

I – MỤC TIÊU

- Nêu được định nghĩa về điện từ trường.
- Phân tích được một hiện tượng để thấy được mối liên quan giữa sự biến thiên theo thời gian của cảm ứng từ với điện trường xoáy và sự biến thiên của cường độ điện trường với từ trường.
- Nêu được hai điều khẳng định quan trọng của thuyết điện từ.

II – CHUẨN BỊ

1. **Giáo viên** : Làm lại thí nghiệm cảm ứng điện từ.
2. **Học sinh** : Ôn tập về hiện tượng cảm ứng điện từ.

III – THÔNG TIN BỔ SUNG

1. Mối liên hệ giữa cường độ dòng điện i và tốc độ biến thiên cường độ điện trường $\frac{dE}{dt}$ được thiết lập rõ ràng. Dòng điện chạy trong dây dẫn là dòng điện dẫn. Dòng điện "chạy" qua tụ điện liên quan đến $\frac{dE}{dt}$ là dòng điện dịch. Việc khẳng định rằng xung quanh dòng điện dịch cũng tồn tại một từ trường như dòng điện dẫn vẫn còn có tính chất áp đặt.

2. Bốn phương trình Mác-xoen trong chân không là :

$$\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} ; \text{div}\vec{D} = \rho$$

$$\text{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} ; \text{div}\vec{B} = 0$$

Phương trình thứ nhất diễn tả rằng : Có một điện trường xoáy xuất hiện tại điểm có từ trường biến thiên.

Phương trình thứ hai diễn tả rằng : Đường sức của điện trường tĩnh điện bao giờ cũng xuất phát từ các điện tích.

Phương trình thứ ba diễn tả rằng : Có một từ trường xuất hiện tại nơi có điện trường biến thiên.

Phương trình thứ tư diễn tả ý : Đường sức của từ trường bao giờ cũng khép kín.

Các phương trình Mác-xoen cũng cho thấy không có sự liên quan trực tiếp giữa độ lớn của cường độ điện trường và cảm ứng từ ; mà độ lớn của thành phần (trường) này liên quan với tốc độ biến thiên của thành phần (trường) kia.

Các phương trình Mác-xoen dưới dạng vi phân :

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} = -\frac{\partial B_x}{\partial t} ; \frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} = -\frac{\partial B_y}{\partial t} ; \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} = -\frac{\partial B_z}{\partial t}$$

$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = j_x + \frac{\partial D_x}{\partial t} ; \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = j_y + \frac{\partial D_y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = j_z + \frac{\partial D_z}{\partial t}$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0$$

Nhìn trực tiếp vào 4 phương trình Mác-xoen, ta không thấy xuất hiện sóng điện từ ở chỗ có điện trường hoặc từ trường biến thiên. Bây giờ, ta hãy chứng minh, chẳng hạn, tại chỗ có điện trường biến thiên sẽ xuất hiện một sóng điện từ lan truyền đi.

Giả thiết tại gốc toạ độ hình thành một điện trường biến thiên tuần hoàn :

$$E_x = 0$$

$$E_y = 0$$

$$E_z = E_0 \sin \omega t$$

Từ các phương trình Mác-xoen, ta được :

$$\frac{\partial B_x}{\partial t} = -\frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (21.1) ; \quad \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} = 0 \quad (21.4)$$

$$\frac{\partial B_y}{\partial t} = \frac{\partial E_z}{\partial x} \quad (21.2); \quad \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} = 0 \quad (21.5)$$

$$\frac{\partial B_z}{\partial t} = 0 \quad (21.3); \quad \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} = \frac{\partial D_z}{\partial t} \quad (21.6)$$

Từ (21.3) suy ra $B_z =$ hằng số. Tuy nhiên, lúc $t = 0$ thì chưa có từ trường, nên $B_z = 0$. Thay vào (21.4) và (21.5), ta được :

$$\frac{\partial H_y}{\partial z} = 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial H_x}{\partial z} = 0$$

Hai phương trình trên chứng tỏ các thành phần H_y và H_x không chứa biến số z . Ngoài ra, nếu chỉ xét điện từ trường tại các điểm nằm dọc theo phương Oy , ta sẽ có các hệ thức :

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} \neq 0 \quad \text{và} \quad \frac{\partial E_z}{\partial x} = 0$$

Từ (21.2) ta sẽ suy ra $B_y = 0$.

