

THIẾT KẾ, CẢI TIẾN BỘ THÍ NGHIỆM NGHIÊN CỨU HIỆN TƯỢNG QUANG ĐIỆN NGOÀI

Nguyễn Chính Cương¹, Nguyễn Quốc Huy¹, Nguyễn Thị Dung²

Tóm tắt: Bộ thí nghiệm nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài ở trường phổ thông hiện nay còn nhiều hạn chế. Bộ thí nghiệm sử dụng kính lọc sắc để phân loại bước sóng của ánh sáng tới. Đây là một nhược điểm lớn của bộ thí nghiệm hiện có, bởi khi sử dụng kính lọc sắc, ánh sáng qua kính lọc sắc là một dải màu trong vùng màu sắc được nó lọc. Thí nghiệm về định luật giới hạn quang điện, sử dụng kính lọc sắc màu đỏ có sai số rất lớn. Bước sóng của ánh sáng đỏ từ 640 nm đến 760 nm nên khi đi qua kính lọc sắc sẽ thu được một dải màu đỏ, dẫn đến số chỉ của ampe kế khác 0. Các tấm lọc sắc này được chế tạo bằng cách dán nilon màu lên tấm mica, sau một thời gian lớp nilon này bị nhăn lại, bong ra, tấm mica bị cong, vênh làm khả năng lọc sắc không còn tốt. Từ đó, đặt ra yêu cầu cần phải nghiên cứu, cải tiến thiết bị thí nghiệm hiện có để sử dụng trong dạy học, đáp ứng chương trình giáo dục phổ thông mới.

Từ khóa: Hiện tượng quang điện, thí nghiệm hiện tượng quang điện, electron quang điện, quang điện, dòng quang điện bão hòa, tế bào quang điện

1. MỞ ĐẦU

Những yêu cầu của thời đại hiện nay đòi hỏi mục tiêu giáo dục chuyển từ việc trang bị kiến thức sang phát triển năng lực của học sinh (HS). Mục tiêu dạy học theo xu thế hiện đại không chỉ dừng lại ở việc truyền thụ đầy đủ những kiến thức, kỹ năng đã có của nhân loại cho người học mà quan trọng hơn là bồi dưỡng cho các em có năng lực nghiên cứu, tìm tòi sáng tạo giải quyết các vấn đề, đáp ứng được những đòi hỏi đa dạng của hoạt động thực tiễn [1].

Vật lý học là cơ sở của nhiều ngành kỹ thuật và công nghệ quan trọng, những hiểu biết và nhận thức về tri thức vật lý có giá trị to lớn trong sản xuất và đời sống, mà đặc biệt là trong sự nghiệp công nghiệp hóa và hiện đại hóa đất nước hiện nay. Vật lý, với tư cách là một môn khoa học tự nhiên trong dạy học ở trường phổ thông, có khả năng to lớn trong việc rèn luyện cho HS tư duy logic và tư duy biện chứng, hình thành ở các em niềm tin về bản chất khoa học của các hiện tượng tự nhiên cũng như khả năng nhận thức của con người, khả năng áp dụng khoa học để đẩy mạnh sản xuất, cải thiện đời sống.

Thực tế cho thấy, không phải người thầy nào cũng nhận thấy và thấm nhuần được tinh thần đổi mới phương pháp dạy học. Việc khảo sát thực trạng dạy học môn vật lý ở

