

Chương V

CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ

Mục tiêu

- Trình bày được khái niệm từ thông.
- Vận dụng được công thức xác định suất điện động cảm ứng trong trường hợp mạch điện kín và trong trường hợp một đoạn dây dẫn chuyển động trong từ trường.
- Trình bày và vận dụng được định luật Len-xơ và quy tắc bàn tay phải.
- Vận dụng được công thức xác định suất điện động tự cảm.
- Vận dụng được công thức xác định năng lượng trong ống dây mang dòng điện và năng lượng điện trường.

38 HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ SUẤT ĐIỆN ĐỘNG CẢM ỨNG

I - Mục tiêu

- Phát biểu được định nghĩa từ thông, ý nghĩa của từ thông.
- Phân biệt được hiện tượng cảm ứng điện từ, dòng điện cảm ứng, suất điện động cảm ứng trong mạch điện kín.
- Trình bày được định luật Fa-ra-đây, định luật Len-xơ.

II - Chuẩn bị

Giáo viên

Một ống dây. Một thanh nam châm. Một điện kế. Một vòng dây (cũng có thể thay vòng dây bằng một cuộn dây phẳng). Một biến trở. Một ngắt điện. Một bộ pin hay acquy.

Học sinh

Ôn lại hiện tượng cảm ứng điện từ đã học ở THCS.

III - Những điều cần lưu ý

1. Về cấu trúc của bài này cần chú ý : Đầu tiên SGK trình bày thí nghiệm để giới thiệu mở đầu về hiện tượng cảm ứng điện từ. Mục tiếp theo chưa nói về cảm ứng điện từ mà trình bày về khái niệm từ thông. Sau đó, mới quay trở lại nói về hiện tượng cảm ứng điện từ. Sở dĩ như vậy là vì trong SGK, hiện tượng cảm ứng điện từ được định nghĩa qua khái niệm từ thông. Vì vậy, phải đưa ra khái niệm từ thông trước khi đưa ra khái niệm cảm ứng điện từ.

2. Về thí nghiệm, SGK vẫn nêu lên hai thí nghiệm có tính chất kinh điển về hiện tượng cảm ứng điện từ, trong thí nghiệm thứ nhất có sự chuyển động tương đối giữa nam châm và ống dây điện, còn trong thí nghiệm thứ hai thì không có sự chuyển động tương đối giữa nam châm và ống dây, nhưng từ trường trong phạm vi không gian đặt mạch điện biến đổi theo thời gian.

3. Về khái niệm từ thông, trong SGK vẫn đưa ra định nghĩa $\Phi = BS\cos\alpha$, α là góc hợp bởi vectơ pháp tuyến với mặt S và vectơ cảm ứng từ, nghĩa là theo định nghĩa thì Φ là đại lượng đại số.

Tuy nhiên, trong SGK có nêu lên một quy ước rằng nếu không có điều kiện gì ràng buộc về chiều của vectơ pháp tuyến thì ta sẽ vẽ vectơ pháp tuyến sao cho α là góc nhọn. Trong thực tế, đại đa số các trường hợp mà ta gặp là trường hợp chiều của vectơ pháp tuyến có thể chọn tùy ý. Trong những trường hợp đó, ta coi từ thông là đại lượng dương. Những trường hợp ta phải kể đến giá trị âm của từ thông thường là trường hợp từ trường không đổi còn khung dây quay, hay trường hợp khung dây đứng yên còn từ trường quay. Trong những trường hợp đó cosin của góc hợp bởi vectơ pháp tuyến với vectơ cảm ứng từ khi thì có giá trị dương, khi thì có giá trị âm.

4. Định luật xác định chiều của dòng điện cảm ứng trong mạch điện kín được gọi là định luật Len-xơ.

Trong SGK định luật Len-xơ được phát biểu như sau : Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó. Có một điều nên chú ý trong cách phát biểu này : trong đoạn "chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó", nguyên nhân ở đây được hiểu theo nghĩa rộng. Chẳng hạn trong thí nghiệm ở Hình 38.5 SGK, "nguyên nhân đã sinh ra nó" có thể hiểu là cực Bắc của thanh nam châm lại gần ống dây, cũng có thể hiểu là từ thông qua ống dây tăng lên.

