

Bài báo nghiên cứu

**NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO
BỘ THÍ NGHIỆM MÁY ĐO PHỔ PHỤC VỤ DẠY HỌC
NỘI DUNG “QUANG PHỔ VẠCH CỦA NGUYÊN TỬ”
THUỘC CHUYÊN ĐỀ “VẬT LÝ LƯỢNG TỬ” LỚP 12***Nguyễn Thanh Loan^{1*}, Trần Đức Quốc Duy¹, Đoàn Thị Yến Linh²*¹Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam²Trường THCS Nguyễn Thái Bình, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam^{*}Tác giả liên hệ: Nguyễn Thanh Loan – Email: loannt@hcmue.edu.vn

Ngày nhận bài: 28-10-2025; Ngày nhận bài sửa: 17-11-2025; Ngày duyệt đăng: 09-12-2025

TÓM TẮT

Vật lý lượng tử là một trong những nội dung quan trọng trong chương trình Vật lý 12, trang bị cho học sinh có những kiến thức, kỹ năng ban đầu về vật lý lượng tử được làm quen với các hạt có kích thước rất nhỏ photon, electron... Các kết quả nghiên cứu trong lĩnh vực này đã giúp giải đáp nhiều điều còn chưa biết về thế giới tự nhiên đồng thời tạo ra rất nhiều ứng dụng thiết thực trong đời sống một trong những ứng dụng đó chính là máy đo phổ. Bộ thí nghiệm máy đo phổ đã có mặt trên thị trường và đều sử dụng được trong việc dạy học nhưng vẫn còn tồn tại một số hạn chế như chỉ định tính chưa thể định lượng, công kênh, thiết bị thí nghiệm vẫn còn sử dụng điện 220V- 50Hz có nguy cơ gây nguy hiểm khi thao tác thí nghiệm, khi tiến hành thí nghiệm chỉ có thể quan sát vạch quang phổ cho từng học sinh... Do đó, nhóm nghiên cứu đã tiến hành cải tiến, thiết kế và chế tạo một bộ dụng cụ đo quang phổ bằng cách từ nhiều xạ nhằm thay thế lăng kính như một hệ tán sắc và sử dụng ESP 32-CAM nhằm khắc phục những nhược điểm trên. Trong quá trình thực hiện, nhóm nghiên cứu đã sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm và thiết kế sản phẩm tinh gọn hơn các bộ sản phẩm có trên thị trường để có thể giảm giá thành cho việc sản xuất sau này. Bộ thí nghiệm máy đo phổ của đề tài có chức năng đo được bước sóng và quan sát phổ vạch phát xạ, quang phổ liên tục như nguồn sáng như Hydrogen, Neon, bóng đèn sợi đốt, bóng huỳnh quang... như các máy đo phổ có mặt trên thị trường, tuy nhiên trong các nghiên cứu tiếp theo nhóm sẽ cải tiến thêm để giúp hạ giá thành cũng như giảm sai số của bộ thí nghiệm hiện đang ở 10%.

Từ khóa: quang phổ liên tục; quang phổ vạch phát xạ; vật lý lượng tử; bộ thí nghiệm đo quang phổ

1. Giới thiệu

Trong dạy học Vật lý ở bậc trung học phổ thông, việc minh họa các khái niệm trừu tượng như quang phổ, bước sóng ánh sáng, hay tính chất của các nguyên tố thông qua quan sát thực tế là điều hết sức cần thiết. Tuy nhiên, các thiết bị quang phổ chuyên dụng thường có giá thành cao, cấu tạo phức tạp, và không phù hợp với cơ sở vật chất của một số trường,

Cite this article as: Nguyen, T. L., Tran, D. Q. D., & Doan, T. Y. L. (2026). Research, design, and fabrication of a spectrometer experimental kit for teaching *Atomic line spectra* in the Grade 12 *Quantum Physics*. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 23(5), 1005-1017. [https://doi.org/10.54607/hcmue.js.23.5.5322\(2026\)](https://doi.org/10.54607/hcmue.js.23.5.5322(2026))

chẳng hạn như bộ thí nghiệm máy đo quang phổ hồng ngoại Philip Harris, Birmingham có giá khoảng £610.48. Một số nghiên cứu gần đây đã tập trung phát triển các máy quang phổ giá rẻ nhằm khắc phục hạn chế về chi phí của các thiết bị thương mại. Chẳng hạn, Likith và cộng sự (2021) đã đề xuất một mô hình quang phổ sử dụng cardboard, đĩa DVD làm cách tử nhiễu xạ, webcam Logitech làm cảm biến, kết hợp phần mềm phân tích phổ Theremino (Likith et al., 2021). Thiết bị này có ưu điểm là chi phí thấp và có thể quan sát được phổ liên tục lẫn phổ vạch, phù hợp để minh họa thí nghiệm trong môi trường giáo dục. Tuy nhiên, các mô hình dạng này vẫn tồn tại một số hạn chế đáng kể: quá trình căn chỉnh webcam – DVD đòi hỏi thao tác chính xác, phần mềm phân tích phổ khá phức tạp đối với giáo viên phổ thông, và chỉ hỗ trợ quan sát cá nhân qua máy tính, gây khó khăn khi tổ chức hoạt động dạy học theo hướng quan sát tập thể trong lớp. Ngoài ra, việc phụ thuộc vào webcam khiến chất lượng ảnh không ổn định, và học sinh khó chủ động thao tác đo đạc. Trước thực trạng đó, nhóm chúng tôi đã tiến hành nghiên cứu và chế tạo một thiết bị giúp học sinh quan sát cũng như đo đạc được những đại lượng trên.