¹ Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội

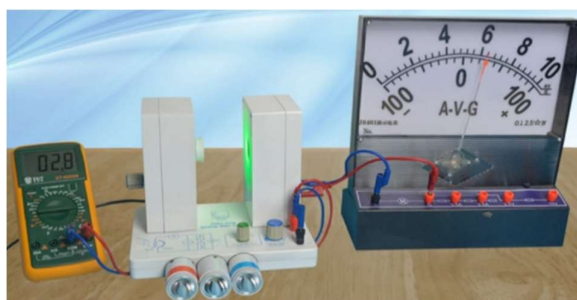
² Trường THPT Chuyên Vĩnh Phúc

một số trường trung học phổ thông (THPT) cho thấy: Phương pháp dạy học theo kiểu thông báo, truyền thụ kiến thức một chiều, giáo viên (GV) cố gắng thông báo hết nội dung kiến thức được trình bày như trong sách giáo khoa (SGK) vẫn diễn ra phổ biến. HS tiếp thu kiến thức một cách thụ động, chưa tích cực tham gia xây dựng kiến thức và tính sáng tạo ít được phát huy [1]. Quá trình chuyển đổi từ dạy học tiếp cận nội dung sang dạy học tiếp cận năng lực cần phải trả lời câu hỏi “người học có thể làm gì với kiến thức họ thu được?”, thay vì chỉ ghi nhớ các kiến thức, học sinh được khuyến khích đề xuất ý kiến để giải quyết vấn đề gặp phải trong học tập và thực tiễn cuộc sống. Để làm được điều đó cần phải có các thiết bị phù hợp để nhấn mạnh vào việc phát triển các kỹ năng, khả năng và kiến thức thực tế.

Do vậy, trước yêu cầu đổi mới dạy học ở nước ta nói chung và với bộ môn vật lý nói riêng theo hướng phát triển các năng lực hoạt động của HS, đặc biệt là đòi hỏi phải tăng cường hoạt động thực nghiệm ở HS trong dạy học Bộ môn vật lý, cần phải có những nghiên cứu cho việc đổi mới dạy học từng nội dung kiến thức cụ thể theo hướng phát triển hoạt động học tập của HS, đặc biệt là các hoạt động thực nghiệm. Xem xét tình hình chung về thiết bị thí nghiệm (TBTN) và thực trạng dạy học phần kiến thức động học và hiện tượng quang điện ngoài để tìm hiểu những khó khăn, nhằm đề ra cách khắc phục, chúng tôi thấy có những vấn đề như sau:



Hình 1. TBTN nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài hiện hành [4]



Hình 2. TBTN nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài hiện hành sử dụng đèn Led [5]

Nhìn chung, bộ thí nghiệm nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài (Hình 1) hiện có ở trường phổ thông hiện nay có một số ưu điểm: nhỏ gọn, tiện lợi, các bộ phận rõ ràng giúp HS có cái nhìn trực quan khi tiến hành thí nghiệm. Tuy nhiên, bộ thí nghiệm sử dụng kính lọc sắc để phân loại bước sóng của ánh sáng tới. Điều này là chưa hợp lý bởi khi sử dụng kính lọc sắc, ánh sáng qua kính lọc sắc là một dải màu trong vùng màu sắc được nó lọc. Đây là một nhược điểm lớn của bộ thí nghiệm hiện có. Ngoài ra, các tấm lọc sắc này được chế tạo bằng cách dán nilon màu lên tấm mica, sau một thời gian lớp nilon này bị

nhấn lại, bong ra, tấm mica bị cong, vênh làm khả năng lọc sắc không còn tốt nữa; điều này làm cho kết quả thí nghiệm bị sai số lớn. Đặc biệt, trong thí nghiệm về định luật giới hạn quang điện, sử dụng kính lọc sắc màu đỏ có sai số rất lớn. Bước sóng của ánh sáng đỏ từ 640 nm đến 760 nm nên khi đi qua kính lọc sắc thu được một dải màu đỏ, dẫn đến số chỉ của ampe kế không còn chỉ số 0 mà chỉ khoảng 12 mA. Hiện nay, trên thị trường đã có bộ thí nghiệm hiện tượng quang điện ngoài sử dụng đèn LED (Hình 2) nhưng giá thành cao, tính trên tổng số trường phổ thông cả nước thì số tiền chi phí khá lớn, không tận dụng được các bộ thí nghiệm cũ sẵn có ở trường phổ thông. Mặt khác, theo thông tư số 39/2021/TT-BGDĐT của Bộ giáo dục và Đào tạo thì việc nghiên cứu, chế tạo các thiết bị thí nghiệm nhằm đáp ứng chương trình giáo dục phổ thông 2018 là vấn đề rất cấp thiết.

Từ những phân tích trên, đặt ra câu hỏi cần phải nghiên cứu, xây dựng TBTN hiện tượng quang điện mới dùng trong dạy học nhằm thay thế, khắc phục các nhược điểm của TBTN hiện có và đáp ứng được yêu cầu đổi mới dạy học ở nước ta.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Thiết kế chế tạo ba đèn

- Các nguyên vật liệu dùng để chế tạo 3 đèn gồm có: Đèn LED màu (đỏ, lục, lam), đui (hoặc bóng) đèn Halogen, keo AB, dây điện (Hình 3a). Đèn LED màu (đỏ, lục, lam) là loại đã tích hợp mạch điện tử nên được sử dụng trực tiếp với nguồn điện xoay chiều 220V. Dải bước sóng của các LED như sau: Đỏ từ 620 nm đến 630 nm, Lục từ 520 nm đến 530 nm, Lam từ 450 nm đến 460 nm.