Nếu hiểu theo cách thứ nhất thì ta lập luận là từ trường được sinh ra bởi dòng điện cảm ứng trong ống dây có xu hướng ngăn không cho thanh nam châm lại gần nó, muốn thế đầu 1 của ống dây phải là cực Bắc, nghĩa là dòng điện cảm ứng có chiều như trên Hình 38.5a.

Nếu hiểu theo cách thứ hai thì ta lập luận là chiều của các đường sức từ của từ trường được sinh ra bởi dòng điện cảm ứng trong ống dây phải ngược với chiều của các đường sức từ của nam châm xuyên vào ống dây. Các đường sức từ của nam châm xuyên vào ống dây có chiều từ trái sang phải, vậy các đường sức từ trong ống dây của dòng điện cảm ứng phải có chiều từ phải sang trái. Điều đó cũng có nghĩa là dòng điện cảm ứng trong ống dây có chiều như trên Hình 38.5a.

Thực ra trong các sách có thể gặp một số cách phát biểu định luật Len-xơ. Ngoài cách phát biểu như trong SGK, ở đây dẫn ra một vài cách phát biểu khác để GV tham khảo.

– Dòng điện cảm ứng trong một mạch điện kín có chiều sao cho từ trường mà nó sinh ra chống lại sự biến thiên của từ thông qua mạch điện đó.

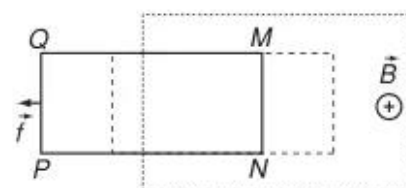
– Dòng điện cảm ứng sinh ra trong một mạch điện kín có chiều sao cho từ thông tạo thành bởi dòng điện đó và qua diện tích giới hạn bởi mạch điện có xu hướng bù trừ sự biến đổi của từ thông đã gây ra dòng điện cảm ứng.

– Từ trường của dòng điện cảm ứng ở bất kì thời điểm nào cũng có chiều sao cho nó chống lại sự biến đổi của từ trường đã gây ra dòng cảm ứng.

– Dòng điện cảm ứng xuất hiện trong một mạch điện kín có chiều sao cho nó chống lại sự biến đổi đã sinh ra nó.

5. Hãy giải thích ý nghĩa của dấu trừ trong công thức (38.2) SGK. Muốn vậy ta xét mạch điện $MNPQ$ như trên Hình 38.1.

Trước hết cần đưa vào quy ước về chiều dương của mạch điện. Quay cái đinh ốc cho nó tiến theo chiều của vectơ cảm ứng từ, chiều quay của cái đinh ốc khi đó lấy làm chiều dương của mạch điện (chiều $MNPQM$ trên Hình 38.1).



Hình 38.1 Khi kéo khung dây về bên trái thì dòng điện cảm ứng trong khung có chiều $MNPQM$

Cầm cạnh PQ kéo theo chiều mũi tên \vec{f} . Khi đó từ thông qua mạch giảm, nghĩa là $\Delta\Phi < 0$. Do đó

$$e_c = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$$

Vì $e_c > 0$ nên dòng điện cảm ứng trong mạch đang xét có chiều $MNPQM$, nghĩa là trùng với chiều dương của mạch. Từ đó ta rút ra kết luận sau : trong một mạch kín, nếu suất điện động cảm ứng dương thì chiều của dòng điện cảm ứng trùng với chiều dương của mạch. Từ trường do dòng cảm ứng sinh ra chống lại sự giảm từ thông của từ trường ngoài \vec{B} . Nếu suất điện động âm thì dòng điện có chiều ngược lại.

Kết luận được như trên là do có dấu $-$ trong công thức (38.2) SGK. Vì lí do đó nên ta nói dấu $-$ trong công thức đó biểu diễn định luật Len-xơ.

6. Khám phá ra hiện tượng cảm ứng điện từ là khám phá xuất sắc nhất của Fa-ra-đây. Nói đúng ra việc xây dựng lí thuyết về hiện tượng cảm ứng điện từ là công lao của hai nhà vật lí vĩ đại, Fa-ra-đây và Mác-xoen. Đó là hai con người có hoàn cảnh gia đình rất khác nhau, có thể nói đối lập với nhau.