Trong Chương trình giáo dục phổ thông 2018, bên cạnh cung cấp các kiến thức bài học vật lý về mặt lý thuyết người giáo viên sẽ hướng dẫn và hỗ trợ các em học sinh thực hiện các thí nghiệm thực hành trong môn Vật lý, mục đích của việc dạy học theo hướng này nhằm giúp cho học sinh hình thành khái niệm, quy luật, định luật Vật lý, làm quen với những kỹ năng, kỹ xảo cần thiết cho sau này của các em (Ministry of Education and Training, 2006).

Đối với chuyên đề Vật lý 12 trong Chương trình giáo dục phổ thông 2018, nhóm nghiên cứu lựa chọn chế tạo máy đo quang phổ bởi vì trong các bộ sách giáo khoa Cánh Diều, Chân Trời Sáng Tạo và Kết Nối Tri Thức, ở bài “Quang phổ vạch của nguyên tử”, nội dung chỉ dừng lại ở việc trình bày sơ đồ nguyên lý hình thành các vạch phổ (Nguyen et al., 2023; Pham et al., 2023; Vu et al., 2023). Các sách này chưa đề cập giới thiệu thiết bị thí nghiệm cụ thể nào trên thị trường có khả năng vừa quan sát được quang phổ vạch nguyên tử, vừa đo và tính toán được bước sóng hay mức năng lượng tương ứng của từng vạch mà nguyên tử phát ra. Xuất phát từ thực tế đó, nhóm nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo máy đo quang phổ vạch có khả năng vừa quan sát trực tiếp quang phổ, vừa xác định chính xác bước sóng của các vạch phát xạ, góp phần hỗ trợ hiệu quả cho hoạt động dạy và học nội dung “Quang phổ vạch của nguyên tử” trong chương trình Vật lý phổ thông.

Trong phương diện kỹ thuật, thiết bị quang phổ giá rẻ thường hoạt động dựa trên nguyên lý nhiễu xạ và tán sắc ánh sáng của cách tử. Đĩa DVD, với mật độ khoảng 600–700 rãnh/mm, có thể được sử dụng như một cách tử nhiễu xạ phẳng. Khi ánh sáng trắng đi qua hoặc phản xạ trên bề mặt DVD, các rãnh này tạo ra hiện tượng nhiễu xạ và giao thoa, làm tách chùm sáng ban đầu thành các vạch sáng đơn sắc xuất hiện ở những góc khác nhau. Hiện tượng này được mô tả bởi công thức cách tử nhiễu xạ $d \sin \theta = k\lambda$, trong đó d là khoảng cách giữa hai rãnh DVD, θ là góc lệch của vân sáng và λ là bước sóng ánh sáng. Trong mô hình quang phổ tự chế, ảnh của các vạch sáng được thu nhận bằng camera và xử lý bằng thư viện OpenCV. Thuật toán sẽ xác định tọa độ của vân trung tâm và vân bậc nhất, tính khoảng cách giữa hai vân theo đơn vị pixel, sau đó chuyển đổi sang kích thước thật dựa trên hệ số

quy đổi của cảm biến. Từ khoảng cách này, góc lệch θ được tính thông qua quan hệ hình học, và bước sóng tương ứng của từng vạch sáng được suy ra bằng công thức cách tử. Quy trình này cho phép tự động hóa hoàn toàn việc nhận dạng vạch phổ, đo khoảng cách và tính toán bước sóng, giúp thiết bị vận hành như một hệ đo đạc quang phổ hoàn chỉnh.

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của bộ thí nghiệm là quang phổ vạch, ánh sáng khả kiến, bước sóng của ánh sáng khi đi qua cách tử nhiễu xạ.

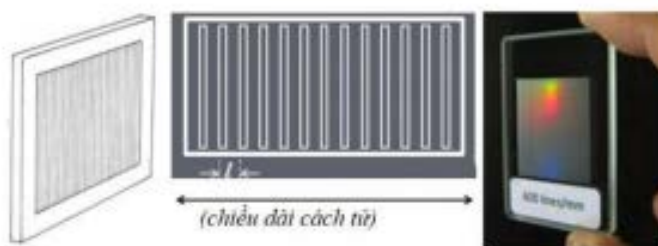
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp thực nghiệm: Nhóm nghiên cứu đã tiến hành thiết kế, chế tạo sau đó thử nghiệm bộ thí nghiệm bằng cách đo các bước sóng của các nguồn sáng như đèn hơi thủy ngân, đèn Neon, đèn laser ánh sáng xanh lục và so sánh nó với bước sóng của nhà sản xuất, dựa trên kết quả đó để cải tiến công thức tính toán bước sóng sao cho đạt kết quả mong muốn. Việc thực nghiệm không chỉ giúp kiểm chứng độ tin cậy và tính chính xác của bộ thí nghiệm mà còn cung cấp cơ sở thực tiễn để cải tiến và hoàn thiện sản phẩm.

2.3. Cơ sở lý thuyết

Hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng: là hiện tượng tia sáng bị lệch khỏi phương truyền thẳng khi đi gần vật cản ánh sáng (Nguyen & Diep, 2005, p.144). Hiện tượng nhiễu xạ không thể được giải thích bằng quang hình học, nó chỉ có thể giải thích dựa trên lý thuyết sóng ánh sáng.