Hình 3a. Nguyên vật liệu dùng để chế tạo đèn Led

Quy trình chế tạo đèn:

+ Dùng kìm tháo bóng đèn Halogen ra khỏi đui, bỏ phần bóng và giữ lại hai chân cắm kim loại.

+ Hàn hai chân cắm kim loại với hai đầu của hai dây nối, hai đầu còn lại của hai dây nối hàn cố định vào hai cực của đèn.

+ Đặt hai chân cắm kim loại vào hai lỗ trên đui, dùng keo AB đổ đầy vào đui để cố định.

- Cơ chế phát sáng của đèn LED (Hình 3b):

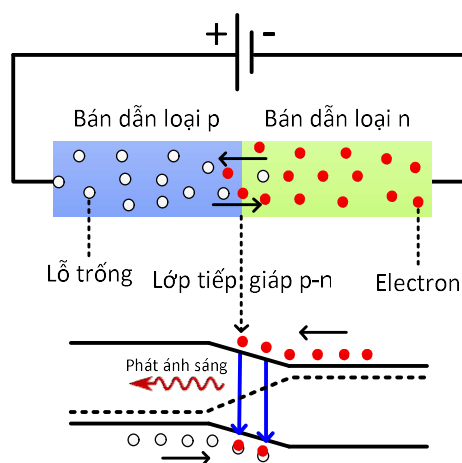
Đèn LED hoạt động dựa trên hiện tượng phát xạ của vật liệu bán dẫn. Bộ phận chính của đèn LED là lớp tiếp giáp giữa hai loại bán dẫn p và n. Bán dẫn loại p dẫn điện chủ yếu bằng lỗ trống, bán dẫn loại n dẫn điện chủ yếu bằng electron. Khi có điện trường thích hợp đặt vào lớp tiếp giáp p-n thì electron dịch chuyển qua lớp tiếp giáp. Do có sự chênh lệch mức năng lượng giữa hai lớp bán dẫn nên phần năng lượng chênh lệch này được giải phóng bằng cách phát ra ánh sáng khi electron dịch chuyển qua lớp tiếp giáp. Đặc tính của ánh sáng (màu sắc, cường độ) phụ thuộc vào chất lượng bán dẫn và cấu trúc của đèn LED.

2.2. Sử dụng ba đèn Led với bộ thí nghiệm nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài

TBTN được thiết kế, cải tiến (Hình 4) gồm:

- Hộp chân đế (1) có tích hợp: khóa K, nguồn vào 220V-50Hz, ra 1 chiều tối đa 50V/100mA điều chỉnh liên tục.

- Chân đèn LED (2).



Hình 3b. Cơ chế phát sáng của đèn



Hình 4. Thiết bị thí nghiệm nghiên cứu hiện tượng quang điện ngoài

- Ba đèn LED màu đỏ, lục, lam (3) điều chỉnh được cường độ sáng nhờ núm xoay trên hộp chân đế (1).

- Tế bào quang điện chân không (4), catot phủ chất nhạy quang Sb-Ce có hộp bảo vệ.

- Đồng hồ đo điện đa năng (5).

2.2.1. Thí nghiệm 1: Khảo sát định luật giới hạn quang điện

a. Mục đích thí nghiệm

Khảo sát điều kiện để xảy ra hiện tượng quang điện ngoài.

b. Tiến hành thí nghiệm

+ Bố trí thí nghiệm như Hình 5.

+ Thay đổi đèn LED (3) lần lượt với ba màu đỏ, lục, lam. Quan sát số chỉ cường độ dòng quang điện thông qua đồng hồ đo.



c. Kết quả thí nghiệm

Ánh sáng chiếu tới của đèn led màu lục, màu lam làm xuất hiện dòng quang điện trong mạch. Ánh sáng chiếu tới của đèn led màu đỏ không làm xuất hiện dòng quang điện. Như vậy, hiện tượng quang điện không xảy ra với ánh sáng đỏ.