Fa-ra-đây sinh ra trong một gia đình nghèo ở gần Luân Đôn. Ngay từ năm 13 tuổi ông đã phải đi làm thuê để kiếm sống. Vì vậy, học vấn của ông chủ yếu là do tự học mà có.

Năm 1821, sau thành công của Ô-xtét, Fa-ra-đây bắt đầu làm những thí nghiệm về điện từ. Do thí nghiệm Ô-xtét mà nhiều nhà khoa học lúc ấy, trong đó có cả Fa-ra-đây, nghĩ rằng điện sinh ra từ thì có thể từ cũng sinh ra điện. Các thí nghiệm đầu tiên của Fa-ra-đây nhằm chứng minh từ sinh ra điện không thành công.

Tuy nhiên, Fa-ra-đây vẫn kiên trì theo đuổi hướng nghiên cứu đã được vạch ra từ đầu. Mười năm sau đó, ngày 28 tháng 9 năm 1831, nhờ một thiết bị gồm hai cuộn dây quấn trên cùng một lõi sắt tương tự như máy biến thế, Fa-ra-đây đã thu được thành công rực rỡ. Làm thí nghiệm trên thiết bị đó Fa-ra-đây rút ra kết luận rằng, bản thân từ trường không sinh ra dòng điện, nhưng từ trường thay đổi theo thời gian thì sinh ra dòng điện ở cuộn dây thứ hai.

Điều kì diệu ở Fa-ra-đây là ông có thể hiểu một cách sâu sắc và diễn tả các hiện tượng điện từ theo cách riêng của ông mà không cần dùng đến toán học cao cấp.

Còn Mắcxoen thì sinh ra trong một gia đình khá giả ở Xcôt-len, vì vậy ông được giáo dục và được học hành một cách chu đáo. Ông theo học ở Kem-brít-giơ và ngay từ khi còn là sinh viên ông đã có một số công trình về toán và vật lí được nhiều người chú ý. Năm 24 tuổi Mắcxoen được mời dạy môn vật lí ở A-be-đin và ông bắt đầu tổng kết các thành tựu nghiên cứu về điện từ từ trước cho đến lúc bấy giờ, trong đó có thí nghiệm về cảm ứng điện từ của Fa-ra-đây. Từ đó, Mắcxoen xây dựng thành lí thuyết về điện từ dưới dạng các phương trình toán học gọi là các phương trình Mắcxoen. Hiện tượng cảm ứng điện từ được diễn tả bằng một trong số các phương trình này.

Nói tóm lại, Fa-ra-đây có công phát hiện ra hiện tượng cảm ứng điện từ bằng thực nghiệm. Mắcxoen có công xây dựng nên lí thuyết điện từ, trong đó có hiện tượng cảm ứng điện từ.

IV - Gợi ý về phương pháp và tổ chức hoạt động dạy học

1. Thí nghiệm

SGK trình bày hai thí nghiệm đã trở thành kinh điển. Sơ đồ các thí nghiệm đó đã chỉ rõ trên các Hình 38.1, 38.2 SGK. Mục đích của các thí nghiệm này nhằm nêu lên hai trường hợp trong đó xuất hiện dòng điện trong mạch kín.

Trong thí nghiệm như Hình 38.1a SGK giữ nam châm đứng yên, ống dây chuyển động. Trong thí nghiệm ở Hình 38.1b SGK giữ ống dây đứng yên, nam châm chuyển động.

Sơ đồ thí nghiệm thứ hai được trình bày trên Hình 38.2 SGK. Trong thí nghiệm này, cả vòng dây và ống dây đều đứng yên nhưng ta điều chỉnh điện trở của mạch để dòng điện trong ống dây thay đổi. Khi dòng điện thay đổi thì từ trường trong ống dây thay đổi, nghĩa là số đường sức qua vòng dây thay đổi.

Ở các thí nghiệm trên, GV cần hướng dẫn HS quan sát kim điện kế, khi nào thì kim điện kế lệch khỏi vạch số 0, khi nào thì kim điện kế không lệch ra khỏi vạch số 0.

