

Điện trường tĩnh

Lê Quang Nguyên
www4.hcmut.edu.vn/~leqnguyen
nguyenquangle@zenbe.com

Nội dung

1. Điện tích
 - a. Tính chất
 - b. Định luật Coulomb
2. Điện trường
 - a. Cường độ điện trường
 - b. Điện trường của một điện tích điểm
 - c. Nguyên lý chồng chất điện trường
 - d. Đường sức điện trường
3. Điện tích và điện trường quanh ta
4. Bài tập áp dụng

cuu duong than cong . com

1a. Tính chất của điện tích

- Điện tích của hệ kín được bảo toàn.
- Điện tích bị lượng tử hóa, $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ là điện tích cơ sở.
- Vật được tích điện thông qua:
 - cọ xát với một vật khác,
 - tiếp xúc với một vật tích điện,
 - hiện tượng cảm ứng điện.



Mặt đất tích điện thông qua cảm ứng.

1b. Định luật Coulomb

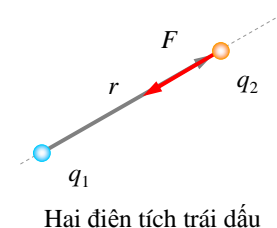
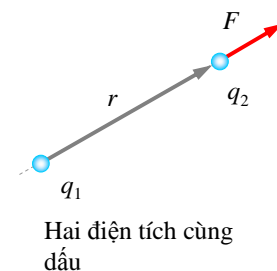
- **Lực tĩnh điện** do điện tích điểm q_1 tác động lên điện tích điểm q_2 (đặt trong chân không):

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad \vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r}$$

$$k = 1/4\pi\epsilon_0 = 8,99 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$$

- ϵ_0 được gọi là **hằng số điện**.
- \vec{r} là vector nối từ q_1 đến q_2 .

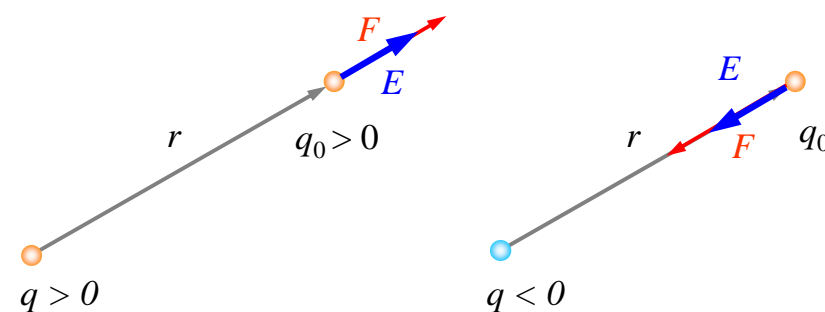


2a. Cường độ điện trường

- Mỗi hệ điện tích đều tạo ra quanh mình một **điện trường**.
- Tại mỗi điểm trong đó có một **vector cường độ điện trường** E xác định.
- Để xác định điện trường E ở một vị trí, người ta đặt tại đó một **điện tích thử** q_0 , và đo lực tĩnh điện F lên q_0 .
- Điện trường E sẽ là:

$$\vec{E} = \vec{F}/q_0 \quad (\text{N/C hay V/m})$$

2b. Điện trường của một điện tích điểm



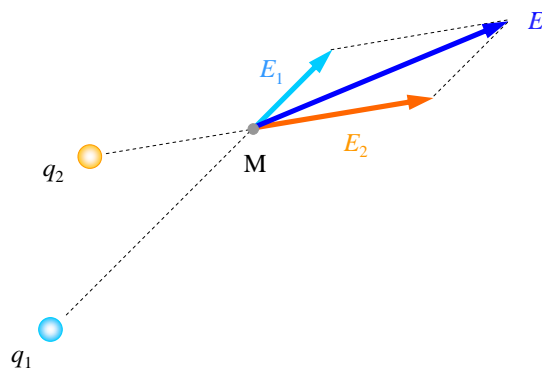
$$\vec{F} = k \frac{qq_0}{r^3} \vec{r}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{q}{r^3} \vec{r}$$

cuu duong than cong . com

2c. Nguyên lý chồng chất điện trường

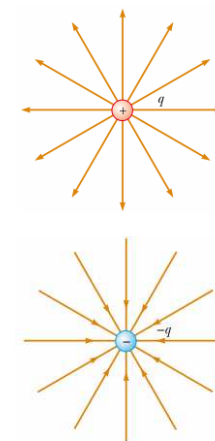
- Điện trường do hệ điện tích điểm tạo ra bằng tổng các **vector** điện trường của tất cả các điện tích điểm thuộc hệ.