Hình 5. Thí nghiệm khảo sát định luật giới hạn

2.2.2. Thí nghiệm 2: Khảo sát sự phụ thuộc cường độ dòng quang điện vào công suất nguồn sáng

a. Mục đích thí nghiệm

Khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào công suất nguồn sáng.

b. Tiến hành thí nghiệm

+ Bố trí thí nghiệm như Hình 6.

+ Điều chỉnh độ sáng của đèn (nhằm thay đổi định tính công suất phát xạ của đèn) thông qua núm điều chỉnh, quan sát số chỉ của đồng hồ vạn năng để so sánh cường độ dòng quang điện thu được.



Hình 6a. Ánh sáng lục với công suất nhỏ



Hình 6b. Ánh sáng lục với công suất lớn



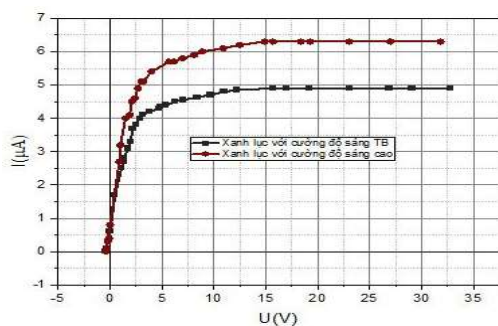
Hình 6c. Ánh sáng lam với công suất nhỏ



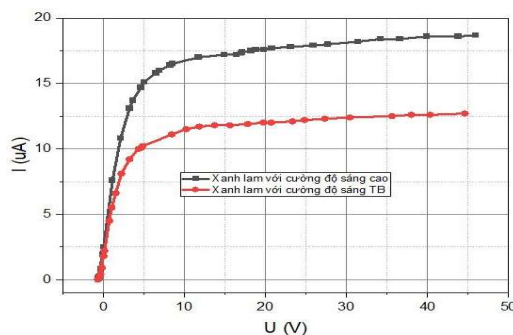
Hình 6d. Ánh sáng lam với công suất lớn

Hình 6. Thí nghiệm khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào công suất phát xạ của nguồn sáng

c. Kết quả thí nghiệm



Hình 7a. Ánh sáng lục



Hình 7b. Ánh sáng lam

Hình 7. Thí nghiệm khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện

Từ đồ thị ta thấy, khi công suất phát xạ của đèn tăng thì cường độ dòng quang điện tăng và ngược lại.

2.2.3. Thí nghiệm 3: Khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào hiệu điện thế giữa anốt và catốt

a. Mục đích thí nghiệm

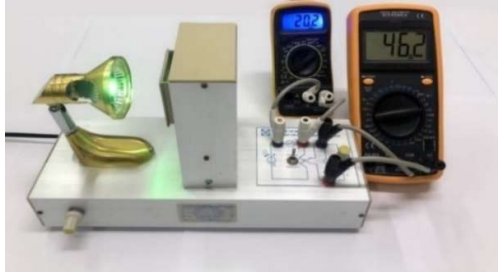
Khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào hiệu điện thế U_{AK} khi giữ cố định công suất nguồn sáng.

b. Tiến hành thí nghiệm

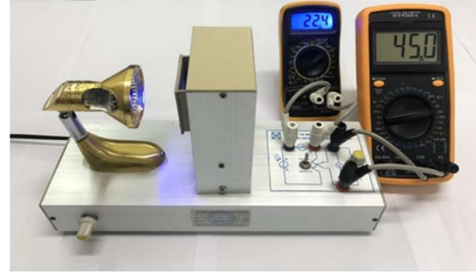
+ Bố trí thí nghiệm như Hình 8.

+ Giữ cố định công suất của đèn, thay đổi hiệu điện thế U_{AK} thông qua núm chỉnh tích hợp trong hộp chân đế (1), đọc cường độ dòng quang điện thông qua đồng hồ đo và ghi chép số liệu khảo sát vào bảng số liệu.

+ Từ bảng số liệu, vẽ đồ thị sự phụ thuộc $U-I$ và nhận xét.