Mặt khác, vì không có dòng điện dẫn : $j_x = 0 ; j_y = 0 ; j_z = 0$ nên ta còn có $D_x = 0$ và $D_y = 0$, hay $E_x = 0$ và $E_y = 0$.

Kết quả, ta được :

$$E_x = 0 \quad (21.7); \quad \frac{\partial B_x}{\partial t} = -\frac{\partial E_z}{\partial y} \quad (21.10)$$

$$E_y = 0 \quad (21.8); \quad B_y = 0 \quad (21.11)$$

$$\frac{\partial D_z}{\partial t} = -\frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (21.9); \quad B_z = 0 \quad (21.12)$$

với $D_z = \varepsilon_0 E_z$ và $B_x = \mu_0 H_x$ nên (21.9) thành :

$$\varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E_z}{\partial t} = -\frac{\partial B_x}{\partial y} \quad (21.9')$$

Lấy đạo hàm hai vế của (21.10) theo y :

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial B_x}{\partial t} \right) = -\frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2}$$

Vì t và y là hai biến số độc lập, nên kết quả của việc lấy đạo hàm liên tiếp của B_x theo y và theo t sẽ không phụ thuộc vào thứ tự của công việc. Ta được :

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial B_x}{\partial y} \right) = -\frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2}$$

Chú ý đến (21.9') ta sẽ có :

$$\varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} \quad (21.13)$$

Nghiệm của phương trình (21.13) có dạng :

$$E_z = E_0 \sin \left[\omega \left(t - \frac{y}{v} \right) + \varphi \right]$$

Đây là một phương trình sóng truyền dọc theo phương Oy.

Tại gốc O thì : $E_z = E_0 \sin \omega t$ và $y = 0$; vậy $\varphi = 0$ và :

$$E_z = E_0 \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right) \quad (21.14)$$

Thực hiện các phép tính đạo hàm, ta được :

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial t^2} = -\omega^2 E_0 \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right)$$

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} = -\frac{\omega^2}{v^2} E_0 \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right)$$

Thay vào phương trình (21.13), ta được :

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

v là tốc độ truyền sóng điện từ trong chân không, với $\varepsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2}$ F/m và

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m ; c là tốc độ ánh sáng trong chân không. Ta được $v = c$. Đây là một kết quả cơ sở quan trọng của thuyết điện từ ánh sáng.

Chú ý rằng B_x và E_z có vai trò hoàn toàn đối xứng với nhau trong các phương trình (21.9) và (21.10), nên ta cũng có kết quả :

$$B_x = B_0 \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right) \quad (21.15)$$

Các phương trình (21.14) và (21.15) là các phương trình sóng điện từ truyền dọc theo phương Oy . Trong sóng này, chỉ có thành phần điện trường theo phương Oz và thành phần từ trường theo phương Ox . Đó là một sóng phân cực phẳng.

Những kết quả tính toán ở trên đưa đến những kết luận quan trọng dưới đây :

a) Nếu tại điểm O xuất hiện một điện trường có cường độ điện trường \vec{E} biến thiên tuần hoàn theo thời gian thì điện trường này sẽ lan truyền đi trong không gian theo các phương vuông góc với vectơ \vec{E} . Cường độ điện trường theo các phương này đều song song với \vec{E} , nhưng dao động lệch pha so với dao động tại O .

b) Đồng thời, ứng với mỗi thành phần điện trường biến thiên lan truyền theo một phương lại xuất hiện một thành phần từ trường biến thiên, có cảm ứng từ biến thiên tuần hoàn theo thời gian và cũng lan truyền theo phương đó. Cảm ứng từ trong thành phần này luôn luôn dao động đồng pha với cường độ điện trường tại đó và có phương vuông góc với cường độ điện trường và phương truyền sóng.

Sự đồng pha của hai thành phần biến thiên là điện trường và từ trường rất khó giải thích nếu theo quan điểm cho rằng sự biến thiên của điện trường là "nguyên nhân" và sự xuất hiện của từ trường là "hệ quả" và "hệ quả" không thể xuất hiện đồng thời với "nguyên nhân" được.

c) Điện từ trường khác với điện trường tĩnh và từ trường tĩnh ở những điểm cơ bản sau :

– Điện trường tĩnh điện và từ trường của dòng điện gắn liền với hệ điện tích và định xứ xung quanh hệ điện tích đó. Điện từ trường xuất hiện tại chỗ có điện trường hoặc từ trường biến thiên (nguồn phát) và lan truyền đi. Tuy điện từ trường có mang thông tin của nguồn phát nhưng nó tồn tại độc lập với sự tồn tại của nguồn phát.