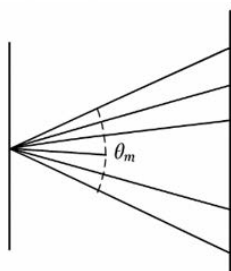
Cách tử nhiễu xạ: là một dụng cụ quang học giống như hệ thống của N khe hẹp giống hệt nhau, bề rộng a , cách đều nhau, khoảng cách giữa 2 khe liên tiếp là l . Cấu tạo cách tử nhiễu xạ rất tinh vi, trên mỗi milimet chiều dài cách tử có rất nhiều khe (Luong, 2007, p.71). Mỗi cách tử nhiễu xạ có một thông số quan trọng do nhà sản xuất ghi nhận là số khe (n) trên một đơn vị chiều dài cách tử (là phương vuông góc với các khe – trong thực tế có thể dùng laser pointer để xác định).



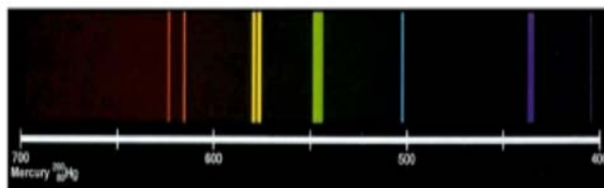
Hình 1. Cách tử nhiễu xạ

(giáo trình thí nghiệm đại cương Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh)

Chiếu tới cách tử một chùm tia sáng song song tới cách tử. Khi qua cách tử chùm tia này bị nhiễu xạ theo các phương khác nhau, ta sẽ quan sát được các bậc quang phổ khác nhau khi đi qua cách tử. Các bậc này được phân bố trên mặt phẳng vuông góc với phương của “chiều dài cách tử”. Cách tử nhiễu xạ thực chất là trường hợp nhiễu xạ của sóng phẳng bởi nhiều khe hẹp.



Hình 2. Minh họa tia nhiễu xạ tới khi qua cách tử



Hình 3. Minh họa thực tế quang phổ vạch và tia phát xạ của đèn hơi thủy ngân

Quang phổ của cách tử gồm nhiều bậc quang phổ đối xứng nhau qua vân sáng trung tâm. Tại vân sáng trung tâm, vạch sáng sẽ có màu giống như màu nguồn sáng chiếu tới. Hai bên vân trung tâm là các quang phổ nhiễu xạ bậc 1, 2, ...

Đối với mỗi cách tử điều sẽ được nhà sản xuất công bố số vạch trên một đơn vị chiều dài, đối với cách tử nhóm nghiên cứu sử dụng thì nhà sản xuất công bố có 600 vạch trên một mm chiều dài nên nhóm nghiên cứu đã sử dụng $D = \frac{10^{-3}}{600}$ m để tính toán.

$$D \sin \theta = k \lambda \tag{1}$$

$$\Leftrightarrow \lambda = \frac{D \sin \theta}{k} \text{ (với } k \text{ là nhiễu xạ bậc } 1 \text{ và } D = \frac{10^{-3}}{600} \text{ m)}$$

$$\Leftrightarrow \lambda = \frac{10^{-3} \sin \theta}{600} \text{ (} \sin \theta = \frac{d}{\sqrt{d^2 + m^2}} \text{)}$$

$$\Leftrightarrow \lambda = \frac{10^{-3}}{600} \cdot \frac{d}{\sqrt{d^2 + m^2}} \tag{2}$$

D : khoảng cách giữa hai khe liền kề của cách tử.

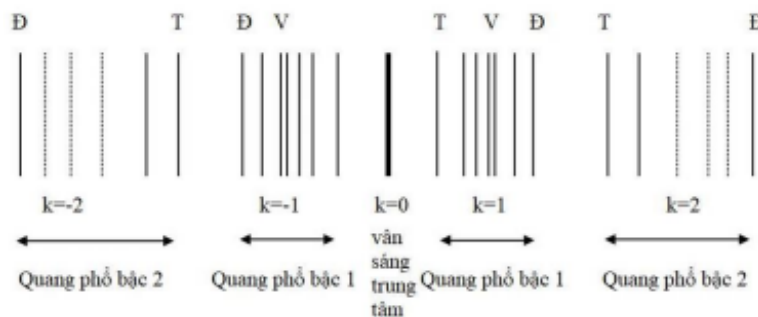
θ : góc lệch của vân sáng bậc m so với phương truyền thẳng.

k : bậc của vân nhiễu xạ.

m : khoảng cách từ cách tử tới ESP32-CAM (giá trị 4.45 ± 0.05 cm).

d : khoảng cách tính từ vân sáng nguồn trung tâm tới vân sáng cần đo bước sóng.

Ta sử dụng một tia sáng xanh biết trước bước sóng để xác định θ .



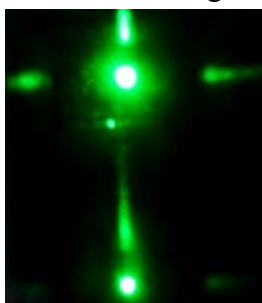
Hình 4. Bậc của quang phổ (giáo trình thí nghiệm đại cương đại học Sư phạm kỹ thuật)



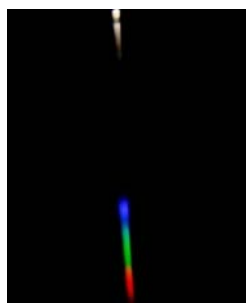
- Độ sáng tối đa: $> 350\text{lm}$
- Công suất: 1000 mw
- Kích thước: 120 * 21mm (Dài x Rộng)
- Pin sạc 3.7 Li-ion, pin AX18650
- Chất liệu thân: aerometal
- Chiều dài sóng: 532nm

Hình 5. Đèn laser xanh lục và thông số của nhà sản xuất

Dựa trên ánh sáng laser xanh lục có bước sóng đã được nhà sản xuất công bố là khoảng 532 nm, ta xác định vị trí của vân sáng tương ứng để làm mốc chuẩn. Từ đó, so sánh vị trí của các vân sáng khác so với vị trí chuẩn này nhằm tính toán độ lệch và xác định giá trị bước sóng của các ánh sáng còn lại.