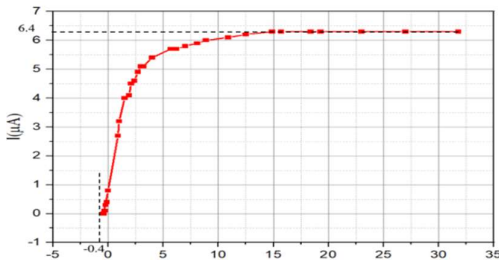
Hình 8a. Ánh sáng lục



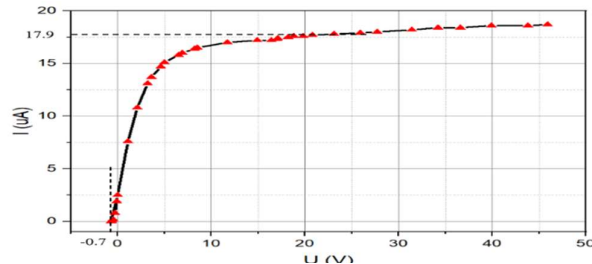
Hình 8b. Ánh sáng lam

Hình 8. Thí nghiệm khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào hiệu

c. Kết quả thí nghiệm



Hình 9a. Đồ thị $U-I$ đối với đèn led màu lục



Hình 9b. Đồ thị $U-I$ đối với đèn led màu lam

Hình 9. Đồ thị sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào hiệu điện thế U_{AK}

Từ đồ thị ta thấy:

+ Khi U_{AK} tăng, cường độ dòng quang điện cũng tăng. Khi U_{AK} đạt một giá trị giới hạn nào đó thì cường độ dòng quang điện không đổi (đạt giá trị bão hòa) mặc dù vẫn tiếp tục tăng U_{AK} . Người ta gọi đó là *cường độ dòng bão hòa* I_{bh} .

+ Khi U_{AK} giảm đến một giá trị $U_{AK} = U_h < 0$ thì cường độ dòng quang điện bằng 0, tức là không có một electron nào đến được anốt, khi đó U_h gọi là *hiệu điện thế hãm*.

2.2.4. Thí nghiệm 4: Khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện bão hòa vào công suất của nguồn sáng

a. Mục đích thí nghiệm

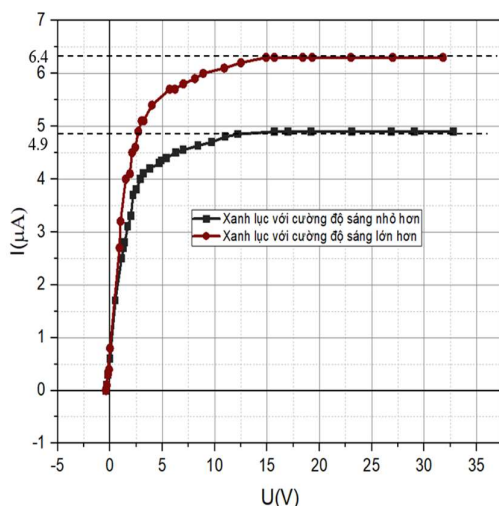
Khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện bão hòa vào công suất nguồn sáng.

b. Tiến hành thí nghiệm

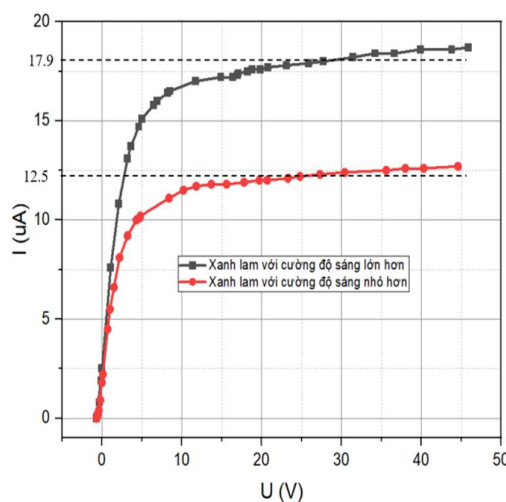
+ Bố trí và tiến hành thí nghiệm như Hình 8.

+ Tiến hành khảo sát thông số U-I với hai công suất đèn khác nhau. Vẽ đồ thị sự phụ thuộc U-I với hai công suất đèn khác nhau, tìm cường độ dòng bão hòa và nhận xét sự phụ thuộc cường độ dòng bão hòa vào cường độ sáng.

c. Kết quả thí nghiệm



Hình 10a. Ánh sáng màu xanh lục



Hình 10b. Ánh sáng màu xanh lam

Hình 10. Đồ thị sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện bão hòa vào công suất phát xạ của nguồn sáng

Từ đồ thị ta thấy, với bước sóng giữ nguyên trị số như cũ nhưng tăng cường độ sáng chiếu vào catôt, thì thấy cường độ dòng quang điện bão hòa tăng và ngược lại.