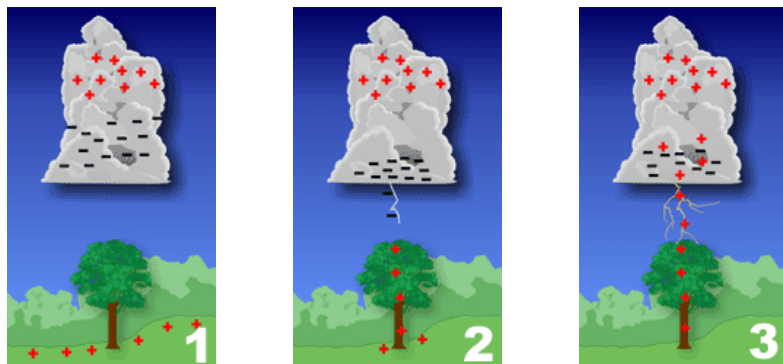
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

2d. Đường sức điện trường

- Là những đường nhận E làm tiếp tuyến tại mọi điểm.
- Có chiều là chiều của vector điện trường.
- Mật độ đường sức qua một mặt phẳng nhỏ vuông góc với điện trường thì tỷ lệ với độ lớn điện trường đi qua mặt đó.
- Minh họa.
- Hai đường sức không bao giờ cắt nhau.



3a. Tia chớp – 1



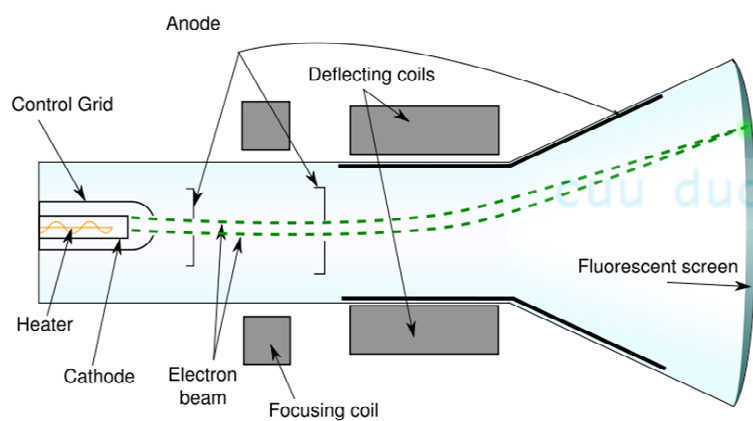
3a. Tia chớp – 2

Điện trường giữa mây và mặt đất làm tóc người phụ nữ này dựng ngược lên.



