

23 ĐIỆN TỬ TRƯỜNG

I - MỤC TIÊU

- Hiểu được mối liên hệ giữa từ trường biến thiên và điện trường xoáy : từ trường biến thiên làm xuất hiện điện trường xoáy ; hiểu khái niệm điện trường xoáy và từ trường luôn là trường xoáy.

- Hiểu được mối liên hệ giữa điện trường biến thiên và từ trường : điện trường biến thiên theo thời gian làm xuất hiện từ trường biến thiên.

- Hiểu được khái niệm điện từ trường, sự tồn tại không thể tách rời giữa điện trường và từ trường.

II - CHUẨN BỊ

- GV nhắc HS ôn lại các kiến thức đã học ở lớp 11 về điện trường (tĩnh) và từ trường, đường sức điện và đường sức từ, hiện tượng cảm ứng điện từ.

- Ôn lại các thí nghiệm cơ bản về cảm ứng điện từ đã học ở lớp 11.

- Nên chuẩn bị các hình vẽ to, rõ về đường sức của điện trường tĩnh, của điện trường xoáy và đường sức từ, các Hình 23.2 và 23.3 SGK.

III - NHỮNG ĐIỀU CẦN LƯU Ý

Thuyết Mắc-xoen về điện từ trường

- Phân tích kết quả thực nghiệm về hiện tượng cảm ứng điện từ xảy ra trong trường hợp mạch đứng yên trong một từ trường biến thiên, Mắc-xoen đã cho rằng, trường lực lạ tác dụng lên điện tích trong mạch làm điện tích chuyển động tạo nên dòng điện cảm ứng trong mạch, chính là *điện trường xoáy* có đường sức khép kín (phân biệt với điện trường tĩnh do điện tích đứng yên gây ra, có đường sức điện là đường cong không kín).

- Từ đó, Mắc-xoen đã đề ra giả thuyết thứ nhất về liên hệ giữa từ trường biến thiên và điện trường xoáy. Về mặt định lượng, dựa vào định luật cảm ứng điện từ của Fa-ra-đây, Mắc-xoen đã thiết lập được phương trình Mắc-xoen – Fa-ra-đây.

Phương trình này có dạng :

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

hoặc dạng vi phân : $\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$. Trong thí nghiệm ở Hình 23.1 SGK, khi nam

châm rơi ta có $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \neq 0$, cho nên $\text{rot} \vec{E} \neq 0$, vì vậy xuất hiện điện trường xoáy.

- Tiếp theo, từ lập luận lí thuyết tổng quát, Mắc-xoen đã đi đến kết luận về mối liên hệ giữa điện trường biến thiên theo thời gian và từ trường. Vì từ trường là

dấu hiệu cơ bản nhất và tất yếu của mọi dòng điện, nên nếu như điện trường biến thiên tạo ra từ trường thì điện trường đó cũng có tác dụng như một dòng điện.

Mác-xoen gọi dòng điện đó là dòng điện dịch, để phân biệt với dòng điện dẫn, là dòng chuyển dời của các điện tích tự do. Mac-xoen đã tìm được biểu thức của mật độ dòng điện dịch, kí hiệu là \vec{j}_d với $\vec{j}_d = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$.

trong đó \vec{D} là vectơ cảm ứng điện (trong môi trường đồng nhất $\vec{D} = \epsilon\epsilon_0\vec{E}$). Như vậy, dòng điện trong môi trường bao gồm dòng điện dẫn (kí hiệu \vec{j}) và dòng điện dịch \vec{j}_d .

Từ đó, ta có mật độ dòng điện tổng cộng và tùy theo tốc độ biến thiên của điện trường mà hai số hạng có vai trò khác nhau. Trong các vật dẫn điện tốt và với điện trường biến thiên chậm (tần số biến thiên thấp, như với dòng điện xoay chiều chẳng hạn) thì $j_d \ll j$. Ngược lại, trong điện môi và với điện trường biến thiên nhanh (tần số cao) thì dòng điện dịch có vai trò chủ yếu trong dòng toàn phần.