Hình 6. Quang phổ của laser xanh



Hình 7. Quang phổ của đèn LED trắng



Hình 8. Quang phổ của đèn hơi thủy ngân

Bộ thí nghiệm máy đo phổ được thiết kế kết nối với màn hình hiển thị địa chỉ IP để kết nối máy tính hoặc điện thoại tới trang hiển thị hình ảnh các quang phổ vạch được tách ra từ nguồn sáng và hiển thị giá trị bước sóng trên màn hình. Vi mạch điều khiển là ESP 32-CAM có kết nối wifi nên có thể kết nối với máy tính và trình chiếu cho học sinh quan sát.




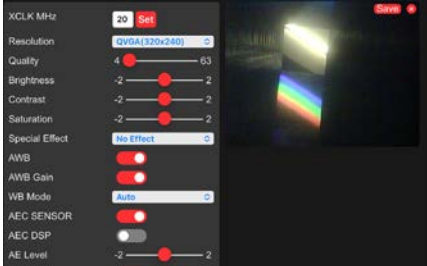
2.4. Danh mục vật liệu, dụng cụ cho bộ thí nghiệm



Hình 9. Bộ dụng cụ thí nghiệm máy đo quang phổ

- Sản phẩm bao gồm ống chuẩn trực và buồng tối.
- Một vi mạch tính toán và màn hình hiển thị.
- Một nắp có khe nhỏ cho ánh sáng đi qua.

Bảng 1. Các thành phần của bộ thí nghiệm máy đo quang phổ

Các chi tiết thành phần của bộ TN	Mô tả
	<p>Gồm một vi mạch ESP 32-CAM và một màn hình hiển thị LCD</p>
<p>Hình 10. Một vi mạch tính toán và màn hình hiển thị</p>	
	<p>Một khối trục đóng vai trò là buồng tối để quan sát ánh sáng</p>
<p>Hình 11. Buồng tối</p>	
	<p>Khe chắn cho tia sáng đi qua</p>
<p>Hình 12. Khe chắn</p>	
	<p>Server được ESP 32- CAM tạo ra để người dùng truy cập vào và quan sát được hình ảnh quang phổ</p>
<p>Hình 13. Server hiển thị hình ảnh</p>	

2.5. Điểm mới của bộ thí nghiệm


Điểm mới của bộ thí nghiệm đo quang phổ vạch thể hiện ở thiết kế gọn nhẹ, thuận tiện cho việc di chuyển và bố trí trong lớp học, đáp ứng yêu cầu minh họa và trình chiếu giúp học sinh quan sát trực tiếp hiện tượng quang phổ cũng như thực hiện tính toán bước sóng. Bộ thí nghiệm được cấp nguồn bằng pin nên không phụ thuộc vào điện lưới, đảm bảo an toàn và tăng tính linh hoạt trong quá trình dạy học. Thành phần tán sắc sử dụng cách tử nhiễu xạ, cho phép quan sát rõ các vạch quang phổ phát xạ và hấp thụ. Hệ thống được điều khiển và truyền hình ảnh thông qua vi mạch ESP32-CAM, giúp giáo viên trình chiếu kết quả thí nghiệm lên màn hình lớn, tăng hiệu quả minh họa. Khung và giá đỡ được thiết kế bằng phần mềm 3D CAD và chế tạo bằng công nghệ in 3D, giúp giảm chi phí, tăng tính thẩm mỹ, đồng thời dễ dàng thay thế hoặc cải tiến khi cần.

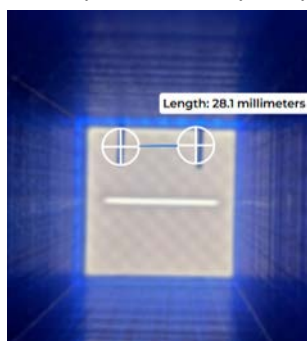
Bộ thí nghiệm đồng thời đáp ứng các yêu cầu cần đạt của Chương trình Giáo dục phổ thông môn Vật lí năm 2018, góp phần phát triển năng lực thực nghiệm của học sinh thông qua các hoạt động quan sát, đo đạc và phân tích kết quả quang phổ.

Bảng 2. So sánh bộ thí nghiệm đã xây dựng với bộ thí nghiệm trên thị trường

Bộ thí nghiệm trên thị trường	Bộ thí nghiệm đã xây dựng
<ul style="list-style-type: none"> + Có kích thước lớn nặng không còn tiện lợi khi sử dụng trong lớp học. + Làm hoàn toàn từ kim loại nên khi thay thế sửa chữa sẽ tốn kém. + Sử dụng hệ tán sắc là lăng kính nên có kích thước to, khó thay thế nếu bị hư hỏng. + Bộ thí nghiệm vẫn có thể bị hư hỏng nếu bị rơi hoặc chịu va đập mạnh. Những tác động này có thể gây nứt vỡ, làm ảnh hưởng đến tính chính xác của thiết bị trong quá trình sử dụng. 	<ul style="list-style-type: none"> + Bộ thí nghiệm được làm từ nhựa PETG nên bền và nhẹ dễ gia công vì được thiết kế 3D và gia công bằng máy in 3D. + Sử dụng cách tử nhiễu xạ làm cho tia sáng bị lệch với những bước sóng khác nhau. Do cách tử được chế tạo từ đĩa DVD nên rất dễ thay thế khi bị hư hỏng. + Tích hợp vi mạch điều khiển và hiển thị thông qua wifi nên sẽ tiện lợi trong việc giảng dạy cho trường có trang bị wifi và máy chiếu.