Thực ra những thí nghiệm này đã được thực hiện ở lớp 9. Đó là những thí nghiệm dễ thực hiện và cũng dễ thành công.

GV cần gợi ý để HS nhận ra là, khi có sự chuyển động tương đối giữa ống dây và nam châm trong thí nghiệm trên Hình 38.1 SGK, hay khi từ trường qua ống dây thay đổi ở thí nghiệm trên Hình 38.2 SGK, thì số

đường sức thay đổi. Từ đó GV hướng dẫn HS đi đến kết luận rằng, khi số đường sức qua ống dây thay đổi thì trong ống xuất hiện dòng điện.

Để khắc sâu thêm điều kết luận trên đây GV có thể dùng gợi ý **C1**.

Trả lời **C1** : Khi đóng hay mở ngắt điện trong sơ đồ Hình 38.2 SGK thì từ trường trong ống dây biến đổi, nghĩa là số đường sức qua vòng dây biến đổi, vì vậy kim điện kế sẽ lệch khỏi vạch số 0.

2. Khái niệm từ thông

Khái niệm từ thông được định nghĩa bằng biểu thức 38.1. GV cần chỉ ra rằng theo định nghĩa đó thì từ thông là đại lượng đại số. Hình 38.3 SGK minh hoạ tính chất đại số của từ thông.

Tuy nhiên, trong SGK đưa ra một quy ước là nếu không có những điều kiện bắt buộc về chiều của vectơ pháp tuyến thì ta chọn chiều của vectơ pháp tuyến sao cho α là góc nhọn. Trong thực tế, hầu như ta luôn luôn có thể làm được điều đó.

Sau khi đưa ra định nghĩa từ thông, GV cần làm rõ ý nghĩa của từ thông : Từ thông qua diện tích S bằng số đường sức qua diện tích S được đặt vuông góc với đường sức.

GV dùng gợi ý **C2** để nhấn mạnh thêm về ý nghĩa của từ thông.

Trả lời **C2** : Từ thông qua diện tích S tăng lên hai lần, thì số đường sức từ qua diện tích đó cũng tăng lên hai lần.

Có một thắc mắc HS có thể nêu ra : theo định nghĩa thì từ thông không phải bao giờ cũng là một số nguyên, điều đó có nghĩa là số đường sức không phải là số nguyên. Chẳng hạn số đường sức là 38,7 có nghĩa là gì ?

Gợi ý giải đáp : khi nói 38,7 đường sức là cách nói theo quy ước ; và đó cũng là cách nói có ý nghĩa tương đối. Chẳng hạn khi nói tại điểm M có 38,7 đường sức qua diện tích S , tại điểm N có 77,4 đường sức qua cùng diện tích S đó thì ta hiểu rằng mật độ đường sức tại N lớn gấp 2 lần tại M , hay $B_N = 2B_M$.

3. Hiện tượng cảm ứng điện từ

Trong mục này, GV trình bày lần lượt về ba khái niệm như trong SGK.

Trước hết là khái niệm dòng điện cảm ứng. Đó là dòng điện xuất hiện trong mạch kín khi từ thông qua mạch biến đổi theo thời gian.

Sau đó, GV hướng dẫn HS đi đến khái niệm suất điện động cảm ứng. Việc đi đến khái niệm suất điện động cảm ứng trong mạch điện kín là dựa vào suy luận, có dòng điện thì phải có suất điện động, suất điện động sinh ra dòng điện cảm ứng gọi là suất điện động cảm ứng.

Cuối cùng, GV mới đưa ra khái niệm hiện tượng cảm ứng điện từ, đó là hiện tượng sinh ra suất điện động cảm ứng.

Chú ý rằng, việc trình bày các khái niệm trên phải theo thứ tự đã nói. Bởi vì dựa vào thí nghiệm ta đưa ra khái niệm dòng điện cảm ứng, còn việc đưa ra khái niệm suất điện động là dựa vào dòng điện cảm ứng. Cuối cùng, việc đưa ra khái niệm hiện tượng cảm ứng lại dựa vào khái niệm suất điện động cảm ứng. Chú ý rằng, định nghĩa hiện tượng cảm ứng điện từ không thể dựa trên dòng điện cảm ứng mà phải dựa trên suất điện động cảm ứng.

