

## THIẾT KẾ, ĐÁNH GIÁ THÍ NGHIỆM DỰA TRÊN HIỆN TƯỢNG CẢM ỨNG ĐIỆN TỪ HỖ TRỢ DẠY HỌC VẬT LÝ ĐẠI CƯƠNG

Phan Nguyễn Đức Dược<sup>1</sup>, Phạm Đức Tâm<sup>1</sup>, Hồ Sơn Thịnh<sup>2</sup>

### TÓM TẮT

Trong báo cáo này, dựa trên cơ sở hiện tượng cảm ứng điện từ và định luật Lenz, tác giả đã thiết kế mô hình nam châm rơi trong các loại ống khác nhau gồm ống nhựa, ống nhôm, ống đồng không xẻ dọc và ống đồng có xẻ dọc. Kết quả phân tích cho thấy, các loại ống cách điện (ống nhựa) không ảnh hưởng đến quá trình rơi tự do của thanh nam châm. Các loại ống kim loại (nhôm, đồng) gây ra lực cản tương đối lớn cho thanh nam châm khi rơi trong nó, kết quả phân tích cho thấy tốc độ rơi trung bình của nam châm trong ống đồng đã giảm đi gần 16 lần so với trong ống nhựa, và giảm đi khoảng 9 lần khi sử dụng ống nhôm so với ống nhựa. Thời gian rơi trong ống đồng xẻ dọc cũng cho kết quả gần bằng với ống đồng không xẻ dọc, điều này cho thấy dòng điện xoáy xuất hiện trong ống kim loại không chỉ đi theo vòng tròn theo phương bán kính mà có thể xoáy theo nhiều phương khác nhau trên bề mặt ống kim loại. Kết quả cũng cho thấy tốc độ rơi của nam châm trong ống kim loại nhanh chóng đạt giá trị không đổi trong khoảng thời gian ngắn.

**Từ khóa:** Cảm ứng điện từ, định luật Lenz, ống đồng, vật lý đại cương.

### 1. Đặt vấn đề

Các định luật vật lý có vai trò rất quan trọng trong khoa học kỹ thuật và cuộc sống, mỗi định luật vật lý đều là cơ sở để xây dựng, thiết kế các thiết bị khoa học, kỹ thuật hoặc các dụng cụ trong cuộc sống. Các thiết bị kỹ thuật được ứng dụng trong vật lý thông thường được xây dựng dựa trên các mô hình vật lý. Do đó các mô hình vật lý đóng vai trò rất quan trọng, tạo ra nền tảng cơ bản để xây dựng các hệ thống kỹ thuật phức tạp hơn. Một trong các hiện tượng vật lý rất đặc biệt, có nhiều ứng dụng cho đến ngày nay là hiện tượng cảm ứng điện từ, sự biến thiên của từ thông trong vòng dây dẫn kín sẽ tạo ra dòng điện trong vòng dây đó [1]. Đây là định luật cơ bản để từ đó giúp chúng ta phát triển hệ thống điện xoay chiều ngày nay như thủy điện, điện gió, nhiệt điện, điện hạt nhân. Một trường hợp riêng khác của hiện tượng cảm ứng điện từ ít được quan tâm hơn đó là sự biến thiên của từ thông qua khối vật dẫn hay qua một ống vật dẫn, sự thay đổi từ thông trong trường hợp này dẫn đến một điện trường xoáy bên trong vật dẫn hoặc sinh ra lực cản chống lại sự chuyển động của vật [2]. Việc sinh ra dòng điện xoáy dẫn đến các ứng dụng đặc biệt trong đó có bếp điện từ, nhưng cũng gây ra tác hại đối với khối kim loại bên trong máy biến áp. Trong khi đó, hiện tượng cảm ứng điện từ tạo ra lực cản chống lại sự chuyển động của một vật trong lòng vật dẫn chưa thấy có nhiều nghiên cứu khảo sát và ứng dụng. Trong nghiên cứu của Sahil Jian và cộng sự [3], các tác giả đã trình bày cơ sở lý thuyết của hiện tượng cảm ứng điện từ và định luật Lenz khi nam châm rơi trong ống đồng, ngoài ra nhóm nghiên cứu trên cũng đã khảo sát thực nghiệm tốc độ rơi của thanh nam châm phụ thuộc vào bề dày của ống đồng (theo số lớp). Tuy nhiên,