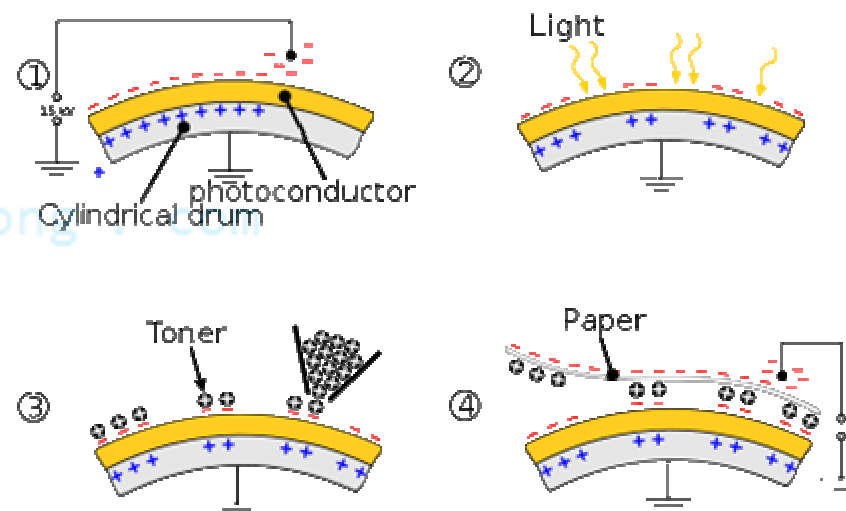
cuu duong than cong . com

3b. Ống phóng điện tử

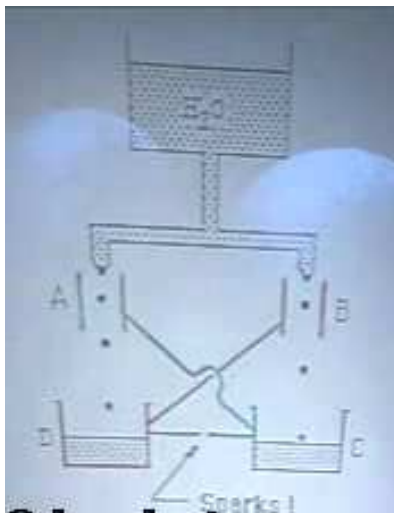


Mô phỏng

3c. Máy photocopy



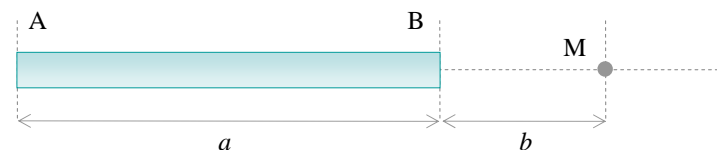
3d. Máy phát điện bằng thùng kim loại và nước



Bài giảng của giáo sư Walter Lewin

4a. Bài tập 1

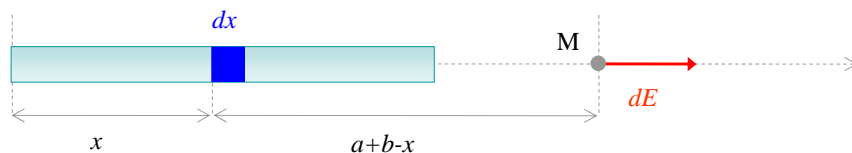
Một thanh thẳng AB có chiều dài a được tích điện đều với mật độ $\lambda > 0$. Tìm độ lớn điện trường tại một điểm M nằm trên đường nối dài của thanh, cách đầu B một đoạn b .



4a. Trả lời BT 1

- Chia thanh làm nhiều đoạn vi phân, mỗi đoạn có chiều dài dx , điện tích $dq = \lambda dx$, có vị trí x .
- Coi dq là một điện tích điểm, nó tạo ra ở M một điện trường có độ lớn bằng:

$$dE = k \frac{|dq|}{r^2} = k \frac{\lambda dx}{(a+b-x)^2}$$



4a. Trả lời BT 1 (tt)

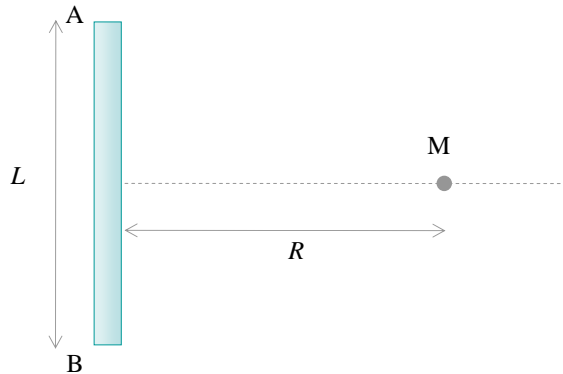
- Điện trường toàn phần tại M: $\vec{E} = \int d\vec{E}$
- Điện trường do mọi điện tích dq tạo ra đều cùng phương (trục x), do đó E cũng có phương trên trục x và có độ lớn:

$$E = \int dE = k\lambda \int_0^a \frac{dx}{(a+b-x)^2}$$

$$E = k\lambda \left[\frac{1}{a+b-x} \right]_0^a = k\lambda \left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a+b} \right)$$