Như vậy, sự phân loại môi trường, vật dẫn hoặc điện môi, dựa theo đặc tính dẫn điện chỉ có tính tương đối, bởi vì điều đó còn phụ thuộc vào cả tần số biến thiên của điện trường nữa. Cần phân biệt là môi trường chân không chỉ có thể có dòng điện dịch, còn trong điện môi có điện trường biến thiên thì có cả dòng điện dịch và dòng điện phân cực (tức là phần dòng điện biến thiên do các điện tích liên kết gây nên, tuy chúng chạy qua chạy lại bên trong phân tử dưới tác dụng của điện trường xoay chiều, nhưng vẫn gắn với phân tử, không thoát ra để trở thành điện tích tự do).

Dựa trên khái niệm dòng điện dịch, Mac-xoen đã thiết lập phương trình Mac-xoen – Am-pe biểu thị sự liên hệ giữa điện trường biến thiên và từ trường. Phương trình này có dạng :

$$\oint_L \vec{H}.d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S}$$

hoặc dưới dạng vi phân : $\text{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$.

– Theo các giả thuyết Mac-xoen, thì từ trường biến thiên theo thời gian sinh ra điện trường xoáy, và ngược lại, điện trường biến thiên theo thời gian sinh ra từ trường (tất nhiên là xoáy). Nói chung từ trường biến thiên theo thời gian một cách bất kì, nghĩa là đạo hàm $\frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ hay $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ cũng biến thiên theo thời gian. Do đó,

điện trường xoáy xuất hiện cũng biến thiên theo thời gian. Điện trường biến thiên này, đến lượt nó, cũng lại gây ra một từ trường. Và, bởi vì điện trường nói chung biến thiên theo thời gian nên dòng điện dịch cũng biến thiên theo thời gian và từ trường được gây ra cũng biến thiên theo thời gian.

Như vậy là điện trường và từ trường liên hệ chặt chẽ với nhau và cùng biến đổi, chúng đồng thời tồn tại trong không gian, tạo thành trường thống nhất là điện từ trường. Điện từ trường là một dạng của vật chất. Mật độ năng lượng của điện từ trường bằng tổng mật độ năng lượng của điện trường và từ trường.

$$w = \frac{\epsilon\epsilon_0}{2} E^2 + \frac{1}{2\mu\mu_0} B^2 = \frac{1}{2}(ED + BH)$$

– Để mô tả điện từ trường một cách định lượng, Mác-xoen đã thiết lập hệ phương trình Mác-xoen, bao gồm :

– Phương trình Mác-xoen – Fa-ra-đây (dưới dạng vi phân) : $\text{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$;

– Phương trình Mác-xoen – Am-pe (dưới dạng vi phân) : $\text{rot}\vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$;

cùng các phương trình và hệ thức cơ bản của điện và từ :

$$\vec{D} = \epsilon\epsilon_0\vec{E} ;$$

$$\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H} ;$$

$$\text{div}\vec{D} = \rho ;$$

$$\text{div}\vec{B} = 0 ;$$

và

$$\vec{j} = \sigma\vec{E}.$$

Hệ phương trình Mác-xoen bao gồm mọi định luật cơ bản của điện trường và từ trường, do đó chúng là những phương trình cơ bản, tổng quát của điện từ trường. Hệ phương trình Mác-xoen giúp ta xác định mọi đại lượng vật lí của điện từ trường.

Thuyết Mác-xoen là một bước phát triển mới, hoàn thiện những hiểu biết của con người về điện và từ. Thuyết Mác-xoen không những giải thích được các hiện tượng đã biết, mà còn tiên đoán được nhiều hiện tượng mới quan trọng, đặc biệt là tiên đoán được sự tồn tại của sóng điện từ, tức là điện từ trường biến thiên theo thời gian, lan truyền trong không gian với vận tốc xác định.

Ta đã biết điện tích *đứng yên* tạo ra điện trường (điện trường tĩnh), còn điện tích chuyển động thì vừa tạo ra điện trường, vừa tạo ra từ trường. Vì vậy, nếu xét

một hạt mang điện tích q nằm tại gốc O' của một hệ quy chiếu quán tính $O'x'y'z'$ chuyển động với vận tốc \vec{v} đối với hệ quy chiếu quán tính $Oxyz$ thì rõ ràng là : khi đứng trong hệ O' ta chỉ quan sát được điện trường do điện tích q tạo ra. Nhưng khi đứng yên trong hệ O ta lại quan sát được cả điện trường và từ trường do q tạo.