nhóm chưa tiến hành khảo sát kỹ ảnh hưởng của các loại vật liệu (độ dẫn điện) và đánh giá thực nghiệm sự khác nhau giữa ống đồng có hoặc không có xẻ dọc. Do đó trong báo cáo này, tác giả phân tích chi tiết một số yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ rơi của nam châm như loại vật liệu làm ống, tính chất của chuyển động trong ống kim loại và ảnh hưởng của ống đồng có hoặc không có xẻ dọc. Kết quả phân tích mở ra các ý tưởng nghiên cứu rộng hơn như xây dựng thiết bị chống rơi tự do, hệ thống chống rung cho xe, hoặc hệ thống chống dao động mạnh cho tàu thuyền.

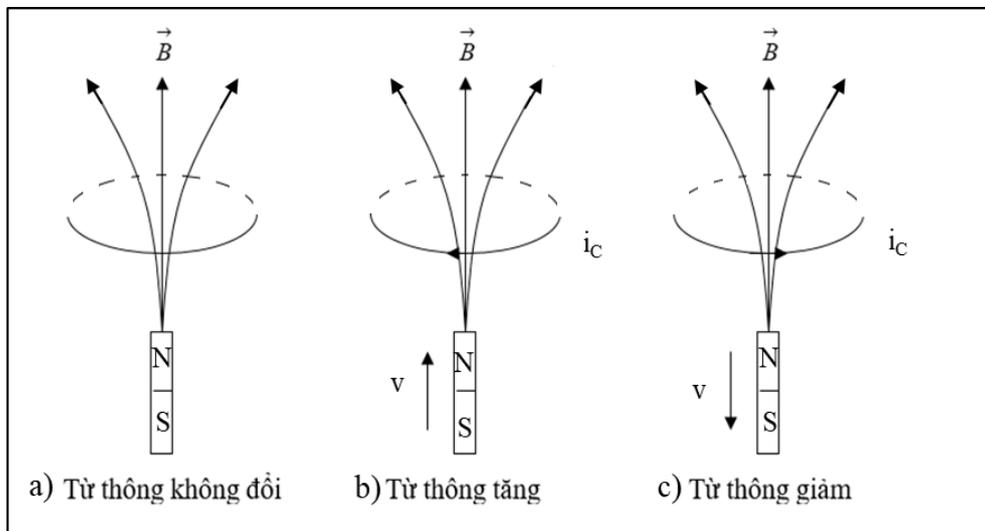
## 2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Như chúng ta đã biết, khi có từ trường đi qua khung dây dẫn kín, trong khung dây xuất hiện từ thông và được xác định theo hệ thức:

$$\Phi_m = \int_{(S)} \vec{B} d\vec{S} \quad (1)$$

Trong đó  $\vec{B}$  là vectơ cảm ứng từ (T),  $S$  là tiết diện của vòng dây ( $m^2$ ). Khi không có sự thay đổi của từ trường gửi qua khung dây, trong khung dây không xuất hiện dòng điện. Tuy nhiên khi có sự thay đổi của từ trường gửi qua khung dây thì trong khung dây xuất hiện dòng điện cảm ứng (Hình 1). Một cách tổng quát, sự biến thiên của từ thông gây ra dòng điện cảm ứng trong khung dây dẫn kín.