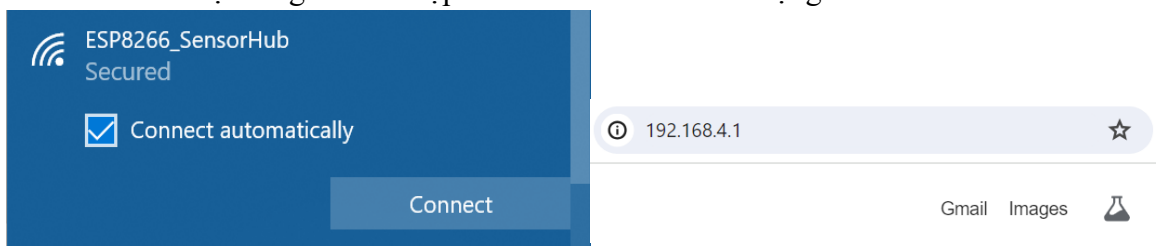
2.6. Các bước tiến hành thí nghiệm đo bước sóng

Bước 0. Hiệu chỉnh khi sử dụng bộ thí nghiệm để chắc chắn thuật toán đo chính xác. Ta cần đo thử khoảng cách ở thanh trên nắp của hộp tối có bằng 28,4 mm không. Nếu đúng tức là máy ổn không cần điều chỉnh. Nếu không thì ta cần vào mục  điều chỉnh tăng nếu khoảng cách nhỏ hơn 28,4 mm và giảm nếu khoảng cách đo được lớn hơn 28,4 mm. Quy trình hiệu chỉnh đã được nhóm nghiên cứu hiệu chỉnh trong quá trình tiến hành thí nghiệm nhưng do một số lí do như vận chuyển, lắp ráp... nên có thể bị lệch đi so với ban đầu nên cần được hiệu chỉnh lại. Sau đó thực hiện các bước tiếp theo để sử dụng bộ thí nghiệm.



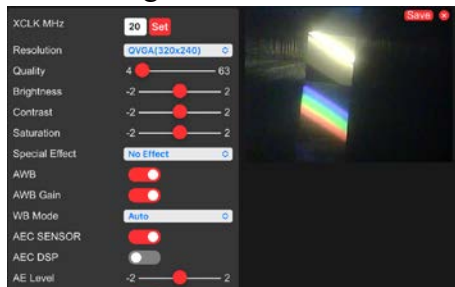
Hình 14. Hiệu chuẩn khoảng cách ở thanh trên nắp

Bước 1. Bật công tắt trên hộp để ESP 32-CAM khởi động.



Hình 15. Server hiển thị hình ảnh

Bước 2. Sau đó truy cập và wifi mang tên ESP32_SensorHub với mật khẩu là “12345678” và lên trình duyệt gõ “192.168.4.1” để truy cập vào trang web. Đây là trang web để quan sát và công cụ để đo bước sóng.



Hình 16. Server hiển thị hình ảnh

Bước 3. Vi mạch tính toán và hiển thị gắn vào buồng tối, đầu còn lại thì gắn khi chặn sáng.

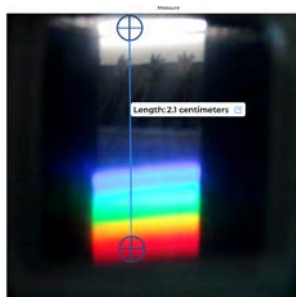


Hình 17. Server hiển thị hình ảnh



Hình 18. Server hiển thị hình ảnh

Bước 4. Đặt nguồn sáng trước bộ thí nghiệm sao cho ánh sáng có thể chiếu qua khe chặn sáng và khi lên trang web thì có thể thấy được ánh sáng đi qua và quang phổ vạch của nguồn sáng đó.



Hình 19. Server hiển thị hình ảnh

Bước 5. Trên trang web sẽ có một thanh trượt và con trỏ, khi di chuyển thanh trượt thì con trỏ cũng sẽ di chuyển theo, di chuyển thanh trượt sao cho con trỏ chỉ vào ánh sáng có màu cần đo bước sóng, bước sóng của ánh sáng sẽ được hiển thị ở màn hình.

2.7. Xây dựng tiến trình dạy học có sử dụng bộ thí nghiệm

2.7.1. Mục tiêu dạy học

Mục tiêu dạy học giúp học sinh đạt được các yêu cầu cần đạt của bài quang phổ vạch của nguyên tử cụ thể như sau: Mô tả được sự tồn tại của các mức năng lượng dừng của nguyên tử, giải thích được sự tạo thành vạch quang phổ, so sánh được quang phổ phát xạ và quang phổ vạch hấp thụ, vận dụng được biểu thức chuyển mức năng lượng $hf = E_1 - E_2$.