4b. Bài tập 2

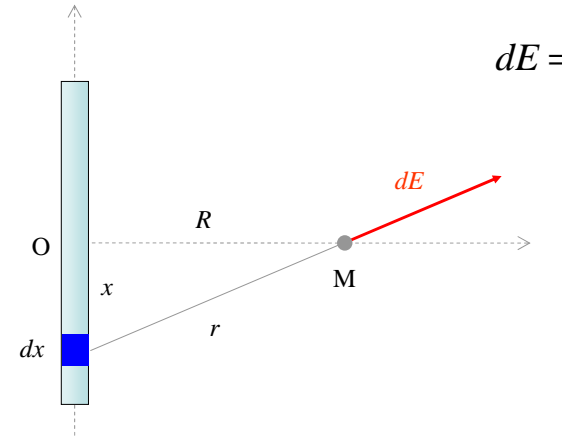
Một thanh thẳng AB có chiều dài L được tích điện đều với mật độ $\lambda > 0$. Tìm độ lớn điện trường tại một điểm M nằm trên đường trung trực của thanh, cách thanh một khoảng R .



4b. Trả lời BT 2 – 1

- Chia thanh làm nhiều đoạn vi phân, mỗi đoạn có chiều dài dx , điện tích $dq = \lambda dx$, có vị trí x .
- dq tạo ra ở M một điện trường có độ lớn bằng:

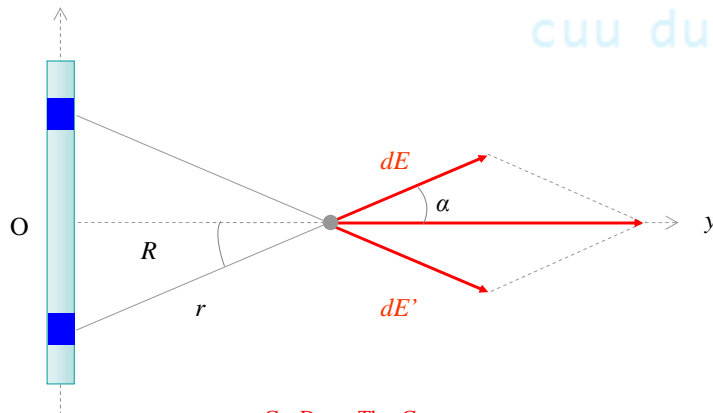
$$dE = k \frac{|dq|}{r^2} = k \frac{\lambda dx}{R^2 + x^2}$$



cuu duong than cong . com

4b. Trả lời BT 2 – 2

- Điện trường toàn phần tại M: $\vec{E} = \int d\vec{E}$
- Do đối xứng, E có phương trên trục y .
- Do đó: $E_y = \int dE_y = \int dE \cos \alpha$



CuuDuongThanCong.com

4b. Trả lời BT 2 – 3

$$E_y = \int k \frac{\lambda dx}{r^2} \cdot \frac{R}{r} = k\lambda R \int_{-L/2}^{L/2} \frac{dx}{(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

$$\int \frac{dx}{(R^2 + x^2)^{3/2}} = \frac{x}{R^2 (R^2 + x^2)^{1/2}}$$

$$E_y = \frac{k\lambda R}{R^2} \cdot \frac{L}{(L^2/4 + R^2)^{1/2}}$$

$$E_y = \frac{2k\lambda L}{R\sqrt{R^2 + 4L^2}} = \frac{\lambda L}{2\pi\epsilon_0 R\sqrt{4R^2 + L^2}}$$