**Hình 1.** Dòng điện cảm ứng xuất hiện trong vòng dây khi từ thông thay đổi

Khi nghiên cứu về hiện tượng cảm ứng điện từ, Lenz đã tìm ra định luật tổng quát về chiều của dòng điện, và được tổng kết thành định luật Lenz:

*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*

Từ thông qua mạch kín tỉ lệ với tiết diện của vòng dây và độ lớn của từ trường, trong trường hợp tiết diện vòng dây không đổi khi số đường sức từ đâm xuyên qua vòng

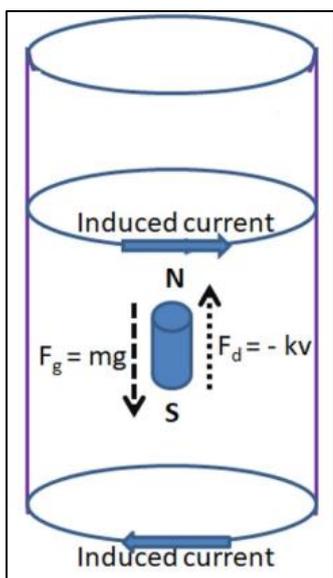
dây tăng lên nghĩa là từ trường B tăng lên và từ thông tăng lên. Do đó để chống lại sự tăng lên của từ thông, trong vòng dây xuất hiện một dòng điện cảm ứng, dòng điện cảm ứng này sinh ra một từ trường phụ chống lại sự tăng lên đó, nghĩa là chống lại sự tăng lên của từ trường, hay ngược chiều với từ trường ngoài. Sau khi đã xác định được chiều của từ trường cảm ứng, ta xác định được chiều của dòng điện cảm ứng.

Ta xét trường hợp một nam châm rơi vào trong một ống kim loại (Hình 2). Trong quá trình rơi, từ thông gửi qua ống kim loại tăng dần nên xuất hiện suất điện động trong ống dây và từ trường cảm ứng chống lại sự rơi của nam châm. Lực tác dụng lên nam châm có hệ thức:

$$F = k_1v + k_2v^2 \quad (2)$$

Thông thường, tốc độ rơi của nam châm rất nhỏ do đó hệ số  $v^2$  được bỏ qua. Trong quá trình rơi, nam châm chịu tác dụng của lực cản không khí, tuy nhiên lực này thường rất bé nên cũng được bỏ qua. Do đó trong khoảng thời gian đầu, tốc độ chuyển động của vật tăng dần và phương trình chuyển động tuân theo hệ thức:

$$m \frac{dv}{dt} = mg - kv \quad (3)$$



Sau một khoảng thời gian ngắn, tốc độ chuyển động của nam châm đạt giá trị không đổi và bằng:

$$v = \alpha \frac{mga^4}{w} \quad (4)$$

Trong đó:  $\alpha$  là hệ số tỷ lệ,  $m$  là khối lượng của nam châm,  $a$  là bán kính của ống kim loại và  $w$  là bề dày của ống kim loại.

Như vậy, để giảm tốc độ rơi của nam châm, chúng ta cần tìm cách làm giảm khối lượng, bán kính ống hoặc có thể tăng độ dày của ống kim loại.

**Hình 2.** Nam châm rơi trong ống kim loại

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong thí nghiệm này, tác giả sử dụng 4 loại ống có vật liệu khác nhau, gồm 1 ống nhựa, 1 ống nhôm, 1 ống đồng khép kín và 1 ống đồng bị xẻ dọc (Hình 3).

Ống nhựa có chiều dài 70 cm, đường kính trong 20 mm, bề dày ống 1 mm.

Ống nhôm có chiều dài 70 cm, đường kính trong 20 mm, bề dày ống 0,7 mm.

Ống đồng (không xẻ dọc và có xẻ dọc) đều có chiều dài 70 cm, đường kính trong 20 mm, bề dày 1 mm, đường xẻ dọc rộng 2 mm.

Nam châm được sử dụng là nam châm hình trụ, có đường kính 14 mm và chiều dài 12 mm (4 nam châm trụ tròn ghép lại).