2.2.5. Thí nghiệm 5: Xác định hằng số Plăng

a. Mục đích thí nghiệm

Xác định hằng số Plăng từ thiết bị thí nghiệm đã thiết kế, cải tiến.

b. Tiến hành thí nghiệm

Từ kết quả thí nghiệm của thí nghiệm 3 ta xác định được hiệu điện thế hãm ứng với từng ánh sáng đơn sắc như sau:

+ Ánh sáng màu lam: Bước sóng: $\lambda_1 = 480\text{nm}$; Hiệu điện thế hãm: $U_{h1} = -0,7\text{V}$.

+ Ánh sáng màu lục: Bước sóng: $\lambda_2 = 540\text{nm}$; Hiệu điện thế hãm: $U_{h2} = -0,4\text{V}$.

c. Kết quả thí nghiệm

Áp dụng công thức:

$$\frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} = |e(U_{h1} - U_{h2})| \quad [4]$$

$$\rightarrow h_{\text{tn}} = \frac{|e(U_{h1} - U_{h2})|}{c \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)} = \frac{|1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (-0,7 + 0,3)|}{3 \cdot 10^8 \left(\frac{1}{450 \cdot 10^{-9}} - \frac{1}{540 \cdot 10^{-9}} \right)} \approx 6,9214 \cdot 10^{-34}$$

Mà hằng số Plăng là $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ (J/s)}$ → Sai số của phép đo hằng số Plăng:

$$\Delta h = \frac{|h - h_{\text{tn}}|}{h} \approx 4,5\%$$

3. KẾT LUẬN

Từ các kết quả khảo sát từ thiết bị cũ và thiết bị sau khi đã cải tiến, ta có bảng đối sánh như sau:

Nội dung đối sánh	Thiết bị thí nghiệm cũ	Thiết bị thí nghiệm sau khi cải tiến
Tính đơn sắc của ánh sáng kích thích	Tính đơn sắc không cao, là một dải màu đơn sắc.	Tính đơn sắc rất cao.

Thí nghiệm khảo sát định luật giới hạn quang điện.	Số chỉ ampe kế dao động từ 8.10^{-6} A đến 12.10^{-6} A.	Số chỉ ampe kế 10^{-6} A.
Thí nghiệm, khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện vào hiệu điện thế giữa anot và catot.	- Không xác định được hiệu điện thế hãm. - Số cặp giá trị U-I thu được ở vùng $U_{AK} < 0$ và vùng I_{bh} ít.	Vẽ được đường đặc trưng vôn-ampe với nhiều cặp giá trị U-I.
Thí nghiệm khảo sát sự phụ thuộc cường độ dòng quang điện vào công suất nguồn sáng.	Công suất phát xạ của nguồn sáng không ổn định khi thay đổi độ sáng của đèn.	Công suất của nguồn sáng ổn định.
Thí nghiệm, khảo sát sự phụ thuộc của cường độ dòng quang điện bão hòa vào công suất của nguồn sáng.	Số cặp giá trị U-I thu được ở vùng I_{bh} ít nên khó xác định được giá trị bão hòa.	Xác định được rõ ràng vùng I_{bh} với nhiều cặp giá trị U-I.
Thí nghiệm xác định hằng số Plăng.	Không xác định được hiệu điện thế hãm nên không xác định được hằng số Plăng.	Xác định được hằng số Plăng với sai số 4,5%.

Các TBTN đã chế tạo đáp ứng được các yêu cầu về mặt khoa học – kỹ thuật, sự phạm, thẩm mỹ và kinh tế đối với TBTN được sử dụng trong dạy học vật lý ở trường phổ thông, đồng thời khắc phục được các nhược điểm của TBTN hiện có. Bộ ba đèn LED được chế tạo đơn giản từ các nguyên vật liệu có sẵn trên thị trường, có thể tận dụng các đui đèn cũ, hỏng.

Việc chuyển giao kết quả và ứng dụng thực tiễn hoàn toàn khả thi. Dựa vào công nghệ chế tạo công tắc kép, mạch điện tử và đèn LED đã nêu ở trên, GV dễ dàng chế tạo thiết bị để sử dụng trong dạy học, do đó có thể nhân rộng trên cả nước. Hiện nay, trên cả nước có 2970 trường THPT nên nếu công trình được nhân rộng trong cả nước thì mang lại hiệu quả kinh tế rất lớn.

