi một điện tích tỉ lệ với độ lớn của điện tích đó.

+ Các đường sức không được cắt nhau.

Hình 23.19 cho thấy các đường sức đối với hệ hai điện tích điểm cùng độ lớn nhưng trái dấu (a); hai điện tích điểm dương, cùng độ lớn (b) và hệ gồm hai điện tích  $2q$  và  $-q$

(c). Hệ gồm hai điện tích điểm cùng độ lớn nhưng trái dấu được gọi là một lưỡng cực điện.



Hình 23.19: Đường sức điện trường của các hệ điện tích điểm khác nhau

Trắc nghiệm nhanh 23.5: Trong hình 23.19, hãy xếp hạng độ lớn điện trường tại các điểm  $A$ ,  $B$  và  $C$  theo thứ tự giảm dần.

### 23.7 Chuyển động của hạt mang điện trong điện trường đều

Khi một hạt mang điện được đặt trong một điện trường, nó sẽ chịu một lực điện. Nếu đây là lực duy nhất đặt trên hạt mang điện thì nó chính là lực tổng hợp. Lực này sẽ gây ra gia tốc cho hạt theo định luật II Newton. Do đó

$$\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}, \text{ tức là:}$$

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \quad (23.8)$$

Nếu điện trường là đều (có độ lớn và hướng không đổi) và hạt chuyển động tự do thì lực tác dụng lên hạt là không đổi. Ta có thể áp dụng mô hình hạt chuyển động với gia tốc không đổi đối với chuyển động của hạt mang điện. Nghĩa là trong trường hợp này, có thể dùng 3 mô hình cho chuyển động của hạt trong điện trường đều: hạt chuyển động trong một trường lực, hạt chuyển động dưới tác dụng của lực tổng hợp và hạt chuyển động với gia tốc không đổi.

Nếu hạt mang điện tích dương, gia tốc của nó hướng theo điện trường. Nếu hạt mang điện tích âm, gia tốc của nó ngược chiều với điện trường.

#### Bài toán mẫu 23.10: Electron trong điện trường đều

Một điện trường đều  $\vec{E}$  giữa hai bản tích điện đặt song song cách nhau một khoảng  $d$  có hướng dọc theo trục  $x$  như trong hình 23.20. Một hạt mang điện dương  $q$  và có khối lượng  $m$  được thả không vận tốc đầu tại điểm  $A$  gần bản dương và chuyển động nhanh dần về điểm  $B$  gần bản âm.

A) Hãy tìm tốc độ của hạt tại  $B$  bằng cách xem hạt mang điện như là một hạt chuyển động với gia tốc không đổi.

**Giải:**

**Khái niệm hóa:** Khi hạt mang điện dương ở tại điểm A, nó chịu tác dụng của lực điện hướng sang phải (cùng chiều với điện trường). Kết quả là nó sẽ chuyển động nhanh dần về B.

**Phân loại:** Có thể mô hình hóa chuyển động của hạt như là hạt chuyển động với gia tốc không đổi.

**Phân tích:** Dùng phương trình của hạt chuyển động với gia tốc không đổi thể hiện quan hệ giữa tốc độ, gia tốc và vị trí của hạt:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i) = 2ad$$

Ta tìm được

$$v_f = \sqrt{2ad} = \sqrt{2 \frac{qE}{m} d} = \sqrt{\frac{2qEd}{m}}$$

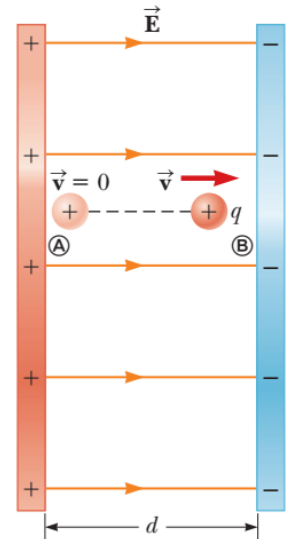
B) Tìm tốc độ của hạt mang điện tại B bằng cách xem hạt như là một hệ không cô lập theo phương pháp năng lượng

**Phân loại:** Phát biểu của bài toán cho ta biết rằng hạt mang điện là một hệ *không cô lập về năng lượng*. Lực điện sẽ thực hiện công lên hệ. Năng lượng được truyền vào hệ bởi công do lực điện tác dụng lên hạt. Cấu hình ban đầu của hệ là khi hạt ở trạng thái đứng yên tại A và cấu hình cuối của hệ là khi hạt có tốc độ nào đó tại B.