4. Chiều của dòng điện cảm ứng. Định luật Len-xơ

Mục đích cuối cùng của mục này là phát biểu được định luật Len-xơ. Để đi đến định luật đó, trước hết làm thí nghiệm theo sơ đồ như trên Hình 38.5 SGK.

Nhưng trước khi làm thí nghiệm, cần phải chỉ ra sự tương ứng giữa chiều dòng điện qua điện kế và phía lệch của kim điện kế. Nghĩa là GV phải giới thiệu trước để HS biết về sự tương ứng đó. Nhưng tốt nhất là GV giới thiệu về sự tương ứng đó không phải bằng lời nói mà bằng một thí nghiệm phụ trên lớp. Mắc ống dây nối tiếp với điện kế rồi sau đó nối hai đầu mạch điện vừa mắc vào hai cực của acquy. Bằng cách đó, HS sẽ biết sự tương ứng giữa chiều dòng điện qua điện kế và phía lệch của kim điện kế.

Sau đó GV tiến hành thí nghiệm như trong SGK. Quan sát phía lệch của kim điện kế thì biết được chiều dòng điện qua điện kế, cũng có nghĩa là chiều dòng điện cảm ứng trong ống dây. Biết được chiều dòng điện cảm ứng trong ống dây thì biết được cực của ống dây. Trong trường hợp cụ thể của thí nghiệm đã trình bày trên Hình 38.5 SGK, GV gợi ý để HS nhận ra rằng với chiều dòng điện như trên Hình 38.5a SGK thì đầu 1 của ống dây là cực Bắc, còn trên Hình 38.5b SGK thì đầu 1 của ống dây là cực Nam.

Bước tiếp theo, GV cần làm sao cho HS nhận ra rằng trong trường hợp thứ nhất từ trường của dòng điện cảm ứng như muốn ngăn cản nam châm lại gần ống dây, trường hợp thứ hai từ trường của dòng điện cảm ứng lại như muốn ngăn cản nam châm ra xa nó.

Rút ra được nhận xét đó thì việc đi đến phát biểu thành lời về định luật Len-xơ không còn khó khăn gì nữa.

Các gợi ý **C3**, **C4** giúp HS tập vận dụng định luật Len-xơ vừa nêu.

Trả lời **C3** : Chiều dòng điện trong ống dây không đổi vì theo định luật Len-xơ thì đầu 1 của ống dây vẫn phải là cực Bắc.

Trả lời **C4** : Theo định luật Len-xơ thì trong trường hợp này đầu 1 của ống dây phải là cực Nam, vậy dòng điện cảm ứng trong ống dây phải có chiều ngược với chiều đã vẽ trên Hình 38.5a SGK.

5. Định luật Fa-ra-đây về cảm ứng điện từ

Nội dung chính của mục này là ở công thức (38.2). Việc đưa ra công thức này chỉ bằng phương pháp thông báo.

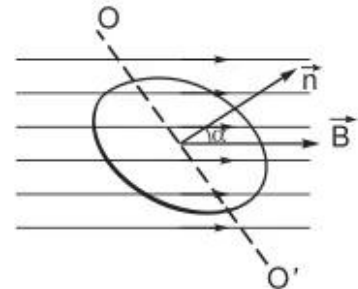
V - Hướng dẫn trả lời câu hỏi và giải bài tập

Câu hỏi

1. Xét một mặt phẳng diện tích S đặt trong từ trường đều B , vectơ cảm ứng từ hợp với vectơ pháp tuyến của S một góc α . Biểu thức $\Phi = BS \cos \alpha$ được gọi là từ thông qua diện tích S . Ta có thể chọn chiều của vectơ pháp tuyến sao cho từ thông là đại lượng dương.

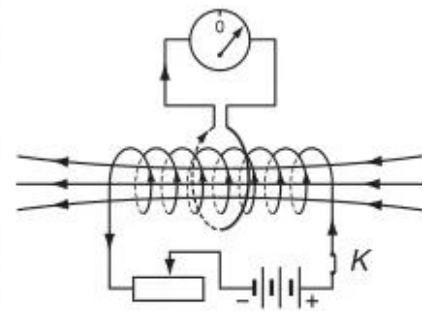
Ý nghĩa của từ thông : Từ thông qua diện tích S bằng số đường sức qua S nếu S được đặt vuông góc với đường sức.