<https://fb.com/tailieudientucntt>

4b. Mở rộng BT 2

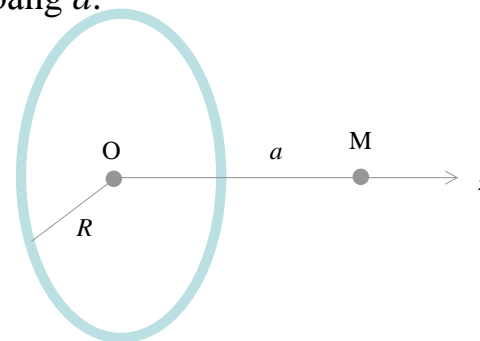
- Tìm điện trường tại M khi thanh AB dài vô hạn về cả hai phía.
- Trả lời:

$$E_y = \frac{\lambda L}{2\pi\epsilon_0 R \sqrt{4R^2 + L^2}} = \frac{\lambda L}{2\pi\epsilon_0 RL \sqrt{\left(\frac{2R}{L}\right)^2 + 1}}$$

$$E_y \xrightarrow{\frac{R}{L} \rightarrow 0} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R}$$

4c. Bài tập 3

Một vành tròn bán kính R được tích điện đều với mật độ điện tích dài là $\lambda > 0$. Vành tròn này nằm trong mặt phẳng xy . Tìm điện trường tại một điểm M nằm trên trục z , cách mặt phẳng xy một khoảng bằng a .

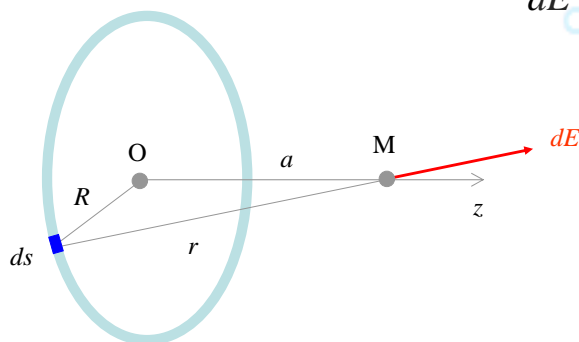


cuu duong than cong . com

4c. Trả lời BT 3 – 1

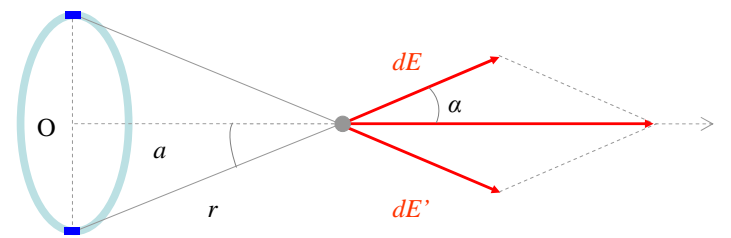
- Chia vành tròn làm nhiều phần nhỏ vi phân, mỗi phần có chiều dài là ds , điện tích $dq = \lambda ds$.
- Điện trường do dq tạo ra ở M có độ lớn:

$$dE = k \frac{dq}{r^2} = k \frac{\lambda ds}{r^2}$$



4c. Trả lời BT 3 – 2

- Điện trường toàn phần tại M: $\vec{E} = \int d\vec{E}$
- Do đối xứng, E có phương trên trục z .
- Do đó: $E_z = \int dE_z = \int dE \cos \alpha$



4c. Trả lời BT 3 – 3

$$E_z = \int k \frac{\lambda \cos \alpha}{r^2} ds$$

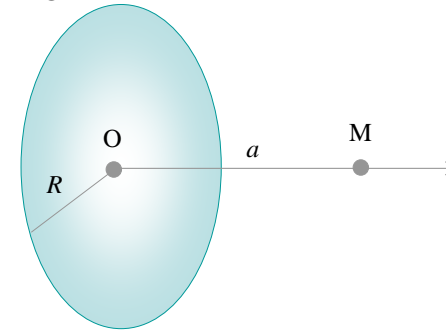
$$E_z = k \frac{\lambda \cos \alpha}{r^2} \int ds = k \frac{\lambda \cos \alpha}{r^2} 2\pi R$$

$$\cos \alpha = a/r \quad r^2 = R^2 + a^2$$

$$E_z = 2\pi R k \lambda \frac{a}{(R^2 + a^2)^{3/2}}$$

4d. Bài tập 4

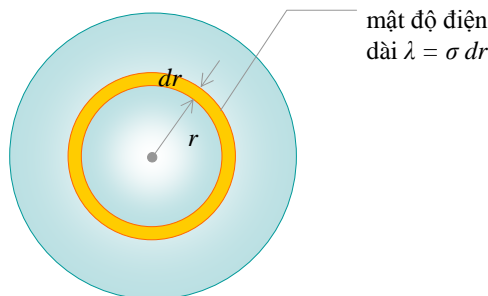
Một đĩa tròn bán kính R được tích điện đều với mật độ điện tích là $\sigma > 0$. Đĩa tròn này nằm trong mặt phẳng xy . Tìm điện trường tại một điểm M nằm trên trục z , cách mặt phẳng xy một khoảng bằng a .