**Phân tích:** Viết phương trình của định lý công – động năng:  $W = \Delta K$

Thay biểu thức của công và động năng ứng với các vị trí A và B:

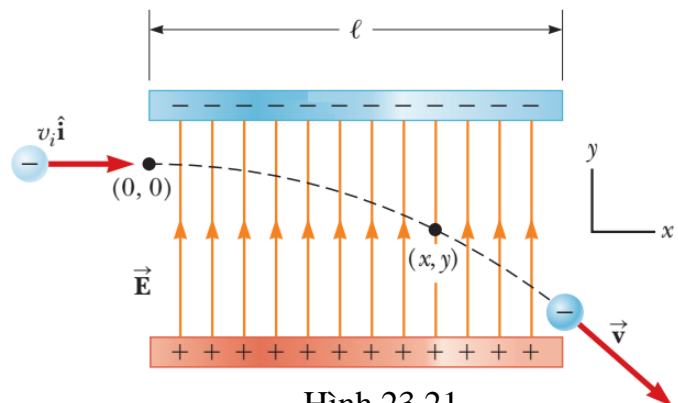
$$F_e d = \frac{1}{2} m v_f^2. \text{ Từ đó tìm ra kết quả đã có ở phần A).}$$



Hình 23.20

### Bài toán mẫu 23.11: Một electron được tăng tốc

Một electron đi vào một vùng có điện trường đều như trong hình 23.21. Tốc độ của electron khi vào điện trường là  $v_i = 3,00 \times 10^6$  m/s. Điện trường  $E = 200$  N/C. Độ dài theo phương ngang của bản là  $\ell = 0,001$  m.



Hình 23.21

A) Tìm gia tốc của electron khi nó chuyển động trong điện trường



**Giải:**

**Khái niệm hóa:** Vận tốc ban đầu của electron vuông góc với điện trường. Quỹ đạo của electron trong điện trường là một phần của đường cong như trong hình 23.21. Chuyển động của electron giống với chuyển động của một vật được ném ngang trong trường trọng lực ở gần mặt đất.

**Phân loại:** Electron là một hạt trong điện trường. Do điện trường là đều nên lực điện tác dụng lên electron là không đổi. Để tìm gia tốc của electron, ta có thể mô hình hóa nó như là hạt chuyển động dưới tác dụng của lực tổng hợp.

**Phân tích:** Do lực điện thẳng đứng từ trên xuống nên gia tốc của electron chỉ có thành phần thẳng đứng.

Áp dụng bài toán vật chuyển động dưới tác dụng của tổng hợp lực, bỏ qua trọng

lực của electron:  $a_y = -\frac{eE}{m_e};$

thay số từ đề bài ta có:  $a_y = -\frac{(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(200 \text{ N/C})}{1,6 \times 10^{-31} \text{ kg}} = -3,51 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$

B) Giả sử electron đi vào điện trường vào lúc  $t = 0$ ; hãy tìm thời điểm electron đi ra khỏi điện trường.

**Giải:**

**Phân loại:** Do lực điện tác dụng lên electron là không đổi và thẳng đứng nên theo trục  $x$  thì electron chuyển động với vận tốc không đổi.

**Phân tích:** Dùng phương trình xác định vị trí của vật chuyển động với vận tốc không đổi tại thời điểm  $t$  bất kỳ:  $x_f = x_i + v_x t$  ta tìm được thời điểm electron rời

khỏi vùng có điện trường:  $t = \frac{x_f - x_i}{v_x} = \frac{\ell - 0}{v_x}$ . Thay số, ta tìm được:

$t = 3,33 \times 10^{-8} \text{ s}.$

C) Giả sử vị trí electron đi vào điện trường có tọa độ  $y_i = 0$ ; hãy tìm vị trí electron đi ra khỏi điện trường.

**Phân loại:** Do lực điện tác dụng lên electron là không đổi và thẳng đứng nên theo trục  $y$  thì electron chuyển động với gia tốc không đổi.

**Phân tích:** Dùng phương trình xác định vị trí của vật chuyển động với gia tốc không đổi tại thời điểm  $t$  bất kỳ:  $y_f = y_i + v_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2$  ta tìm tọa độ  $y_f$  của electron

$y_f = 0 + 0 + \frac{1}{2}(-3,51 \times 10^{13} \text{ m/s}^2)(3,33 \times 10^{-8} \text{ s}) = -1,95 \text{ cm}$

**Biện luận:** Nếu electron vào điện trường sát với phía dưới của bản tích điện âm và khoảng cách giữa hai bản nhỏ hơn giá trị tính được ở câu C) thì electron bị va vào bản dương.