2. Gọi góc hợp bởi vectơ pháp tuyến của mặt phẳng khung với đường sức là α như trên Hình 38.2 thì $\Phi = BS \cos \alpha$. Khi quay khung xung quanh OO' thì góc α biến đổi, nghĩa là từ thông qua khung biến đổi. Do đó, có dòng điện chạy trong khung dây.



Hình 38.2

3. Dòng điện cảm ứng có chiều sao cho từ trường do nó sinh ra có tác dụng chống lại nguyên nhân đã sinh ra nó.
4. Dòng điện cảm ứng trong vòng dây có chiều như trên Hình 38.3.
5. Kim điện kế không lệch khỏi vạch số không vì khi đó, số đường sức qua ống dây không đổi.



Hình 38.3

6. Đó là công thức (38.2) SGK:

$$e_c = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ hay } e_c = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Bài tập

1. C. Khi đó từ thông qua khung tăng dần.

2. A. $e_{c_1} = e_{c_2} = \frac{0,6}{0,2} = 3 \text{ V.}$

3. D. Nếu pháp tuyến với khung dây hướng từ phía trước ra phía sau mặt phẳng hình vẽ thì chiều dòng điện cảm ứng là chiều $MNPQM$. Nếu pháp tuyến có chiều ngược lại thì chiều dòng điện cảm ứng lại là chiều $MQPNM$.

4. Áp dụng công thức $\Phi = BS \cos\alpha$, trong đó đã biết $S = 3.4.10^{-4} \text{ m}^2$; $B = 5.10^{-4} \text{ T}$; vì vectơ pháp tuyến hợp với mặt phẳng một góc 30° nên vectơ pháp tuyến hợp với đường sức từ góc 60° , vậy $\cos\alpha = \cos 60^\circ = 0,5$. Từ đó tính được Φ .

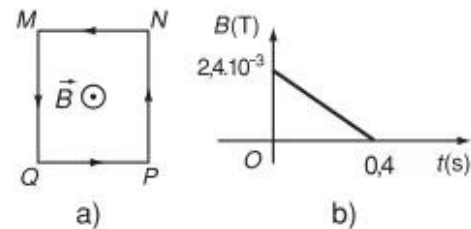
5. Vẫn áp dụng công thức $\Phi = BS \cos\alpha$, trong đó đã biết $S = 5^2.10^{-4} \text{ m}^2$, $B = 4.10^{-4} \text{ T}$, $\Phi = 10^{-6} \text{ Wb}$. Từ đó tính được $\cos\alpha$ và suy ra α .

6. Từ thông qua khung dây : $\Phi = NBS \cos\alpha$. Vì cuối cùng từ thông bằng không, nên $|\Delta\Phi| = \Phi = NBS \cos\alpha$. Độ lớn của suất điện động cảm ứng trong khung dây là : $|e_c| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \frac{NBS \cos\alpha}{\Delta t}$; trong đó đã biết $N = 10$; $B = 2.10^{-4} \text{ T}$; $S = 20.10^{-4} \text{ m}^2$; $\cos\alpha = \cos 60^\circ = 0,5$; $\Delta t = 0,01 \text{ s}$. Từ đó tính được $|e_c|$.

7. a) Từ thông qua khung dây tại lúc $t = 0$ là $\Phi = NBS$. Lúc $t = 0,4 \text{ s}$ thì $B = 0$ nên từ thông qua khung bằng không. Do đó ta có $|\Delta\Phi| = \Phi = NBS$, trong đó đã biết $N = 10$; $B = 2,4.10^{-3} \text{ T}$; $S = 25.10^{-4} \text{ m}^2$. Từ đó tính ra $\Delta\Phi$.

b) $|e_c| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$, ở đây $\Delta\Phi$ đã tính được từ câu a), còn $\Delta t = 0,4 \text{ s}$. Từ đó tính được $|e_c|$.

c) Dòng điện cảm ứng trong khung có chiều như trên Hình 38.4.



Hình 38.4