– Đường sức của điện trường tĩnh là đường cong không kín. Nếu di chuyển một điện tích một vòng kín trong điện trường tĩnh thì công tổng cộng mà điện trường sinh ra bằng không. Đường sức của điện từ trường là đường cong kín. Nếu di chuyển một điện tích một vòng kín trong điện từ trường thì trường này sinh

công khác không. Như vậy điện trường tĩnh điện là trường thế, còn điện từ trường không phải là trường thế.

– Lực tĩnh điện giữa hai điện tích điểm có phương đi qua hai điện tích điểm đó là lực "xuyên tâm". Lực mà điện từ trường tác dụng lên một điện tích điểm thì không có tính chất nói trên, tuy rằng cả hai lực này đều được tính theo công thức $\vec{F} = q\vec{E}$.

IV – GỢI Ý VỀ PHƯƠNG PHÁP VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG DẠY HỌC

Bài này dạy trong 1 tiết.

1. Mối quan hệ giữa điện trường và từ trường

Nội dung có thể tổ chức cho HS hoạt động để tự lực chiếm lĩnh kiến thức :

Phân tích thí nghiệm cảm ứng điện từ để đi đến luận điểm thứ nhất của thuyết điện từ.

Cho HS đọc SGK. Sau đó trình bày lại. GV nêu câu hỏi về những chỗ HS còn chưa rõ. Cuối cùng thì nêu kết luận.

Đây là một cơ hội để giới thiệu cho HS tinh thần của một phương pháp nhận thức đặc thù trong Vật lí học, nhất là Vật lí học hiện đại : phương pháp lí thuyết.

Bằng những phân tích sâu sắc, kết hợp với công cụ toán học, người ta đã rút ra được những kết luận lí thuyết quan trọng. Những kết luận này sau đó đã được xác nhận bằng thực nghiệm.

• Mối quan hệ giữa sự biến thiên của từ trường và sự xuất hiện điện trường xoáy sẽ được HS nhận ra ngay nếu các em phân tích để thấy được :

– Mối quan hệ giữa dòng điện cảm ứng và điện trường trong dây dẫn.

– Vai trò của vòng dây dẫn trong thí nghiệm cảm ứng điện từ.

• Mối quan hệ giữa sự biến thiên của điện trường và sự xuất hiện từ trường thì khó nhận biết hơn. Để nắm được mối quan hệ này, phải hình thành khái niệm dòng điện dịch. Tuy nhiên, trong SGK ta đã tìm cách né tránh việc hình thành khái niệm này.

2. Điện từ trường và thuyết điện từ Mác-xoen

Nội dung của mục này mang nặng tính chất lí thuyết, nên phương pháp dạy học thích hợp là phương pháp giảng giải – minh hoạ. GV thuyết giảng, sau đó đặt câu hỏi cho HS trả lời về nội dung bài giảng.

V – TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP

C1. Định luật cảm ứng điện từ : Khi từ thông qua một mạch điện biến thiên thì trong thời gian từ thông biến thiên, trong mạch xuất hiện một suất điện động cảm ứng.

C2. Các đặc điểm của các đường sức của điện trường tĩnh :

- a) Các đường sức là những đường có hướng.
- b) Chúng là các đường cong không kín : đi ra từ điện tích dương và kết thúc ở điện tích âm.
- c) Qua mỗi điểm trong điện trường có một đường sức và chỉ một mà thôi. Các đường sức không cắt nhau.
- d) Nơi mà cường độ điện trường lớn thì các đường sức mau. Nơi mà cường độ điện trường nhỏ thì các đường sức thưa.

Các đường sức của điện trường xoáy có các tính chất a, c và d. Đối với điểm b) thì : các đường sức của điện trường xoáy là đường cong kín, không có điểm đầu và điểm cuối.

C3. Vòng dây dẫn kín không có vai trò gì trong việc tạo ra điện trường xoáy.

1. Nếu tại một nơi có từ trường biến thiên theo thời gian thì tại đó xuất hiện điện trường xoáy.

2. Nếu tại một nơi có điện trường biến thiên theo thời gian thì tại đó xuất hiện từ trường.

3. Điện từ trường là trường có hai thành phần biến thiên, liên quan mật thiết với nhau là điện trường biến thiên và từ trường biến thiên.

4. D.

5. D.

6. A.