Lưu ý rằng ta đã dùng 4 mô hình để giải bài toán và bỏ qua trọng lực tác dụng lên electron. Với độ lớn điện trường đã cho thì tỉ số giữa độ lớn lực điện và trọng lực vào cỡ  $10^{12}$ , còn đối với proton thì vào cỡ  $10^9$ .

## Tóm tắt chương 23

### Định nghĩa:

Điện trường  $\vec{E}$  tại một điểm trong không gian được nghĩa là tỉ số của lực điện  $\vec{F}_e$  tác dụng lên điện tích thử dương, nhỏ với điện tích  $q_0$  của điện tích thử.

$$\vec{E} \equiv \frac{\vec{F}_e}{q_0}$$

### Khái niệm và nguyên lý:

**Điện tích** có các tính chất quan trọng sau:

- + Các điện tích trái dấu thì hút nhau, các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau.
- + Tổng điện tích của một hệ kín là bảo toàn.
- + Điện tích bị lượng tử hóa.

**Vật dẫn** là các vật liệu có các electron có thể chuyển động tự do trong nó. **Vật cách điện** là vật liệu mà trong đó các electron không chuyển động tự do.

**Định luật Coulomb** phát biểu rằng lực điện tác dụng giữa hai điện tích điểm trong không gian cho bởi:

$$\vec{F}_{12} = k_e \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (23.2)$$

Trong đó,  $\hat{r}_{12}$  là vec-tơ đơn vị hướng từ  $q_1$  đến  $q_2$ ;  $k_e$  là **hằng số Coulomb**:  $k_e = 8,9876 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$

Tại một điểm khoảng cách  $r$  so với điện tích điểm  $q$ , điện trường tạo bởi điện tích này là:

$$\vec{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{r} \quad (23.5)$$

Trong đó  $\hat{r}$  là vec-tơ đơn vị hướng từ điện tích đến điểm xét. Với điện tích điểm thì điện trường có phương xuyên tâm (đi qua điện tích điểm); hướng ra xa điện tích điểm nếu điện tích là dương và hướng vào điện tích điểm nếu điện tích là âm.

Điện trường tổng hợp do **hệ điện tích điểm rời rạc** tạo ra trong không gian được tính bằng cách chồng chập các điện trường do mỗi điện tích riêng lẻ tạo ra:

$$\vec{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (23.6)$$

Điện trường tạo bởi một **phân bố điện liên tục** được cho bởi:

$$\vec{E} = \int \frac{dq}{r^2} \hat{r} \quad (23.7)$$

**Các mô hình phân tích và giải toán:**

**Hạt trong điện trường:** Một hạt mang điện sẽ tạo ra trong không gian xung quanh một điện trường. Khi đặt một điện tích  $q$  trong điện trường thì nó sẽ chịu tác dụng bởi một lực điện cho bởi:

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (23.4)$$

### Câu hỏi lý thuyết chương 23:

1. Một cái lược tích điện thường hút các mẩu giấy khô nhưng khi các mẩu giấy chạm vào lược thì chúng lại bay ra xa. Hãy giải thích tại sao có hiện tượng này.
2. Nếu một vật A được treo trên một sợi dây bị hút bởi một vật tích điện B, ta có thể biện luận rằng vật A bị tích điện hay không? Hãy giải thích.
3. Trong điều kiện thời tiết tốt thì có một điện trường bao quanh bề mặt Trái đất. Điện trường này hướng xuống đất. Trong trường hợp này, điện tích trên mặt đất có dấu như thế nào?
4. Tại sao các nhân viên bệnh viện phải mang loại giày dẫn điện đặc biệt khi làm việc gần các bình oxy trong các phòng mổ? Điều gì có thể xảy ra nếu các nhân viên mang giày có đế cao su?
5. Một vật bằng thủy tinh nhận một điện tích dương bằng cách cho nó cọ xát với vải lụa. Trong quá trình cọ xát, các proton được tích thêm vào vật hay là các electron được lấy đi khỏi vật?