cuu duong than cong . com

4d. Trả lời BT 4

- Chia đĩa tròn thành nhiều vành, mỗi vành có bán kính là r và bề dày là dr .
- Mỗi vành có diện tích là $2\pi r dr$, do đó có điện tích là $\sigma 2\pi r dr$ và mật độ điện tích dài là $\lambda = \sigma 2\pi r dr / 2\pi r = \sigma dr$.



4d. Trả lời BT 4 (tt)

- Theo BT 3, mỗi vành tạo ra tại M một điện trường nằm trên trục z :

$$dE_z = 2\pi k \lambda \frac{a}{(r^2 + a^2)^{3/2}} = 2\pi k \sigma a \frac{r dr}{(r^2 + a^2)^{3/2}}$$

- Điện trường toàn phần là tổng của các điện trường do các vành như trên tạo ra:

$$E_z = 2\pi k \sigma a \int_0^R \frac{r dr}{(r^2 + a^2)^{3/2}}$$

$$E_z = -2\pi k \sigma a \left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + a^2}} \right]_0^R = 2\pi k \sigma \left(1 - \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} \right)$$

4d. Mở rộng BT 4

- Tìm điện trường tại M khi đĩa tròn có bán kính tiến tới vô cùng (trở thành bản phẳng vô hạn tích điện đều).
- Trả lời:

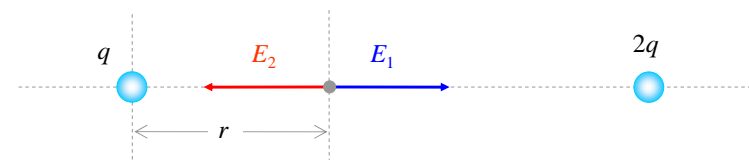
$$E_z = 2\pi k \sigma \left(1 - \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} \right) = 2\pi k \sigma \left(1 - \frac{a}{R\sqrt{1 + (a/R)^2}} \right)$$

$$E_z \xrightarrow{\frac{a}{R} \rightarrow 0} 2\pi k \sigma = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

cuu duong than cong . com

4e. Bài tập 5

Hai điện tích điểm q và $2q$ đặt cách nhau 10 cm. M là một điểm nằm trên đường nối dài hai điện tích và cách q một đoạn r . Tìm r để điện trường tổng hợp tại M triệt tiêu.



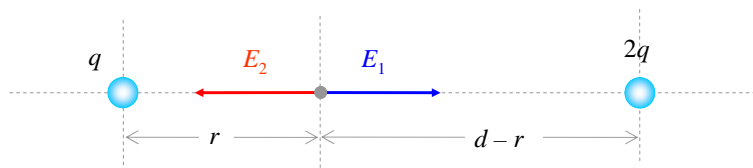
4e. Trả lời BT 5

- Gọi d là khoảng cách giữa hai điện tích, độ lớn điện trường do chúng tạo ra ở M lần lượt là:

$$E_1 = k \frac{|q|}{r^2} \quad E_2 = k \frac{2|q|}{(d-r)^2}$$

- Độ lớn của điện trường toàn phần tại M là:

$$E = |E_1 - E_2| = k|q| \left(\frac{1}{r^2} - \frac{2}{(d-r)^2} \right)$$



4e. Trả lời BT 5 (tt)

- Đặt $E = 0$ ta có:

$$2r^2 - (d-r)^2 = (r\sqrt{2} + r - d)(r\sqrt{2} - r + d) = 0$$

- Do đó:

$$r = d/(1 + \sqrt{2}) = 4.1 \text{ cm}$$