

Một thí nghiệm đơn giản kiểm chứng định lý biến thiên động năng trong điện trường và từ trường nhằm phát triển năng lực của sinh viên khối kỹ thuật

Dương Văn Lợi *

* Trường Đại học Phenikaa

Received: 22/11/2024; Accepted: 29/11/2024; Published: 10/12/2024

Abstract: We present a simple experiment to verify the work-energy theorem in electric and magnetic fields to develop engineering students' learning and research capacity. An electron is accelerated by a voltage U from rest. Next, the electron is put into a uniform magnetic field generated by a constant current I . Under the effect of the magnetic force acting as a centripetal force, the electron moves uniformly in a circular orbit, radius r . The work of the electric force is proportional to U , the work of the magnetic force is 0, while the final kinetic energy of the electron can be determined through I and r . Hence, the relationship between the kinetic energy change and the external force's work can be verified. We built the experiment and performed investigations. The obtained experimental results demonstrate that the work-energy theorem is correct.

Keywords: Electric force, magnetic force, work, the work-energy theorem.

1. Đặt vấn đề

Một quá trình vật lý thường liên quan đến nhiều mảng kiến thức khác nhau. Điều này có thể gây ra những khó khăn nhất định cho quá trình học tập của sinh viên nhưng nó cũng mang đến các kết nối kiến thức, thúc đẩy sự tìm hiểu, phân tích và đánh giá từ người học. Thêm nữa, một quá trình vật lý như thế giúp người học củng cố, hệ thống hóa và hiểu sâu sắc kiến thức, từ đó nâng cao khả năng vận dụng kiến thức.

Điện trường và từ trường là các nội dung quan trọng trong học phần Vật lý đại cương, có tính ứng dụng cao, nhất là đối với các ngành khối kỹ thuật. Mặc dù phần kiến thức này không quá phức tạp về mặt toán học nhưng lại khá trừu tượng với người học do các đại lượng vật lý liên quan không thể quan sát trực tiếp và ít gặp trong đời sống hằng ngày. Ngoài ra, các phần kiến thức khác trong học phần này như động học, động lực học, và năng lượng, mà sinh viên đã được tìm hiểu trước đó, là cần thiết được củng cố [1-4]. Do vậy, một thí nghiệm trực quan đáp ứng các yêu cầu trên là cần thiết.

2. Nội dung nghiên cứu

Chúng tôi xây dựng một thí nghiệm đơn giản, trong đó các electron, sau khi được tạo ra, sẽ thực hiện các chuyển động dưới sự chi phối của lực điện trường và lực từ trường. Xác định được động năng lúc đầu và lúc cuối của electron, và công của các

ngoại lực tác động lên electron trong suốt quá trình giúp chúng ta kiểm nghiệm lại định lý biến thiên động năng.

2.1. Cơ sở lý thuyết

a. Định lý biến thiên động năng

Độ biến thiên động năng của một chất điểm trên một đoạn đường dịch chuyển bất kỳ bằng công của các ngoại lực đặt vào chất điểm trong đoạn đường dịch chuyển đó, $\Delta W \equiv W - W_0 = A$, (1)

trong đó W_0 và W lần lượt là động năng lúc đầu và lúc sau của chất điểm và A là công của các ngoại lực tác dụng lên chất điểm [1, 3].

b. Chuyển động của electron trong điện trường đều

Một điện trường đều được tạo ra trong không gian nằm giữa hai tấm điện cực phẳng, đặt song song cách nhau khoảng d , kết nối với các cực của một nguồn điện không đổi U , sẽ có cường độ điện trường $E = U/d$. Khi một electron, có khối lượng m và điện tích q , được đưa vào điện trường đều, ở vị trí sát bản cực âm, nó sẽ chịu tác dụng của lực điện trường có cường độ $F = |q|E = |q|U/d$, và được gia tốc, chuyển động hướng tới bản cực dương. Công của lực điện trường tác động lên electron trên đoạn đường dịch chuyển d là [2, 4]

$$A = Fd = |q|U. \quad (2)$$

Gọi V là vận tốc cuối mà electron đạt được, động năng của electron khi đó là

$$W = \frac{1}{2}mv^2. \quad (3)$$

c. Từ trường sinh bởi dòng điện tròn

Cảm ứng từ do một dòng điện không đổi I chạy trong một vòng dây dẫn hình tròn bán kính R gây ra tại một điểm trên trục vòng dây và cách tâm vòng dây một khoảng h được cho bởi [2, 4]

$$B = 2\pi \cdot 10^{-7} IR^2 (R^2 + h^2)^{-3/2}. \quad (4)$$

Trong thí nghiệm, để tạo ra một từ trường đều đủ mạnh, chúng tôi sử dụng hai cuộn dây đặt gần nhau, mỗi cuộn dây chứa n = 154 vòng dây bán kính R. Khi đó, một dòng điện không đổi có cường độ dòng điện I chạy trong các vòng dây sẽ gây ra một từ trường gần như đều trong không gian giữa hai cuộn dây. Độ lớn vector cảm ứng từ của từ trường này được xác định bởi biểu thức $B = 0,8^{3/2} 4\pi n 10^{-7} I / R$, (5)