**Hình 3.** Các loại ống được sử dụng để khảo sát tốc độ rơi của nam châm

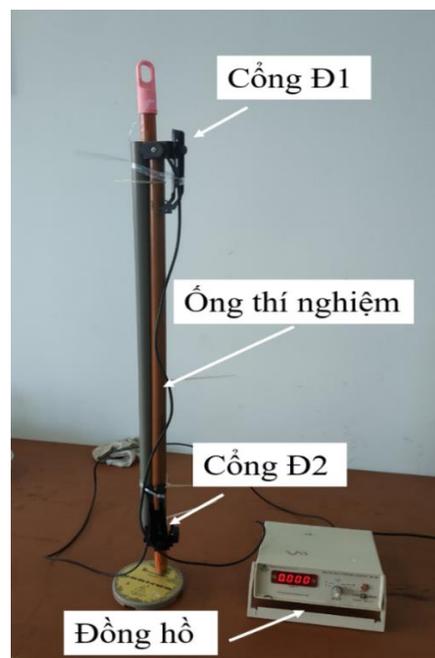
Hệ thí nghiệm để khảo sát thời gian rơi của thanh nam châm trong các loại ống vật liệu được bố trí như trong Hình 4. Trong thí nghiệm này, tác giả sử dụng các ống vật liệu gắn dọc theo trục thẳng đứng từ trên xuống. Hai đầu ống được gắn 2 cổng cảm biến Đ1 và Đ2, đây là 2 cổng cảm biến hồng ngoại được kết nối với đồng hồ đo thời gian.

Khi nam châm bắt đầu rơi qua cổng cảm biến Đ1, đồng hồ đo thời gian bắt đầu hoạt động và dừng lại khi nam châm vừa rơi qua cảm biến Đ2, khi đó đồng hồ đo hiện khoảng thời gian rơi của nam châm sau khi đi qua các ống vật liệu.

Để khảo sát tốc độ chuyển động của nam châm trong ống vật liệu, tác giả tạo một lỗ nhỏ xuyên ngang ống với các vị trí cách đầu ống lần lượt 3, 5, ..., 15 cm, sau đó đo thời gian nam châm đi ngang qua cổng cảm biến Đ1 ( $\Delta t$ ) và lập tỷ số  $L/\Delta t$  để xác định tốc độ của nam châm theo quãng đường khác nhau. Với  $L = 1,2$  cm là chiều cao nam châm.

### 3. Kết quả nghiên cứu

**Khảo sát thời gian rơi:** Hai cổng cảm biến hồng ngoại Đ1 và Đ2 có chức năng xác định thời điểm vật đi vào và đi ra ống, đồng hồ đo thời gian có khoảng chia nhỏ nhất lên đến 0,001 giây. Các kết quả đo thời gian được đánh giá như trong Bảng 1.



**Hình 4.** Mô hình khảo sát chuyển động của nam châm trong các loại ống

+ Với trường hợp ống nhựa: Nam châm rơi gần như tự do bên trong ống, bằng cách xác định quãng đường vật rơi và thời gian rơi, ta có thể xác định được gia tốc trọng trường tại điểm làm thí nghiệm theo hệ thức:  $s = \frac{1}{2}gt^2$ . Với  $s = 0,7m$ ,  $\bar{t} = 0,378s$  ta dễ dàng xác định được gia tốc trọng trường tại điểm làm thí nghiệm vào cỡ  $9,798 m/s^2$ .

+ Khi thả nam châm vào ống nhôm, tốc độ rơi đã giảm đi đáng kể. Tốc độ đã giảm của thanh nam châm được giải thích thông qua định luật Lenz, một dòng điện xoáy trong ống nhôm được sinh ra chống lại sự tăng lên của từ thông do thanh nam châm rơi vào ống. Từ trường của ống nhôm sinh ra lực từ chống lại trọng lực của nam châm, dẫn đến nam châm giảm tốc độ. Kết quả đánh giá cho thấy thời gian rơi đã tăng lên gần 10 lần và đạt giá trị trung bình vào khoảng 3,112 giây.

Các kết quả nghiên cứu cũng cho thấy sau một thời gian ngắn chuyển động trong ống vật dẫn, nam châm sẽ chuyển động thẳng đều [4, 5]. Từ kết quả thu được, tốc độ trung bình của nam châm trong trường hợp này là  $\bar{v} = s / \bar{t} = 22,5 \text{ cm/s}$ .