Các kết quả nghiên cứu góp phần đổi mới phương pháp dạy nhằm nâng cao chất lượng dạy học vật lý ở trường phổ thông. Chúng không những giúp HS dễ dàng lĩnh hội

các kiến thức vật lý tương ứng trong các thí nghiệm, đào sâu, mở rộng vốn kiến thức đã được học mà còn làm tăng hứng thú học tập vật lý, kích thích tính tích cực, phát triển năng lực hoạt động trí tuệ - thực tiễn độc lập và sáng tạo của HS. Đặc biệt, một số TBTN với các thí nghiệm tiến hành sẽ tạo điều kiện cho việc tổ chức các hoạt động trải nghiệm sáng tạo hoặc tổ chức các dự án dạy học cho HS [2].

Những kết quả nghiên cứu đã thu được là tài liệu bổ ích cho nghiên cứu sinh, học viên cao học trong công tác nghiên cứu, cho GV và HS sử dụng trong dạy học vật lý ở trường phổ thông. Chúng cũng có thể được sử dụng trong đào tạo và bồi dưỡng GV ở các trường Đại học Sư phạm và Cao đẳng Sư phạm. Thiết bị sau khi cải tiến đã được đưa vào sách *Chuyên đề học tập vật lý 12* do NXB Giáo dục Việt Nam phát hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Quốc Huy, Bùi Văn Thiện, (2016), *Dạy học các kiến thức về sự quay đồng bộ và quay không đồng bộ vật lý lớp 12 thông qua hoạt động trải nghiệm sáng tạo*, Tạp chí khoa học Trường ĐHSP Hà Nội, tập 61, số 8B, 256.
2. Nguyễn Ngọc Hưng, (2016), *Thí nghiệm vật lý với dụng cụ tự làm từ chai nhựa và vỏ lon, tập 2*, NXB Đại học Sư phạm, Hà Nội, 4-5.
3. Nguyễn Thế Khôi, Vũ Thanh Khiết, Nguyễn Đức Hiệp, Nguyễn Ngọc Hưng, Nguyễn Đức Thâm, Phạm Đình Thiết, Vũ Đình Túy, Phạm Quý Tư, (2010), *Vật lý 12 nâng cao*, NXB Giáo dục Việt Nam, Hà Nội, 227.
4. <https://miladi.com.vn/thiet-bi-day-hoc-thpt/bo-thi-nghiem-ve-hien-tuong-quang-dien-ngoai.html>, 6/6 /2023.
5. <https://www.aelab.com.vn/copy-of-bo-thi-nghiem-ve-hien-tuong-quang-dien-ngoai-dung-kinh-loc-sac>, 6/6/2023.

DESIGN AND IMPROVE THE LABORATORY INSTRUMENTS TO STUDY THE EXTERNAL PHOTOELECTRIC PHENOMENON

Nguyen Chinh Cuong, Nguyen Quoc Huy, Nguyen Thi Dung

Abstract: *The current laboratory instruments to study the external photoelectric phenomenon in High Schools still have many limitations. The instruments use a chromatic filter to classify the wavelength of incident lights. This is a major drawback of the current instruments, as when a chromatic filter is used, the light passing through the chromatic filter is a range of colors within the color range it filters. When doing experiments on the photoelectric limit law, using a red color filter results in significant errors. The wavelength of red light is from 640 nm to 760 nm, so when it passes through the chromatic filter, a red band will be obtained and this leads to a different reading of the ammeter than 0. These chromatic filters are made by pasting colored nylon onto mica acrylic sheets. After a period of time, the nylon layer wrinkles then peels off and the mica acrylic sheet is bent or warped, leading to poor filtering ability. Therefore, it is necessary to study and improve the current laboratory instruments for use in teaching to meet the requirements of the new general education programs.*

Keywords: *Photoelectric phenomenon, Photoelectric phenomenon experiments, Photoelectrons, Photovoltaic, Saturated photoelectric current, Photoelectric cells.*

(Ngày Tòa soạn nhận được bài: 27-4-2024; ngày phản biện đánh giá: 16-5-2024; ngày chấp nhận đăng: 30-5-2024)