ở đây thừa số (4/5)^{3/2} liên quan đến vị trí tương đối giữa hai cuộn dây.

d. Chuyển động của electron trong từ trường đều

Khi electron được bắn vào một từ trường đều với vận tốc \vec{v} theo hướng vuông góc với cảm ứng từ \vec{B} nó sẽ chịu tác dụng của lực từ trường hay còn được gọi là lực Lorentz $\vec{f}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$, ở đây “ \times ” là tích có hướng. Lực Lorentz \vec{f}_L vuông góc với cả vận tốc \vec{v} và cảm ứng từ \vec{B} , và có độ lớn là [2, 4] $f_L = |q|vB$. (6)

Do đó, lực Lorentz đóng vai trò lực hướng tâm (bỏ qua trọng lực vì rất nhỏ), $f_L = mv^2 / r$, (7) giữ electron chuyển động trên quỹ đạo tròn trong mặt phẳng vuông góc với cảm ứng từ \vec{B} . Lưu ý, lực Lorentz trong trường hợp này là không sinh công [1-4].

e. Kiểm nghiệm định lý biến thiên động năng

Nếu bỏ qua vận tốc ban đầu của electron, chúng tôi có $\Delta W \square W = q^2 B^2 r^2 / 2m$. (8)

Do vậy đại lượng

$$\delta = \frac{|\Delta W - A|}{A} = \frac{|4,096 \cdot 10^{-14} \pi^2 |q| n^2 I^2 r^2 - mR^2 U|}{mR^2 U} \quad (9)$$

cho biết độ chênh lệch giữa độ biến thiên động năng của electron và công của các ngoại lực tác dụng lên electron.

2.2. Dụng cụ thí nghiệm

Để tiến hành thí nghiệm, chúng tôi sử dụng bộ dụng cụ thí nghiệm hiện có tại phòng thí nghiệm Vật

lý đại cương của Trường Đại học Phenikaa (Hình 1), bao gồm:

(1) Bóng thủy tinh chứa hơi thủy ngân. Bên trong đặt một nguồn sinh electron, một ống gia tốc electron, và một thước đo với các bước 2 cm, 3 cm, 4 cm, và 4 cm dùng để xác định bán kính quỹ đạo r .

(2) Cặp cuộn dây, mỗi cuộn có n vòng dây với bán kính R, dùng để tạo ra một từ trường B gần như đều bên trong không gian giữa hai cuộn dây.

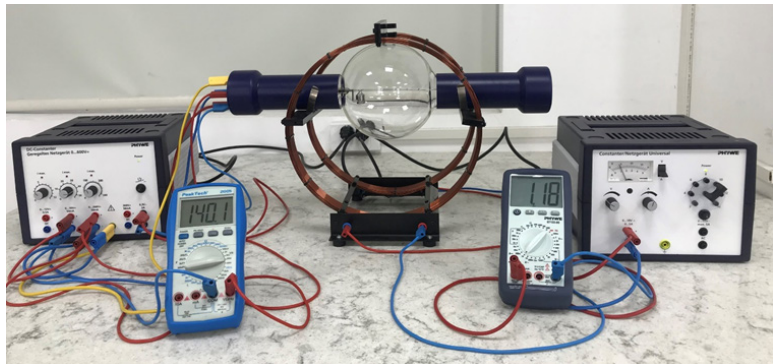
(3) Nguồn cung cấp dòng điện không đổi I cho hai cuộn dây để sinh từ trường.

(4) Đồng hồ vạn năng dùng đo cường độ dòng điện I.

(5) Nguồn cung cấp điện áp U gia tốc các electron. Bộ nguồn này cũng cung cấp dòng điện để nuôi nguồn phát electron trong bóng thủy tinh.

(6) Đồng hồ vạn năng đo điện áp U.

(7) Các dây dẫn kết nối giữa các dụng cụ thí nghiệm.



Chúng tôi lưu ý rằng bộ thí nghiệm này được thiết kế ban đầu cho xác định điện tích riêng của electron [5]. Gần đây, chúng tôi cũng đã dùng nó để nghiệm lại định luật 2 Newton [6].

2.3. Các bước tiến hành thí nghiệm

Bước 1. Điều chỉnh nguồn cung cấp điện áp (5) thông qua các nút chỉnh thô và chỉnh tinh để đồng hồ vạn năng (6) chỉ giá trị điện áp U = 140 (V).

Bước 2. Điều chỉnh nguồn cung cấp dòng điện (3) để nhận được cường độ dòng điện I sao cho bán kính quỹ đạo tròn của các electron thỏa mãn r = 2 (cm), tức là quỹ đạo của chùm electron cắt qua bước 2 cm của thước đo, và khi đó chỉ một nửa đường tròn quỹ đạo phía trên thang đo được quan sát thấy.

Bước 3. Lặp lại bước 2 cho r = 3, 4 (cm).

Bước 4. Lặp lại các bước trên với các giá trị điện áp khác, cụ thể U = 160, 180, ..., 300 (V).