**Bảng 1.** Kết quả đo thời gian khi cho nam châm rơi trong các loại ống dài 70 cm

Loại ống/Lần đo	1	2	3	4	5	TB
Ống nhựa	0,377	0,378	0,377	0,379	0,378	<b>0,378</b>
Ống nhôm	3,112	3,111	3,113	3,113	3,113	<b>3,112</b>
Ống đồng không xẻ dọc	5,264	5,266	5,264	5,265	5,264	<b>5,265</b>
Ống đồng xẻ dọc	5,012	5,014	5,013	5,013	5,013	<b>5,013</b>

Khi thả nam châm vào ống đồng không xẻ dọc, thanh nam châm rơi rất chậm với thời gian rơi trung bình vào khoảng 5,265 giây. Thời gian đã tăng lên khoảng 14 lần so với rơi tự do (rơi trong ống nhựa) và tăng lên khoảng 1,7 lần so với ống nhôm có cùng chiều dài và đường kính trong. Điều này cho thấy tốc độ rơi phụ thuộc vào loại vật liệu để làm ống, và các kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra rằng thời gian rơi có tỷ lệ với độ dẫn điện của vật liệu cũng như bề dày của ống [6]. Ống đồng có bề dày khoảng 1 mm lớn hơn so với ống nhôm, mặt khác vật liệu đồng có độ dẫn điện cao hơn nhôm, do đó lực từ sinh ra lớn hơn và nhanh chóng chống lại trọng lực để đạt trạng thái cân bằng. Tốc độ trung bình của thanh nam châm di chuyển trong ống đồng vào khoảng 13,3 cm/s.

Đối với trường hợp ống đồng có xẻ dọc, việc xẻ dọc ống đồng để xác nhận việc dòng điện xoáy trong ống đồng biến thiên theo đường tròn hay biến thiên xoáy trong toàn bộ vật dẫn, kết quả cho thấy tốc độ rơi của nam châm cũng giảm đi đáng kể và gần bằng với trường hợp ống đồng không xẻ dọc với thời gian rơi vào khoảng 5,013 giây. Điều

này cho thấy dòng điện xoáy xuất hiện không chỉ theo đường tròn của ống đồng mà nó xuất hiện trên toàn bộ ống.

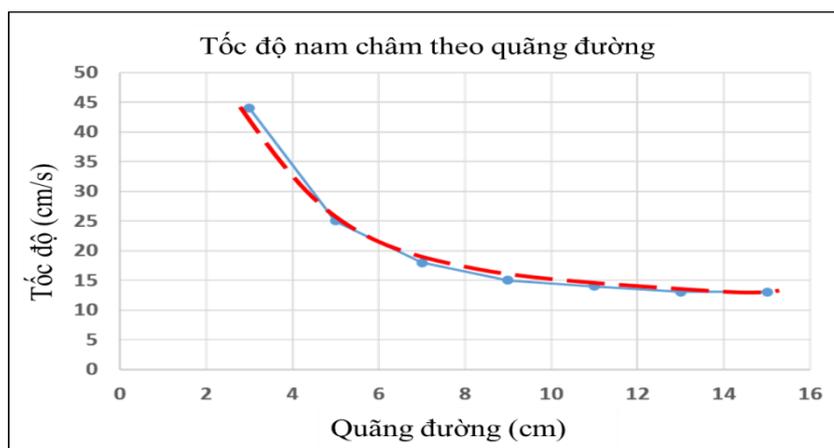
Kết quả phân tích cho thấy có thể nghiên cứu ứng dụng của hiện tượng trên trong các ứng dụng rộng hơn như hệ thống thoát hiểm, chống rơi tự do. Kết quả cho thấy, nếu mở rộng ống đồng với kích thước lớn hơn, nam châm có thể thay bằng hệ thống lớn hơn. Chúng ta có thể sử dụng trong trường hợp chống rơi tự do, sử dụng hệ thiết bị này để giải phóng mọi người ra khỏi vùng nguy hiểm.

**Khảo sát tốc độ theo quãng đường:** Trong thí nghiệm này, tác giả tiến hành đo tốc độ của nam châm tại các vị trí khác nhau để khảo sát sự thay đổi tốc độ chuyển động của nam châm theo quãng đường. Kết quả phân tích như được chỉ ra trong Bảng 2 và mô tả như ở trong Hình 5. Nam châm đạt tốc độ cực đại vào khoảng 44 cm/s tại quãng đường 3 cm, sau đó giảm nhanh khi tăng quãng đường lên và đạt giá trị không thay đổi vào khoảng 13 cm/s sau khi đi được 15 cm.

**Bảng 2.** Tốc độ chuyển động theo quãng đường

Quãng đường (cm)	3	5	7	9	11	13	15
Tốc độ (cm/s)	44	25	18	15	14	13	13

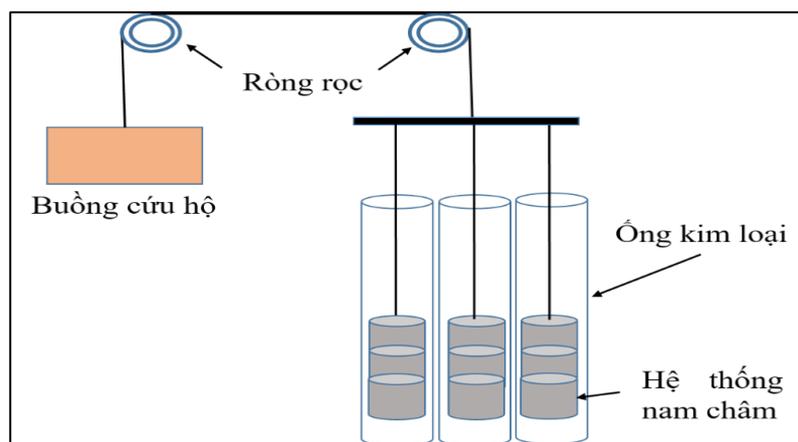
Kết quả Fit hàm cho thấy trong khoảng từ 3 đến 11 cm, tốc độ của nam châm giảm nhanh theo hàm mũ (đường nét đứt). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu trước đây của nhóm tác giả khác [4, 7], sự giảm nhanh theo hàm mũ cho thấy trong quá trình rơi, ngoài việc chịu tác dụng của trọng lực, nam châm còn chịu tác dụng của lực từ, lực từ này tăng dần khi nam châm rơi càng nhanh đến một lúc lực từ cân bằng với trọng lực, lúc này nam châm sẽ chuyển động đều. Điều này phù hợp với kết quả đánh giá từ phương trình (3).



**Hình 5.** Biểu đồ tốc độ rơi theo quãng đường

Đánh giá hiệu quả của ý tưởng chống rơi tự do: Hệ thống chống rơi tự do có thể hiểu như một hệ thống thang máy nhưng được vận hành không sử dụng điện mà dựa trên hiện tượng cảm ứng điện từ khi cho nam châm chuyển động trong ống đồng có kích

thước lớn. Trong đó có gắn một hoặc một số bộ phận hỗ trợ giúp con người nhanh chóng thoát hiểm ở độ cao nhất định xuống mặt đất khi xảy ra sự cố, hệ thống này có thể được mô tả như Hình 6. Khi xảy ra các sự cố nguy hiểm ở tầng cao, một người có thể vào buồng cứu hộ để đi xuống mặt đất. Do tác dụng của trọng lực của người, buồng cứu hộ sẽ chuyển động đi xuống dẫn đến các nam châm được kéo ngược đi lên, do hiện tượng cảm ứng điện từ, dòng điện sinh ra trong ống kim loại làm giảm chuyển động của nam châm và làm cho hệ thống chuyển động đều với tốc độ đủ an toàn khi buồng cứu hộ xuống mặt đất.



**Hình 6.** Hệ thống cứu hộ chống rơi tự do

Ngoài hệ thống chống rơi tự do, hiện tượng cảm ứng điện từ trong ống kim loại có thể được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu khác như chống rung và giảm xóc cho xe ô tô, chống dao động mạnh cho tàu thuyền ở trên biển và nhiều ứng dụng khác.