2.7.2. Tiến trình dạy học

Chúng tôi đã tham khảo chuỗi hoạt động của tiến trình dạy học của Nguyen và Le, (2022) để từ đó đề xuất tiến trình dạy học đáp ứng các yêu cầu cần đạt trong nội dung “Quang phổ vạch nguyên tử” bao gồm 4 hoạt động và được trình bày chi tiết ở Bảng 3.

Bảng 3. Tiến trình dạy học bài “Quang phổ vạch nguyên tử”

Hoạt động	Nội dung hoạt động	Tổ chức thực hiện	Sản phẩm dự kiến của HS
Hoạt động 1. Tìm hiểu dụng cụ TN	GV sẽ hướng dẫn cách sử dụng các dụng cụ TN	GV sẽ giao nhiệm vụ liên quan tên gọi và công dụng của từng dụng cụ trong TN để HS thực hiện nhiệm vụ tìm hiểu, làm quen và hiểu được công dụng	HS nắm được tên, công dụng và cách sử dụng các thiết bị
Hoạt động 2. Lắp ráp, bố trí các dụng cụ TN	HS tiến thành lắp ráp, bố trí TN	HS tiến thành chia nhóm và lắp ráp bộ TN để bố trí sau khi bố trí xong GV sẽ đi kiểm tra	Bộ TN được bố trí theo sự hướng dẫn trước đó của giáo viên
Hoạt động 3. Tiến hành TN theo các bước đã đề ra	HS thực hiện TN theo phương án đã đề xuất và thu thập các dữ liệu	HS thực hiện các thao tác TN theo các bước TN đã xây dựng để quan sát và thu thập dữ liệu	Bảng số liệu TN
Hoạt động 4. Xử lí, phân tích dữ liệu thu được	HS sử dụng các số liệu đã có tính toán để so sánh với kết quả lí thuyết	GV yêu cầu HS so sánh dữ liệu thực nghiệm đo bằng bộ thí nghiệm so sánh với bước sóng trong sách giáo khoa	Bước sóng của đèn LED đỏ, LED Xanh lục, Đèn hơi Thủy ngân, đèn hơi natri, hình ảnh của quan phổ liên tục của mặt trời, quang phổ hấp thụ của các loại đèn hơi

3. Kết quả

3.1. Kết quả đo bước sóng ánh sáng

Bảng 4. Bảng kết quả đo bước sóng ánh sáng

\bar{d} (cm)	$\bar{\lambda}$ (nm)
1.5	532.36
2.1	711
1.2	434
1.3	467

Bảng số liệu đầy đủ được trình bày ở Phụ lục bên dưới.

- d là khoảng cách từ nguồn sáng trung tâm đến vân sáng thứ nhất.
- λ là bước sóng ánh sáng.

Lưu ý: Sử dụng đo giá trị độ chia nhỏ nhất trong thuật toán là 0,01 để làm sai số của d .

Chứng minh công thức sai số tỉ đối

$$\lambda = \frac{10^{-3}}{600} \cdot \frac{d}{\sqrt{d^2 + m^2}}$$

$$\ln \lambda = \ln C + \ln d - \frac{1}{2} \ln(d^2 + m^2)$$

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2d + 2m}{d^2 + m^2} \quad (\text{Lấy vi phân 2 vế})$$

Xử lí số liệu

• **Giá trị trung bình của bước sóng**

$\overline{\lambda_{green}}$ (nm)	$\overline{\lambda_{red}}$ (nm)	$\overline{\lambda_{blue}}$ (nm)
532.36	711	434

Sai số tỉ đối của từng bước sóng

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2d + 2m}{d^2 + m^2}$$

$$e_{red} = \frac{1}{600} + \frac{0,01}{1,5} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0}{1,5^2 + 0^2} = 0,0127 = 1,3\%$$

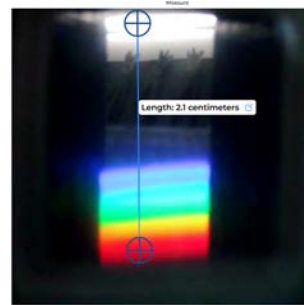
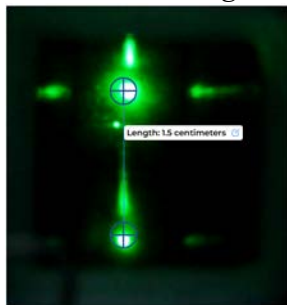
$$e_{blue} = \frac{1}{600} + \frac{0,01}{1,5} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0}{1,5^2 + 0^2} = 0,013 = 1,3\%$$

$$e_{blue} = \frac{1}{600} + \frac{0,01}{1,5} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0}{1,5^2 + 0^2} = 0,013 = 1,3\%$$

Kết quả phép đo

λ_{green} (nm)	λ_{red} (nm)	λ_{blue} (nm)
555 ± 7	711 ± 9	434 ± 5

Các số liệu đo bước sóng ánh sáng có thể tham khảo thêm ở Phụ lục bên dưới.



Hình 20. Chiều dài d của ánh sáng xanh lục

Hình 21. Chiều dài d của ánh sáng đỏ

Bước sóng ánh sáng đo được bằng bộ thí nghiệm có độ chính xác cao, cho kết quả trùng khớp với giá trị bước sóng được trình bày trong sách giáo khoa.