2.4. Kết quả thí nghiệm

Các kết quả đo được trình bày trong ba cột đầu tiên của bảng 2.1 bên dưới. Sử dụng các hằng số,

$$m = 9,109.10^{-31} \text{ kg}, |q| = 1,602.10^{-19} \text{ C} \quad (10)$$

$$\pi = 3,142, n = 154, R = 0,2\text{m},$$

và các biểu thức ở trên, cũng như lý thuyết sai số, chúng tôi tính được các giá trị của công (cột thứ tư, bảng 1), động năng cuối (cột thứ năm, bảng 1), và chênh lệch giữa độ biến thiên động năng và công (cột cuối cùng, bảng 2.1).

3. Kết luận

Một phương án thí nghiệm đơn giản phục vụ cho quá trình giảng dạy và học tập phần điện trường và từ trường đã được đề xuất. Thí nghiệm cũng giúp người học củng cố các kiến thức về động học, động lực học, và năng lượng. Với sai lệch dưới 1%, kết quả thí nghiệm của chúng tôi một lần nữa khẳng định tính đúng đắn của định lý biến thiên động năng.

Tài liệu tham khảo

[1] Lương Duyên Bình (chủ biên) (2014), *Vật lý đại cương – Tập 1: Cơ - Nhiệt*, NXB Giáo dục Việt Nam.

[2] Lương Duyên Bình, Dư Chí Công, Nguyễn Hữu Hồ (2009), *Vật lý đại cương – Tập 2: Điện - Dao động - Sóng*, NXB Giáo dục.

[3] Trần Ngọc Hợp (chủ biên), Phạm Văn Thiều (2006), *Vật lý đại cương: các nguyên lý và ứng dụng – Tập 1: Cơ học và nhiệt học*, NXB Giáo dục.

[4] Trần Ngọc Hợp (chủ biên), Phạm Văn Thiều (2006), *Vật lý đại cương: các nguyên lý và ứng dụng – Tập 2: Điện, từ, dao động và sóng*, NXB Giáo dục.

[5] <https://www.phywe.com/experiments-sets/university-experiments>.

[6] Dương Văn Lợi (2024), *Thí nghiệm kiểm chứng định luật 2 Newton với chuyển động tròn đều trong giảng dạy vật lý đại cương cho sinh viên khối kỹ thuật*, Tạp chí Giáo dục và Xã hội.

Bảng 2.1. Kết quả thí nghiệm

U (V)	r (cm)	I (A)	$A \times 10^{19}$ (J)	$W \times 10^{19}$ (J)	δ (%)
140	2	2,89	$224,28 \pm 0,16$	$225,67 \pm 12,84$	$0,62 \pm 0,04$
	3	1,91		$221,78 \pm 9,71$	$1,12 \pm 0,05$
	4	1,44		$224,11 \pm 8,72$	$0,08 \pm 0,00$
160	2	3,07	$256,32 \pm 0,16$	$254,65 \pm 14,39$	$0,65 \pm 0,04$
	3	2,04		$252,99 \pm 10,91$	$1,30 \pm 0,06$
	4	1,53		$252,99 \pm 9,63$	$1,30 \pm 0,05$
180	2	3,28	$288,36 \pm 0,16$	$290,68 \pm 16,31$	$0,80 \pm 0,05$
	3	2,17		$286,27 \pm 12,18$	$0,73 \pm 0,03$
	4	1,64		$290,68 \pm 10,81$	$0,80 \pm 0,03$
200	2	3,44	$320,40 \pm 0,16$	$319,73 \pm 17,85$	$0,21 \pm 0,01$
	3	2,30		$321,59 \pm 13,51$	$0,37 \pm 0,02$
	4	1,72		$319,73 \pm 11,71$	$0,21 \pm 0,01$
220	2	3,63	$352,44 \pm 0,16$	$356,03 \pm 19,76$	$1,02 \pm 0,06$
	3	2,40		$350,17 \pm 14,59$	$0,65 \pm 0,03$
	4	1,81		$354,07 \pm 12,76$	$0,46 \pm 0,02$
240	2	3,79	$384,48 \pm 0,16$	$388,10 \pm 21,45$	$0,94 \pm 0,05$
	3	2,53		$389,13 \pm 16,05$	$1,21 \pm 0,05$
	4	1,89		$386,06 \pm 13,74$	$0,41 \pm 0,01$
280	2	3,95	$416,52 \pm 0,16$	$421,56 \pm 23,21$	$1,21 \pm 0,07$
	3	2,63		$420,50 \pm 17,21$	$0,95 \pm 0,04$
	4	1,97		$419,43 \pm 14,74$	$0,70 \pm 0,02$
300	2	4,10	$448,56 \pm 0,16$	$454,19 \pm 24,93$	$1,25 \pm 0,07$
	3	2,73		$453,08 \pm 18,42$	$1,01 \pm 0,04$
	4	2,05		$454,19 \pm 15,79$	$1,25 \pm 0,04$
Trung bình					$0,80 \pm 0,04$