Như vậy, điện từ trường có những biểu hiện khác nhau trong các hệ quy chiếu quán tính khác nhau. Cụ thể là nếu trong hệ O' ta quan sát được cả điện trường \vec{E}' và từ trường $\vec{B}'(\vec{H}')$ của điện từ trường nào đó thì, nói chung, trong hệ O ta cũng quan sát được cả điện trường \vec{E} và từ trường $\vec{B}(\vec{H})$ của nó, nhưng thành phần của các vectơ cường độ điện trường và (cường độ từ trường hay cảm ứng từ) đo được trong hai hệ O và O' là khác nhau. Đặc biệt, nếu trong hệ O ta có hai trường \vec{E} và \vec{B} vuông góc với nhau thì sẽ tồn tại một hệ quy chiếu quán tính O' trong đó ta chỉ thấy điện trường hoặc từ trường.

Trong quá trình dạy học, GV cần làm rõ ý nghĩa này và gợi ý cho HS thấy thêm sự tương tự so với Cơ học. Trong Cơ học, tùy theo hệ quy chiếu, mỗi người quan sát có thể thấy được những chuyển động thành phần khác nhau.

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

Đối với bài này, GV dùng phương pháp giảng giải minh họa, kết hợp với việc đặt ra những câu hỏi để lôi cuốn HS tham gia hoạt động chiếm lĩnh kiến thức.

1. Do nội dung bài khá trừu tượng ; do điều kiện hạn chế về trình độ toán học của HS, sự hạn chế về thời gian tiết học và về điều kiện thí nghiệm trong trường phổ thông nên không thể thực hiện việc chứng minh chặt chẽ và kiểm tra đầy đủ bằng thực nghiệm được.

2. GV có thể đặt vấn đề vào bài học như đã nêu trong SGK. Hoặc có thể mở đầu bằng cách đặt ra các câu hỏi yêu cầu HS ôn lại một số kiến thức về điện trường (tĩnh) và từ trường (đặc biệt là về đường sức điện và đường sức từ). Sau đó đặt câu hỏi : điện tích chuyển động có thể gây ra các trường nào ?

3. GV tổ chức các hoạt động theo trật tự lôgic của bài học.

Phân đầu, GV yêu cầu HS chú ý phân tích kỹ lập luận chặt chẽ về mặt lôgic của Fa-ra-đây rút ra kết luận trong việc khảo sát thí nghiệm. GV có thể cho HS trao đổi, tranh luận khi phân tích kỹ Hình 23.3 SGK (chiều của \vec{B} và \vec{E}).

Trong tiến trình giảng dạy bài này, GV không trình bày khái niệm dòng điện dịch. Trong SGK chỉ nêu rất sơ lược ở cột phụ ngay dưới Hình 23.2.

Về khái niệm trường xoáy, cần gợi ý cho HS so sánh giữa điện trường và từ trường. Từ trường thì luôn là trường xoáy, còn điện trường thì có thể là trường tĩnh hoặc trường xoáy.

Phân tiếp theo, GV hướng dẫn cho HS hiểu nội dung Hình 23.4 SGK.

4. Đối với phần cuối, GV thông báo cho HS hiểu và nhớ kết luận của Mác-xoen, từ đó giúp HS hiểu và khắc sâu khái niệm điện từ trường.

C1 Vấn đề ở đây là ta hướng HS tìm ra điểm chung giống nhau về chiều đường sức từ của dòng điện "dẫn" trong dây dẫn bên ngoài và của điện trường biến thiên ở trong khoảng không gian giữa hai bản tụ điện.

V - HƯỚNG DẪN TRẢ LỜI CÂU HỎI VÀ GIẢI BÀI TẬP

Câu hỏi

1. Điện từ trường luôn luôn có cả hai loại là điện trường và từ trường, cả hai trường cùng biến thiên.

2. Ý kiến này đúng vì điện tích đó có thể là đứng yên hoặc là chuyển động tùy hệ quy chiếu của người quan sát.

Bài tập

1. B. 2. C.