#### 4. Kết luận, đề xuất

Sau khi khảo sát tốc độ rơi của nam châm trong các loại ống khác nhau, tác giả nhận thấy các loại ống cách điện (nhựa) không sinh ra định luật Lenz do không có điện tích tự do. Với các loại ống dẫn (nhôm, đồng), lực từ sinh ra càng lớn khi độ dẫn điện càng cao, mặt khác kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ rơi của nam châm giảm đi rất đáng kể khi di chuyển trong ống kim loại so với rơi tự do. Điều này có ý nghĩa hết sức đặc biệt, các hiệu ứng nêu trên có thể được nghiên cứu, đánh giá đầy đủ hơn để ứng dụng trong các hệ thiết bị chống rơi tự do, chống rung xe ô tô hoặc chống dao động mạnh cho tàu thuyền.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. Deng, C.-T. Chen, "The unusual phenomenon of electromagnetic induction", AIP Adv. 11 (2021) 115012. <https://doi.org/10.1063/5.0064760>.
- [2]. B. Irvine, M. Kemnetz, A. Gangopadhyaya, T. Ruubel, "Magnet traveling through a conducting pipe: A variation on the analytical approach", Am. J. Phys. 82 (2014) 273–279. <https://doi.org/10.1119/1.4864278>.

- [3]. S. Jain, P. Rathi, M. Ramachandran, "Investigation of a Magnet falling through a copper tube", IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 810 (2020) 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/810/1/012042>.
- [4]. A.K. Thottoli, M. Fayis, T.C. Mohamed, T. Amjad, P.T. Shameem, M. Mishab, "Study of magnet fall through conducting pipes using a data logger", SN Appl. Sci. 1 (2019) 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1086-z>.
- [5]. B. Irvine, M. Kemnetz, A. Gangopadhyaya, T. Ruubel, "Magnet traveling through a conducting pipe: A variation on the analytical approach", Am. J. Phys. 82 (2014) 273–279. <https://doi.org/10.1119/1.4864278>.
- [6]. S. Jain, P. Rathi, M. Ramachandran, "Investigation of a Magnet falling through a copper tube", IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 810 (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/810/1/012042>.
- [7]. M. Hossein Partovi, E.J. Morris, "Electrodynamics of a magnet moving through a conducting pipe", Can. J. Phys. 84 (2006) 253–271. <https://doi.org/10.1139/P06-065>.

**DESIGNING AND EVALUATING EXPERIMENTS BASED ON  
ELECTROMAGNETIC INDUCTION TO SUPPORT GENERAL PHYSICS  
TEACHING**

*Phan Nguyen Duc Duoc<sup>1</sup>, Pham Duc Tam<sup>2</sup>, Ho Son Think<sup>3</sup>*

**ABSTRACT**

*In this paper, based on the phenomenon of electromagnetic induction and Lenz's law, we have designed a model of a falling magnet through various types of tubes, including plastic tubes, aluminum tubes, solid copper tubes, and slit copper tubes. Results of the analysis show that non-conductive tubes (plastic) do not affect the free fall of the magnet. Metallic tubes (aluminum, copper) create a relatively large resistance force against the falling magnet, resulting in a significant reduction in the magnet's average falling speed. Specifically, the average falling speed of the magnet in the copper tube decreased by nearly 16 times compared to that in the plastic tube, and decreased by about 9 times when using the aluminum tube. The falling time in the slit copper tube is also nearly identical to that in the solid copper tube, indicating that eddy currents induced in the metallic tube not only circulate in a circular pattern along the radial direction but can also swirl in various other directions on the tube's surface. The results also show that the falling speed of the magnet in the metallic tube quickly reaches a constant value within a short period of time.*

**Key words:** *Electromagnetic induction, Lenz's law, Copper tube, General physics.*



<sup>1</sup>Giảng viên Khoa Điện-Điện tử, trường Đại học Nha Trang; email: duocpnd@ntu.edu.vn

<sup>2</sup>SV Khoa Điện-Điện tử; <sup>3</sup>SV Khoa Cơ khí, Trường Đại học Nha Trang