### Bài tập chương 23:

1. (a) Hãy tìm số electron trong một cái kim nhỏ bằng bạc trung hòa về điện. Biết khối lượng của kim này là 10,0 g. Mỗi nguyên tử bạc có 47 electron và khối lượng mol của bạc là 107,87 g/mol. (b) Tưởng tượng rằng ta tích thêm electron vào cho cái kim này sao cho nó có một điện tích là 1,00 mC. Có bao nhiêu electron được tích thêm vào cho mỗi  $10^9$  electron có sẵn trong kim?

**Đáp số:** a)  $2,62 \times 10^{24}$

b) 2,38

2. Trong một đám mây giông, có thể có điện tích +40.0 C ở bên trên và -40.0 C ở bên dưới. Các điện tích này cách nhau 2,00 km. Tìm lực điện tác dụng lên điện tích phía

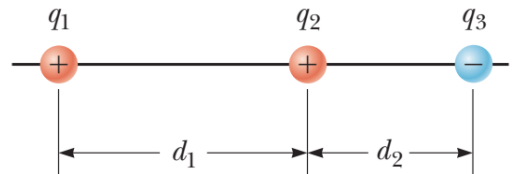
trên.

**Đáp số:**  $3,60 \times 10^6 \text{ N}$ , hướng xuống dưới

3. Richard Feynman (1918–1988), một người đã nhận giải Nobel, đã từng nói rằng nếu có hai người đứng cách nhau một cánh tay và mỗi người có 1% electron nhiều hơn so với số proton thì lực đẩy giữa họ sẽ đủ lớn để nhấc một vật có khối lượng bằng khối lượng Trái đất. Hãy thực hiện phép tính theo bậc của độ lớn để chứng minh khẳng định này.

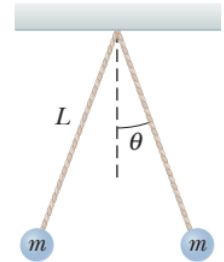
**Hướng dẫn:** Khối lượng của Trái đất là  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$ . Lực hút giữa hai người tương đương với trọng lượng của Trái đất.

4. Ba điện tích điểm nằm dọc theo một đường thẳng như trong hình bên cạnh. Điện tích  $q_1 = 6,00 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = 1,50 \mu\text{C}$ , và  $q_3 = 22,0 \mu\text{C}$ . Khoảng cách  $d_1 = 3,00 \text{ cm}$  và  $d_2 = 2,00 \text{ cm}$ . Hãy tìm độ lớn và chiều của các lực tác dụng lên (a)  $q_1$ , (b)  $q_2$ , và (c)  $q_3$ .



**Đáp số:** a)  $46,7 \text{ N}$ ; hướng sang trái. b)  $157 \text{ N}$ ; hướng sang phải. c)  $111 \text{ N}$ ; hướng sang trái

5. Hai quả cầu nhỏ bằng kim loại, mỗi quả có khối lượng là  $m = 0,200 \text{ kg}$ , được treo bằng các dây nhẹ có độ dài  $L$  như trong hình vẽ. Các quả cầu được tích một điện lượng giống nhau là  $7,20 \text{ nC}$ . Ở trạng thái cân bằng, các dây treo hợp với phương thẳng đứng một góc  $\theta = 5,00^\circ$ . Tìm độ dài của các sợi dây.

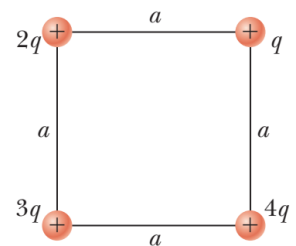


**Đáp số:**  $0,299 \text{ m}$

6. Một vật nhỏ có khối lượng  $3,80 \text{ g}$  và điện tích  $-18,0 \mu\text{C}$  nằm lơ lửng trên mặt đất trong một điện trường đều có phương vuông góc với mặt đất. Hãy xác định chiều và độ lớn của điện trường này.

**Đáp số:** Điện trường hướng xuống dưới, có độ lớn là  $2,07 \times 10^3 \text{ N/C}$

7. Bốn điện tích điểm được đặt ở các đỉnh của một hình vuông cạnh  $a$  như hình vẽ. Hãy xác định: (a) điện trường tại vị trí của điện tích điểm  $q$  và (b) lực điện tổng hợp tác dụng lên  $q$ .

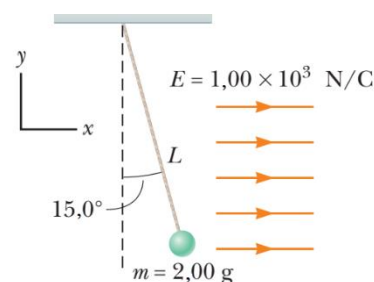


**Đáp số:**  $k_e q$

a)  $\vec{E} = k_e \frac{q}{a^2} (3,06\hat{i} + 5,06\hat{j})$

b)  $\vec{F} = k_e \frac{q^2}{a^2} (3,06\hat{i} + 5,06\hat{j})$

8. Một quả cầu nhựa 2,00 g được treo bằng một sợi dây dài 20,0 cm trong một điện trường đều như trong hình vẽ. Nếu quả cầu ở trạng thái cân bằng thì sợi dây lập một góc  $15,0^\circ$  so với phương thẳng đứng. Tìm độ lớn điện tích của quả cầu.



**Đáp số:** 5,25  $\mu\text{C}$

9. Một thanh dài 14,0 cm tích điện đều với tổng điện tích  $-22,0 \mu\text{C}$ . Hãy xác định (a) độ lớn và (b) hướng của điện trường tại một điểm trên trục của thanh và điểm giữa của thanh.

**Đáp số:** a)  $1,59 \times 10^6 \text{ N/C}$  b) Hướng về phía thanh tích điện

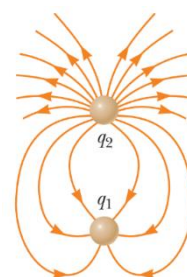
10. Một đĩa tròn bán kính 35,0 cm tích điện đều với mật độ  $7,90 \times 10^{-3} \text{ C/m}^2$ . Tính điện trường tại một điểm nằm trên trục của đĩa và cách tâm đĩa một khoảng: (a) 5,00 cm; (b) 10,0 cm; (c) 50,0 cm và (d) 200 cm.

**Đáp số:** a) 383 MN/C b) 324 MN/C c) 80,7 MN/C d) 6,68 MN/C

11. Một cái vòng tích điện đều có bán kính 10,0 cm và tổng điện tích  $75,0 \mu\text{C}$ . Tìm điện trường tại một điểm trên trục của vòng và cách tâm vòng một khoảng (a) 1,00 cm; (b) 5,00 cm; (c) 30,0 cm; và (d) 100 cm.

**Đáp số:** Chọn trục  $x$  là trục của vòng. Các điểm cần tính nằm ở phần dương của trục. a)  $6,64 \hat{i} \text{ MN/C}$  b)  $24,1 \hat{i} \text{ MN/C}$  c)  $6,40 \hat{i} \text{ MN/C}$  d)  $0,664 \hat{i} \text{ MN/C}$

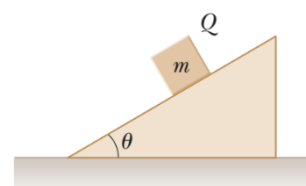
12. Hình vẽ bên cạnh cho thấy các đường sức điện trường của một hệ gồm hai điện tích  $q_1$  và  $q_2$  nằm cách nhau một khoảng nhỏ.



- a) Hãy xác định tỉ số  $q_1/q_2$   
b) Dấu của các điện tích  $q_1$  và  $q_2$ .

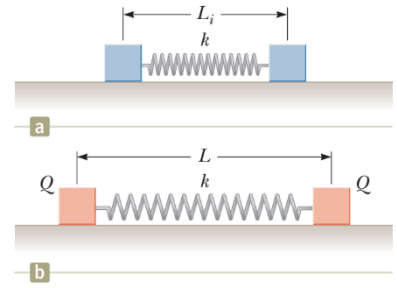
**Đáp số :** a) 1/3 b)  $q_1$  âm ;  $q_2$  dương

13. Một khối nhỏ có khối lượng  $m$  và điện tích  $Q$  được đặt trên một tấm phẳng cách điện, không có ma sát và nghiêng một góc  $\theta$  so với phương ngang (hình vẽ bên). Hệ được đặt trong một điện trường song song với mặt nghiêng. (a) Tìm biểu thức độ lớn của điện trường, biết rằng vật nhỏ đứng yên. (b) Cho  $m = 5,40 \text{ g}$ ;  $Q = -7,00 \mu\text{C}$  và  $\theta = 25,0^\circ$ . Tìm chiều và độ lớn của điện trường này.



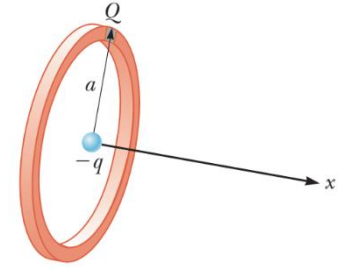
**Đáp số :** a)  $E = \frac{mg \sin(\theta)}{|Q|}$  ; b)  $3,19 \times 10^3 \text{ N/C}$  ; hướng xuống dưới

14. Hai hình khối giống nhau nằm yên trên một mặt ngang nhẵn, được nối với nhau bằng một lò xo nhẹ có độ cứng  $k$  và chiều dài tự nhiên  $L_i$  như trong hình vẽ. Một điện tích  $Q$  được tích từ từ vào mỗi khối, làm cho lò xo bị giãn ra đến chiều dài  $L$  khi hệ cân bằng. Hãy tìm độ lớn của điện tích  $Q$ . Xem các khối là điện tích điểm.



**Đáp số :**  $Q = L \sqrt{\frac{k(L - L_i)}{k_e}}$

15. Một hạt mang điện có điện tích  $-q$  được đặt ở tâm của một vòng tròn tích điện đều  $Q$  như trong hình vẽ. Giả sử dịch hạt mang điện này một đoạn nhỏ  $x$  dọc theo trục  $x$  ( $x \ll a$ ) rồi thả ra. Hãy chứng tỏ rằng hạt này dao động điều hòa với tần số  $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_e q Q}{ma^3}}$ .

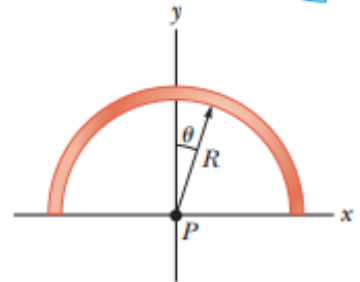


16. Một dây thẳng, dài  $l = 14 \text{ cm}$ , phân bố đều với mật độ  $\lambda$ , mang tổng điện tích  $-7,5 \mu\text{C}$  được uốn thành nửa hình tròn như hình vẽ. Xác định vec-tơ điện trường tại tâm O.



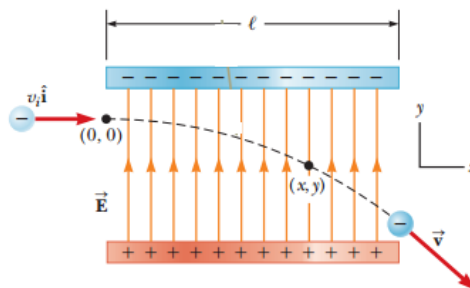
**Đáp số :**  $2,16 \times 10^7 \text{ N/C}$ ; phương ngang, hướng từ phải qua trái

17. Một dây mang tổng điện tích  $12 \mu\text{C}$ , được uốn thành nửa đường tròn bán kính  $R = 60 \text{ cm}$ , phân bố với mật độ  $\lambda = \lambda_0 \cos \theta$ , góc  $\theta$  như hình vẽ. Xác định lực điện tác dụng vào điện tích  $3 \mu\text{C}$  đặt tại tâm P của vòng dây.



**Đáp số :**  $0,71 \text{ N}$ ; phương thẳng đứng, hướng xuống.

18. Một điện trường đều  $\vec{E}$  có độ lớn  $200 \text{ N/C}$  được định hướng dọc theo trục giữa hai bản cực tích điện song song, chiều dài bản cực  $l = 0,1 \text{ m}$ . Bắn một electron với vận tốc ban đầu  $v_i = 3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  vuông góc với điện trường như hình vẽ.



(a) Chứng tỏ quỹ đạo electron là parabol.

(b) Giả sử tọa độ ban đầu của electron là  $(0, 0)$  như trên hình, tính thời điểm electron rời khỏi điện trường và tọa độ y của nó lúc đó.

**Đáp số :**  $3,33 \times 10^{-8} \text{ s}$ ;  $-1,95 \text{ cm}$



19. Bắn một chùm hạt proton với tốc độ ban đầu  $v_i = 9,5 \text{ km/s}$  từ vùng không có điện trường đến vùng có điện trường  $\vec{E} = -720 \hat{j} \text{ N/C}$ . Vận tốc ban đầu có phương hợp với phương ngang một góc  $\theta$ . Đích ngắm nằm cách vị trí mà chùm proton đi vào vùng có điện trường một khoảng  $R = 1,27 \text{ mm}$ .

- (a) Chứng tỏ quỹ đạo của chùm proton là quỹ đạo parabol.
- (b) Giá trị góc  $\theta$  là bao nhiêu để chùm proton bắn trúng đích.