3.2. Thảo luận về kết quả của bộ thí nghiệm máy đo phổ

3.2.1. Phân tích nguyên nhân gây ra sai số

Thứ nhất, sai số xuất phát từ thuật toán đếm số pixel để tính khoảng cách của cảm biến ESP32-CAM. Việc chuyển đổi từ đơn vị pixel sang đơn vị chiều dài thực đòi hỏi hệ số hiệu chuẩn chính xác. Tuy nhiên, trong bộ thí nghiệm nhóm nghiên cứu đã hiệu chỉnh thông số này thông qua việc sử dụng một vật thể biết trước chiều dài thật và điểm số pixel để ra được hệ số tỉ lệ gần với thực tế nhất. Nhưng do khi tháo lắp bộ thí nghiệm có những sự thay đổi

rất nhỏ nên ảnh hưởng đến độ chính xác của hệ số hiệu chỉnh ban đầu.

Thứ hai, cường độ của nguồn phát xạ không ổn định cũng góp phần tạo ra sai số đáng kể. Các nguồn sáng như LED, đèn huỳnh quang, hoặc đèn hơi thủy ngân có xu hướng dao động cường độ theo tần số nguồn điện hoặc thay đổi theo nhiệt độ khi hoạt động trong thời gian dài. Sự biến thiên cường độ khiến hình ảnh các vạch phổ thu được bị thay đổi độ sáng, dẫn đến thuật toán phát hiện biên và cực đại độ sáng khó xác định chính xác vị trí tâm vân sáng. Điều này làm giá trị bước sóng tính được lệch so với lý thuyết.

Thứ ba, trong quá trình thực hiện phép đo, người dùng phải di chuyển trỏ đo (cursor) để đo khoảng cách từ vạch trung tâm đến vạch phát xạ cần đo bước sóng. Sự di chuyển trỏ đo sẽ khác nhau ở từng người dùng nên sẽ gây ra sai số ngẫu nhiên.

3.2.2. Thảo luận về kết quả đo của bộ thí nghiệm

Kết quả thực nghiệm từ bộ thí nghiệm đã cho thấy khả năng đo lường đáng tin cậy, độ chính xác cao và sai số thấp. Cụ thể:

- Kết quả đo của bộ thí nghiệm cho ra giá trị λ ở những bước sóng khác nhau.
- Sai số giữa thực nghiệm và lý thuyết chỉ khoảng 10%, chứng tỏ bộ thí nghiệm hoạt động hiệu quả với độ chính xác cao.

So sánh với các bộ thí nghiệm trên thị trường

Bộ thí nghiệm này thể hiện nhiều ưu điểm vượt trội khi so sánh với các thiết bị hiện có:

- Đa tính năng: Bộ thí nghiệm tích hợp mạch ESP 32-CAM nhỏ gọn tiện lợi những trang bị nhiều chức năng để đo đặc bước sóng.
- Sai số nhỏ: Kết quả đo có độ chính xác cao, chênh lệch nhỏ so với lý thuyết.
- Tính gọn nhẹ và tiện lợi: Thiết kế nhỏ gọn, dễ sử dụng, tiết kiệm thời gian chuẩn bị và thực nghiệm.
- Chi phí thấp: Bộ thí nghiệm này tiết kiệm chi phí hơn so với các bộ dụng cụ hiện tại mà vẫn đảm bảo hiệu quả thực nghiệm.

Ứng dụng trong dạy học

Bộ thí nghiệm không chỉ hỗ trợ giáo viên trong dạy học và đo đạc được các bước sóng của ánh sáng, khả năng thu thập, phân tích và xử lý số liệu nhanh chóng và chính xác. Việc ứng dụng chuyển đổi số khi dùng viễn thị máy tính (open CV) và lập trình nhúng (IOT) vào trong thực hành đo quang phổ của các ánh sáng.

4. Kết luận

Quá trình nghiên cứu và chế tạo bộ thí nghiệm máy đo quang phổ đã góp phần hỗ trợ quá trình dạy học của giáo viên và giúp học sinh củng cố, khắc sâu kiến thức. Nghiên cứu còn đóng góp vào kho học liệu dạy học, giúp phong phú hơn các thiết bị thí nghiệm trong dạy học Vật lý. So với các bộ thí nghiệm đã có trên thị trường, bộ thí nghiệm mà chúng tôi chế tạo mang đến những đổi mới quan trọng như kích thước nhỏ gọn, dễ sử dụng, tiết kiệm thời gian chuẩn bị và thí nghiệm, trong khi chi phí tổng thấp hơn. Ngoài ra, nghiên cứu đã áp dụng chuyển đổi số trong việc đo lường kết quả, đều sử dụng công nghệ nhận diện hình ảnh đo đặc khoảng cách bằng thuật toán máy tính hiện đại nhưng vẫn giữ được bản chất vật lý khi đo đặc các bước sóng của những ánh sáng khác nhau. Giải pháp này tạo điều kiện thuận lợi cho việc ứng dụng các phương pháp dạy học tích cực, giúp giáo viên và học sinh phân tích, xử lý số liệu

chính xác và nhanh chóng hơn. Chế tạo bộ thí nghiệm nhỏ gọn, chi phí thấp, dễ sử dụng. Tích hợp chuyển đổi số vào quá trình thực nghiệm, giúp tự động hoá việc thu thập dữ liệu. Góp phần đổi mới phương pháp dạy học, khuyến khích việc ứng dụng công nghệ trong dạy học. Bộ thí nghiệm đã được hoàn thiện và đáp ứng yêu cầu của bài học. Hệ thống tự động hoá việc thu thập số liệu đã được tích hợp thành công, giúp tiết kiệm thời gian xử lý dữ liệu. Tuy nhiên, bộ thí nghiệm chỉ được áp dụng cho môn Vật lý trung học phổ thông, chưa tích hợp vào nhiều lĩnh vực khoa học khác. Do đó, trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm sẽ tập trung mở rộng phạm vi ứng dụng của thiết bị sang nhiều lĩnh vực khoa học khác, đồng thời tối ưu hoá cấu trúc phần cứng và thuật toán xử lý nhằm nâng cao độ tin cậy, khả năng tùy biến và mức độ thân thiện với người dùng. Đây sẽ là cơ sở để bộ thí nghiệm trở thành một thiết bị dạy học đa năng, hiệu quả và có thể triển khai rộng rãi trong môi trường giáo dục.

- ❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.
- ❖ **Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh trong đề tài Sinh viên nghiên cứu khoa học năm học 2025-2026.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Likith, G., Jayram, N. D., Yaswanth, B., Sreekanth, D., Deny, J., Karuthapandi, M., & Vishwa, S. V. (2021). Designing of low-cost spectrometer for sensor application. *Journal of Optics*, 50(3), 489–494. <https://doi.org/10.1007/s12596-021-00707-w>
- Luong, D. B. (2007). *Vật lý đại cương (Tập 3, Phần một Quang học Vật lý nguyên tử và hạt nhân)* [General Physics, Volume 3: Part I – Optics, Atomic and Nuclear Physics]. Vietnam Education Publishing House.
- Ministry of Education and Training. (2006). *Quyết định ban hành Chương trình giáo dục phổ thông* [The National Curriculum]. Hanoi.
- Nguyen, T. L., & Le, N. L. (2022). Xây dựng bộ thí nghiệm sử dụng trong dạy học chủ đề “Phương trình trạng thái” nhằm phát triển năng lực thực nghiệm của học sinh [Creating experimental equipment used in teaching “ideal gas law” module– to develop students' experimental competence]. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 20(7), 1221-1234.
- Nguyen, V. K. (Chief Editor), Pham, T. G., Doan, T. H. Q., Tran, B. T., & Truong, A. T. (2023). *Sách giáo khoa Vật lý 12- Canh Dieu* [Physics 12 Textbook - Canh Dieu]. University of Education Publishing House.
- Nguyen, T. T., & Diep, N. A. (2005). *Giao trình Quang học* [Textbook of Optics]. Ho Chi Minh City University of Education Publishing House.
- Pham, N. T. V., & Phung, V. H. (Co-editor), Tran, N. N. B., Doan, H. H., Bui, Q. H., Do, X. H., Nguyen, N. H., Truong, D. H. T., & Tran, T. M. T. (2023). *Sách giáo khoa Vật lý 12 - Chan Troi Sang Tao* [Physics 12 Textbook - Chan Troi Sang Tao]. Vietnam Education Publishing House.
- Vu, V. H. (Chief Editor), Nguyen, V. B. (Author), Tran, N. C., Pham, K. C., Dang, T. H., Tuong, D. H., & Bui, G. T. (2023). *Sách giáo khoa Vật lý 12 - Ket noi tri thuc* [Physics 12 Textbook - Ket noi tri thuc]. Vietnam Education Publishing House.

**RESEARCH, DESIGN, AND FABRICATION
OF A SPECTROMETER EXPERIMENTAL KIT FOR TEACHING *ATOMIC LINE SPECTRA*
IN THE GRADE 12 *QUANTUM PHYSICS***

Nguyen Thanh Loan^{1*}, Tran Duc Quoc Duy¹, Doan Thi Yen Linh²

¹Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam

²Nguyen Thai Binh Secondary School, Ho Chi Minh City, Vietnam

*Corresponding author: Nguyen Thanh Loan – Email: loannt@hcmue.edu.vn

Received: October 28, 2025; Revised: November 17, 2025; Accepted: December 09, 2025

ABSTRACT

Quantum physics is one of the key topics of the Grade 12 Physics curriculum. It provides students with fundamental knowledge and introductory skills related to quantum phenomena. Through the study of microscopic particles such as photons and electrons, students gain insights into the principles that govern the behavior of matter and energy at the atomic and subatomic levels. Research in this field have helped to explain many previously unknown aspects of the natural world and have also led to numerous practical applications in daily life. One such application is the spectrometer. Although spectrometer kits are available on the market and can be used in teaching, they still have several limitations. Most are designed primarily for qualitative observations rather than quantitative measurements. In addition, they are often bulky, require a 220V–50Hz power supply that may raise safety concerns in classroom settings, and typically allow only individual students to directly observe spectral lines during experiments. To address these limitations, this study developed and fabricated a spectrometer kit that utilizes a diffraction grating rather than a prism as the dispersive element and incorporates an ESP32-CAM module for spectral image capture and analysis. The study employed an experimental research methodology combined with a scalable design approach, enabling future mass production while reducing manufacturing costs. The spectrometer kit developed in this study is capable of measuring wavelengths and verifying the emission line spectrum, the continuous spectrum of common light sources such as hydrogen, neon, incandescent lamps, and fluorescent lamps. Its functionality is comparable to existing commercial spectrometers. However, our prototype is being further refined to both lower costs and reduce measurement errors, which currently stand at about 10%.

Keywords: continuous spectrum; emission line spectrum; quantum physics; spectrometer experimental kit

PHỤ LỤC

Đường liên kết truy cập phụ lục bài báo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1rQWL7lA0hSfd8xYJR7ludTIUWqF-2eAy>

Mã QR của phụ lục bài báo:

