

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**  
**KHOA VẬT LÝ**

**NGUYỄN THÀNH PHÚC**

**ỨNG DỤNG VI ĐIỀU KHIỂN ARDUINO VÀ**  
**CẢM BIẾN CƯỜNG ĐỘ ÁNH SÁNG ĐỂ THIẾT KẾ**  
**BỘ THÍ NGHIỆM KHẢO SÁT SỰ PHÂN BỐ CƯỜNG ĐỘ**  
**CÁC VÂN GIAO THOA NHIỀU XẠ**

**LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP ĐẠI HỌC**

Thành phố Hồ Chí Minh - 2019

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**  
**KHOA VẬT LÝ**

**NGUYỄN THÀNH PHÚC**

**ỨNG DỤNG VI ĐIỀU KHIỂN ARDUINO VÀ**  
**CẢM BIẾN CƯỜNG ĐỘ ÁNH SÁNG ĐỂ THIẾT KẾ**  
**BỘ THÍ NGHIỆM KHẢO SÁT SỰ PHÂN BỐ CƯỜNG ĐỘ**  
**CÁC VÂN GIAO THOA NHIỀU XẠ**

Ngành: SƯ PHẠM VẬT LÝ

Mã số:

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**  
**ThS. NGÔ MINH NHỰT**

Thành phố Hồ Chí Minh - 2019

## **LỜI CẢM ƠN**

*Trong cuộc sống, thành công không chỉ đến từ cố gắng, nỗ lực của bản thân mà còn gắn liền với sự giúp đỡ, hỗ trợ từ người khác dù ít hay nhiều. Suốt chặng đường bốn năm đại học của mình, em nhận được những kiến thức vật lý bổ ích và sự quan tâm, chia sẻ của thầy cô, gia đình, bạn bè. Từ tận đáy lòng, em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc nhất đến quý Thầy cô Khoa Vật lý Trường Đại học Sư phạm Thành Phố Hồ Chí Minh, những người đã truyền dạy kinh nghiệm quý báu và bản lĩnh nghề nghiệp giáo cho em trên giảng đường đại học.*

*Em xin gửi lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất đến Thầy Ngô Minh Nhựt, người đã tận tình, tận tâm hướng dẫn trong suốt khoảng thời gian em thực hiện khóa luận. Thầy đã chỉ dạy những kinh nghiệm mà mãi sau này em không bao giờ quên được.*

*Bên cạnh đó, em xin gửi lời cảm ơn và tri ân đến Thầy Nguyễn Lâm Duy, người đã luôn quan tâm sâu sát, cho những lời khuyên và giải pháp hữu ích để em giải hoàn thành trọn vẹn khóa luận. Em xin cảm ơn và biết ơn Thầy Nguyễn Tấn Phát, Thầy Nguyễn Hoàng Long đã luôn động viên và tạo động lực để em vượt qua bao khó khăn. Ngoài ra, em cảm ơn các thầy cô trong tổ Vật lý Đại cương, các phòng ban, tổ bảo vệ đã tạo điều kiện thuận lợi cho em thực hiện khóa luận này.*

*Lời cuối cùng, em xin gửi lời cảm ơn đến mẹ của em, người đã luôn bên cạnh, hỗ trợ về mặt tinh thần và tạo động lực cho em làm việc, học tập. Em cũng rất biết ơn bạn bè, người thân thương và các bạn trong phòng thí nghiệm Vật lý Đại cương Nâng cao đã động viên, san sẻ về vật chất và tinh thần trong khoảng thời gian qua.*

*Em xin chân thành cảm ơn!*

*Thành phố Hồ Chí Minh, ngày 19 tháng 04 năm 2019*

**Sinh viên**

**Nguyễn Thành Phúc**

## MỤC LỤC

<b>MỞ ĐẦU .....</b>	<b>1</b>
1. Tổng quan, lý do chọn đề tài .....	1
2. Mục tiêu của đề tài.....	3
3. Nội dung nghiên cứu.....	3
4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu .....	4
5. Phương pháp nghiên cứu .....	4
<b>CHƯƠNG 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT- NỘI DUNG NGHIÊN CỨU.....</b>	<b>6</b>
1.1. Vi điều khiển Arduino Nano.....	6
1.2. Cảm biến cường độ ánh sáng BH1750FVI .....	7
1.3. Encoder.....	7
1.4. Module Bluetooth HC-05 .....	8
1.5. Mạch điều khiển động cơ DC TB6612FNG.....	9
1.6. Giao diện máy tính cá nhân .....	10
1.7. Sơ đồ thiết kế bộ thí nghiệm.....	11
<b>CHƯƠNG 2: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU.....</b>	<b>12</b>
2.1. Bộ thí nghiệm hoàn chỉnh.....	12
2.2. Thí nghiệm kiểm tra tính ổn định của bộ thí nghiệm.....	13
2.2.1. Thí nghiệm khảo sát sự tuyến tính của cảm biến đo cường độ sáng.....	13
2.2.2. Thí nghiệm đo bước sóng ánh sáng bằng hiện tượng giao thoa khe Young.	18
2.2.3. Khảo sát hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng qua hệ một khe .....	22
2.3. So sánh với các bộ thí nghiệm cùng loại .....	26
<b>CHƯƠNG 3: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN .....</b>	<b>27</b>
3.1. Kết luận .....	27
3.2. Hướng phát triển .....	27
<b>CHƯƠNG 4: TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>29</b>

## DANH MỤC BẢNG

<b>Bảng 1.</b> Số liệu giá trị thu được trên cảm biến ứng với góc $\theta$ .....	15
<b>Bảng 2.</b> Số liệu các khoảng vân giao thoa cực đại trong lần khảo sát thứ nhất .....	20
<b>Bảng 3.</b> Khảo sát hiện tượng giao thoa khe Young .....	21
<b>Bảng 4.</b> Khảo sát cường độ sáng trong thí nghiệm nhiễu xạ qua một khe .....	25

## DANH MỤC HÌNH ẢNH

<b>Hình 1.</b> Bộ thí nghiệm vẽ cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ do Khoa Vật lý trường Đại học Sư Phạm TPHCM thiết kế (a); Bộ thí nghiệm Xác định bước sóng ánh sáng do Công ty Nhà sách Thiết bị trường học sản xuất (b); Bộ thí nghiệm giao thoa nhiễu xạ ánh sáng do hãng thiết bị Pasco sản xuất (c) [3] .....	3
<b>Hình 2.</b> Vi điều khiển Arduino Nano [9] .....	6
<b>Hình 3.</b> Sơ đồ nguyên lý mạch cảm biến cường độ sáng BH1750FVI.....	7
<b>Hình 4.</b> Cấu tạo của Encoder và hình ảnh xung của hai kênh A, B .....	8
<b>Hình 5.</b> Bluetooth HC-05 .....	9
<b>Hình 6.</b> Sơ đồ mạch điều khiển động cơ TB6612FNG .....	10
<b>Hình 7.</b> Giao diện tương tác trên máy tính cá nhân.....	11
<b>Hình 8.</b> Sơ đồ thiết kế bộ thí nghiệm .....	11
<b>Hình 9.</b> Hình ảnh bộ thí nghiệm hoàn chỉnh và hệ mạch điện của bộ thí nghiệm.....	12
<b>Hình 10.</b> Sơ đồ thí nghiệm khảo sát sự tuyến tính của cảm biến đo cường độ sáng .....	13
<b>Hình 11.</b> Hệ thí nghiệm: Đèn laser He-Ne (1); Kính phân cực (2); Kính phân tích (3); Bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ (4); Giao diện tương tác trên máy tính (5).....	14
<b>Hình 12.</b> Đồ thị biểu diễn giá trị thu được trên cảm biến BH1750FVI theo $\cos^2(\theta)$ (a); Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện áp ngõ ra vào cường độ sáng chiếu tới phototransistor khi thay đổi góc hợp bởi phương phân cực của ánh sáng và của kính phân cực ở bộ thí nghiệm của Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm TPHCM nghiên cứu (b)[4] .....	16
<b>Hình 13.</b> Đồ thị biểu diễn giá trị thu được trên cảm biến BH1750FVI ứng với góc $\theta$ ....	17
<b>Hình 14.</b> Hệ thí nghiệm giao thoa khe Young: Đèn laser He-Ne (1); Giá đỡ có gắn bộ vi chỉnh khe Young (2); Bộ thí nghiệm khảo sát cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ (3); Giao diện tương tác trên máy tính (4) .....	18
<b>Hình 15.</b> Hình ảnh hệ vân giao thoa được hứng trên tờ giấy trắng.....	19
<b>Hình 16.</b> Ảnh chụp hệ vân giao thoa trong thực tế.....	20
<b>Hình 17.</b> Đồ thị biểu diễn cường độ sáng theo vị trí của thí nghiệm giao thoa .....	20
<b>Hình 18.</b> Hiện tượng nhiễu xạ qua một khe hẹp.....	23

<b>Hình 19.</b> Hệ thí nghiệm giao thoa khe Young: Đèn laser He-Ne (1); Giá đỡ có gắn bộ vi chỉnh khe Young (2); Bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố các vân giao thoa, nhiễu xạ (3); Giao diện tương tác trên máy tính (4) .....	24
<b>Hình 20.</b> Đồ thị phân bố cường độ sáng theo vị trí ứng với nhiễu xạ một khe .....	25
<b>Hình 21.</b> Giải pháp mới cho hệ cơ khí của bộ thí nghiệm.....	27

## DANH MỤC VIẾT TẮT

Trung học phổ thông	THPT
Đại học, Cao đẳng	ĐH,CD
Thành phố Hồ Chí Minh	TPHCM
Integrated Development Enviroment	IDE
Photodiode	PD
Analog Digital Converter	ADC
Volt	V
Ampere	A
Direct Current	DC
Alternating Current	AC
Arbitrary Units	a.u.
Integrated Circuit	IC
Inter - Integrated Circuit	I2C



## MỞ ĐẦU

### 1. Tổng quan, lý do chọn đề tài

Trong những năm gần đây, hệ thống giáo dục Việt Nam đã tiến hành những thay đổi chú trọng vào việc bồi dưỡng về nội dung kiến thức và nâng cao khả năng ứng dụng kiến thức vào thực tế cho người học. Trong bộ môn Vật lí, việc thực hành thí nghiệm đóng vai trò quan trọng trong việc từng bước hình thành kỹ năng thực nghiệm và rèn luyện, củng cố kiến thức đã học cho học sinh, sinh viên. Tuy nhiên, việc trang bị và sử dụng các thiết bị thí nghiệm ở nhiều trường trung học phổ thông (THPT), trường cao đẳng (CĐ), đại học (ĐH) còn nhiều mặt hạn chế: dụng cụ thí nghiệm chưa đầy đủ, một số dụng cụ thí nghiệm có sai số lớn nên kết quả đo đạc chưa chính xác và không đúng với các kết quả tính được trên lý thuyết [1]. Ngoài ra, một số dụng cụ thí nghiệm có độ ổn định không cao, dễ hỏng hóc trong quá trình vận hành, do vậy việc sử dụng các thiết bị thí nghiệm chưa được hiệu quả. Cũng chính vì lý do trên, các giáo viên, giảng viên thường ngại sử dụng thí nghiệm trong các hoạt động dạy học.

Cụ thể, trong chương trình Vật lí lớp 12 phần Sóng ánh sáng, bộ thí nghiệm Xác định bước sóng ánh sáng bằng hiện tượng giao thoa do Công ty Cổ phần Sách và Thiết bị trường học sản xuất đang được trang bị rộng rãi ở các trường THPT và một số trường CĐ, ĐH [2]. Bộ thí nghiệm này sử dụng nguồn laser diode ánh sáng đỏ chiếu tới khe Young, và hình ảnh của các vân giao thoa được quan sát trên màn trắng có thước chia vạch với độ chia nhỏ nhất là 1mm. Bước sóng của ánh sáng trong thí nghiệm này được xác định theo biểu thức:

$$\lambda = \frac{ai}{D} \quad (1)$$

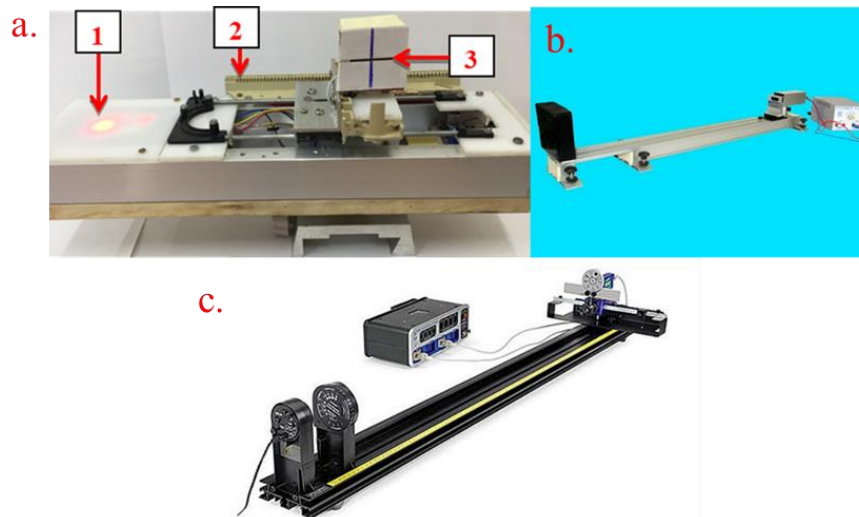
với  $a$  là khoảng cách giữa hai khe Young;  $D$  là khoảng cách từ khe Young tới màn trắng quan sát;  $i$  là khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp, còn được gọi là khoảng vân. Dựa vào thước chia vạch ở màn trắng quan sát, người làm thí nghiệm sẽ xác định được khoảng cách giữa hai vân sáng liên tiếp.

Sai số tương đối của phép đo được tính bởi biểu thức:

$$\varepsilon = \frac{\overline{\Delta\lambda}}{\lambda} = \frac{\overline{\Delta i}}{i} + \frac{\overline{\Delta D}}{D} + \frac{\overline{\Delta a}}{a} \quad (2)$$

Khoảng cách  $D$  từ khe Young đến màn quan sát thường lớn, do vậy sai số của phép đo bước sóng  $\lambda$  phụ thuộc rất nhiều vào sai số của khoảng vân  $i$ . Để phép đo bước sóng  $\lambda$  được chính xác thì cần phải cải thiện sai số dụng cụ khi đo khoảng vân  $i$ . Bên cạnh đó, trên thị trường còn có nhiều bộ thí nghiệm khảo sát hệ vân giao thoa nhiễu xạ do các hãng chuyên sản xuất trang thiết bị về dạy học như Pasco, Leybold, Phywe, ... Đặc biệt trong số đó là bộ thí nghiệm của hãng thiết bị Pasco [3] sản xuất sử dụng một cảm biến để đo cường độ sáng vân giao thoa. Cảm biến ánh sáng này được gắn trên một cảm biến xác định vị trí và được người dùng di chuyển dọc theo trường giao thoa. Dữ liệu về vị trí và cường độ vân giao thoa sẽ được cập nhật lên máy tính và vẽ được đồ thị thể hiện sự phân bố cường độ các vân giao thoa, nhiễu xạ trên trường giao thoa. Từ đó, người làm thí nghiệm có thể xác định được vị trí các cực đại giao thoa và tính được khoảng vân  $i$ . Hạn chế của bộ thí nghiệm này là người dùng phải di chuyển hệ thống thu nhận dữ liệu cường độ sáng một cách cẩn thận để việc đo đạc được chính xác. Do đó, việc thực hiện thí nghiệm đòi hỏi kỹ năng và thao tác tốt. Hơn nữa giá thành của bộ thí nghiệm này rất đắt, khó trang bị rộng rãi ở các trường phổ thông.

Ngoài ra, hiện nay đã có một số phòng thí nghiệm đã tập trung nghiên cứu, cải tạo và phát triển bộ thí nghiệm liên quan đến vẽ cường độ vân giao thoa nhiễu xạ, đặc biệt trong số đó là sản phẩm của Tổ Vật lý Đại cương thuộc Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh [4]. Bộ thí nghiệm này có khả năng vẽ được đồ thị cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ ánh sáng với bề rộng trường giao thoa là 5cm và độ phân giải nhỏ nhất là 0,1mm. Bộ thí nghiệm cũng thu nhận dữ liệu tự động và trao đổi với máy vi tính thông qua giao diện tương tác bằng công nghệ Bluetooth. Tuy nhiên, việc thực hành thí nghiệm còn thủ công, người làm thí nghiệm phải đẩy hệ thống đo đạc bằng tay, do đó việc thực hiện đo đạc vẫn còn phụ thuộc rất nhiều vào khả năng thực nghiệm của người làm thí nghiệm.



**Hình 1.** Bộ thí nghiệm vẽ cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ do Khoa Vật lý trường Đại học Sư Phạm TPHCM thiết kế (a); Bộ thí nghiệm Xác định bước sóng ánh sáng do Công ty Nhà sách Thiết bị trường học sản xuất (b); Bộ thí nghiệm giao thoa nhiễu xạ ánh sáng do hãng thiết bị Pasco sản xuất (c) [3]

Bên cạnh đó, việc sử dụng các bộ thí nghiệm kết nối với máy tính là một trong những xu thế tất yếu trong việc đổi mới phương pháp dạy và học kiến thức vật lý. Nhiều nghiên cứu trong nước đã ứng dụng các vi điều khiển tích hợp với một số cảm biến chuyên dụng để cải tiến, tự động hóa các bộ thí nghiệm; giúp cho việc thực hiện thí nghiệm được dễ dàng hơn [5-8]. Từ những lý do đã nêu, việc ứng dụng vi điều khiển Arduino và cảm biến ánh sáng để thiết kế bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố cường độ các vân giao thoa nhiễu xạ là một đề tài mang tính cấp thiết. Bộ thí nghiệm có khả năng khảo sát tự động sự phân bố của các vân giao thoa nhiễu xạ trên trường giao thoa, thu nhận dữ liệu một cách nhanh chóng nhờ vi điều khiển và cảm biến ánh sáng. Đồng thời, việc sử dụng vi điều khiển Arduino và công nghệ Bluetooth giúp bộ thí nghiệm có thể giao tiếp với giao diện xử lý trên máy tính cá nhân, giúp việc xử lý số liệu một cách hiệu quả.

## 2. Mục tiêu của đề tài

Xây dựng bộ thí nghiệm có khả năng khảo sát được vị trí và sự phân bố cường độ của các vân giao thoa, nhiễu xạ ánh sáng. Bộ thí nghiệm có khả năng truyền nhận dữ liệu cường độ sáng theo vị trí về máy tính cá nhân thông qua công nghệ Bluetooth và hiển thị, xử lý kết quả trên giao diện. Thực hiện một số thí nghiệm về giao thoa, nhiễu xạ ánh sáng để kiểm tra tính ổn định của bộ thí nghiệm.

## 3. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu, tìm hiểu và hiểu được các kiến thức về điện tử cơ bản.

Nghiên cứu và tìm hiểu cách sử dụng các linh kiện điện tử như mạch điều khiển động cơ TB6612FNG, màn hình hiển thị LCD, module giao tiếp I2C, module Bluetooth HC-05.

Nghiên cứu cấu tạo, cách thức hoạt động của vi điều khiển Arduino Nano. Nghiên cứu về ngôn ngữ lập trình C. Lập trình vi điều khiển Arduino Nano kết nối với từng linh kiện điện tử trên giao diện Arduino IDE (Integrated Development Enviroment).

Nghiên cứu về cảm biến cường độ sáng BH1750FVI và kết nối với vi điều khiển Arduino để truyền nhận dữ liệu.

Nghiên cứu về Encoder để xác định vị trí, độ dịch chuyển. Thiết kế hệ cơ khí của bộ thí nghiệm. Tích hợp tất cả các linh kiện điện tử với vi điều khiển Arduino và vận hành bộ thí nghiệm. Xây dựng và hoàn thiện bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố cường độ các vân giao thoa, nhiễu xạ ánh sáng.

Thực hiện một số thí nghiệm để kiểm chứng tính ổn định của bộ thí nghiệm, rút ra ưu, nhược điểm và đề xuất phương án điều chỉnh, cải tiến phù hợp.

#### **4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Đối tượng nghiên cứu trong đề tài này là vi điều khiển Arduino; cảm biến cường độ sáng BH1750FVI; một số linh kiện điện tử; kiến thức về điện tử cơ bản; xác định vị trí thông qua Encoder; kiến thức và các tài liệu liên quan về giao thoa, nhiễu xạ ánh sáng.

Phạm vi nghiên cứu về kiến thức về quang học; hiện tượng và lý thuyết về giao thoa và nhiễu xạ ánh sáng trong chương trình Trung học Phổ thông, trong chương trình Đại học, Cao đẳng.

#### **5. Phương pháp nghiên cứu**

Đề tài khóa luận được thực hiện với ba phương pháp chính:

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết, phương pháp này đóng vai trò quan trọng, làm nền tảng cho việc thực hiện đề tài. Nghiên cứu các tài liệu về điện tử cơ bản, hiểu rõ về linh kiện điện tử và vi điều khiển Arduino sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho việc thực hiện các bước nghiên cứu tiếp theo. Do đó, hiểu rõ và vận dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết một cách hiệu quả là vô cùng cần thiết.

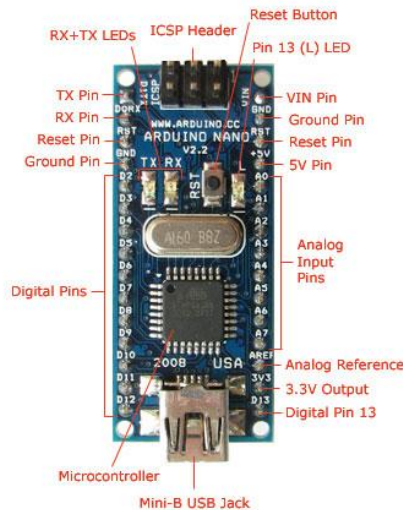
Phương pháp thứ hai được sử dụng trong đề tài này chính là phương pháp lấy ý kiến chuyên gia. Để đo đạc được cường độ sáng và vị trí của các vân giao thoa nhiễu xạ, việc xây dựng hệ cơ khí là rất quan trọng. Vì vậy, việc tham khảo ý kiến chuyên gia trong thiết kế hệ cơ khí và sử dụng các linh kiện điện tử giúp giảm thời gian thiết kế và thử nghiệm bộ thí nghiệm.

Phương pháp cuối cùng là phương pháp thực nghiệm. Chương trình xử lý của vi điều khiển Arduino cho bộ thí nghiệm được xây dựng và hiệu chỉnh thông qua quá trình lắp ráp phần cơ khí, kiểm tra cách thức hoạt động của từng bộ phận trên testboard, chạy thử từng bộ phận thí bị điện tử; sau đó rút ra ưu nhược điểm của từng bộ phận và thiết kế mạch điện thích hợp đóng vai trò quyết định cho việc hoàn thiện bộ thí nghiệm. Cuối cùng, hệ cơ khí và chương trình xử lý được hoàn thiện và kết nối với máy tính cá nhân trên giao diện máy tính nhờ công nghệ Bluetooth. Việc xây dựng và hoàn thiện các công đoạn đã nêu nhận được sự hỗ trợ và hướng dẫn từ thầy hướng dẫn và các thầy cô trong tổ bộ môn.

## CHƯƠNG 1: CƠ SỞ LÝ THUYẾT- NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

### 1.1. Vi điều khiển Arduino Nano

Vi điều khiển Arduino [9-10] là nền tảng thiết bị điện tử mã nguồn mở có thể sử dụng để dễ dàng giao tiếp với phần cứng và nhiều thiết bị cảm biến. Đặc điểm nổi bật của Arduino là KIT phát triển trên nền tảng chip AVR, hỗ trợ đa chức năng, tích sẵn mạch nạp, có các cổng giao tiếp, ... Người dùng viết chương trình để lập trình cho Arduino sẽ thông qua phần mềm Arduino IDE (Integrated Development Environment) dựa trên ngôn ngữ lập trình C. Với giá thành rẻ, thông dụng trên thị trường và do kích thước nhỏ gọn dễ lắp đặt nên Arduino Nano được sử dụng trong bộ thí nghiệm này. Hình 2 mô tả các chân vi điều khiển Arduino Nano.



**Hình 2.** Vi điều khiển Arduino Nano [9]

Một số thông số nổi bật của vi điều khiển Arduino Nano như:

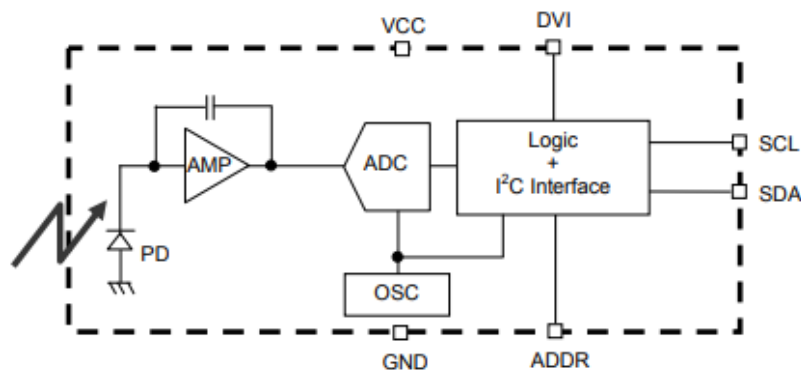
- Vi điều khiển (microcontroller) được dùng là ATmega328P-AU thuộc họ 8 bit.
- Điện áp hoạt động của vi điều khiển là 5VDC.
- Điện áp vào giới hạn từ 6 – 20 VDC.
- Bộ nhớ Flash của vi điều khiển là 32KB. Bộ nhớ SRAM là 2KB. Bộ nhớ EEPROM là 1KB.
- Cường độ dòng điện tiêu thụ khi hoạt động là 30 mA.
- Tần số khi hoạt động là 16 MHz.
- 14 chân Digital (trong đó có 6 chân PWM): 6 chân PWM: D3, D5, D6, D9, D10 và D11 cho phép xuất tín hiệu điện áp có thể điều chỉnh từ 0V-5V. 4

chân giao tiếp SPI: D10 (SS), D11 (MOSI), D12 (MISO), D13 (SCK). Ngoài các chức năng thông thường, còn có thể dùng để truyền phát dữ liệu bằng giao thức SPI với các thiết bị khác.

- 8 chân Analog (từ chân A0 đến chân A7) với độ phân giải 10 bit dùng để đọc giá trị điện áp trong khoảng từ 0-5V. 2 chân A4 (SDA) và A5 (SCL) hỗ trợ giao tiếp I2C/TWI với các thiết bị khác.

### 1.2. Cảm biến cường độ ánh sáng BH1750FVI

Cảm biến cường độ ánh sáng BH1750FVI [11] là IC cảm biến ánh sáng được thiết kế để kết nối với vi điều khiển Arduino thông qua giao tiếp I2C. Cảm biến đo cường độ sáng này có thể phát hiện ánh sáng trong dải bước sóng của vùng khả kiến từ 400nm tới 760nm với độ phân giải 16 bit từ 1 – 65535 lux. Cấu tạo của cảm biến cường độ ánh sáng BH1750FVI được thể hiện như hình 3. Một photodiode (PD) có thể phát hiện bước sóng trong vùng khả kiến. Khi có ánh sáng phù hợp chiếu tới, photodiode xuất hiện dòng quang điện tỉ lệ tuyến tính với cường độ sáng. Sau đó, OPAMP khuếch đại cường độ dòng quang điện của photodiode thành tín hiệu điện áp. Kế đến, mạch ADC (Analog Digital Converter) chuyển đổi tín hiệu điện áp này thành giá trị số ứng với 16 bit dữ liệu. Tín hiệu số ADC sẽ được chuyển đổi thành mã nhị phân ở mạch logic và truyền dữ liệu cường độ sáng qua phương thức I2C nhờ hai chân SCL và SDA.

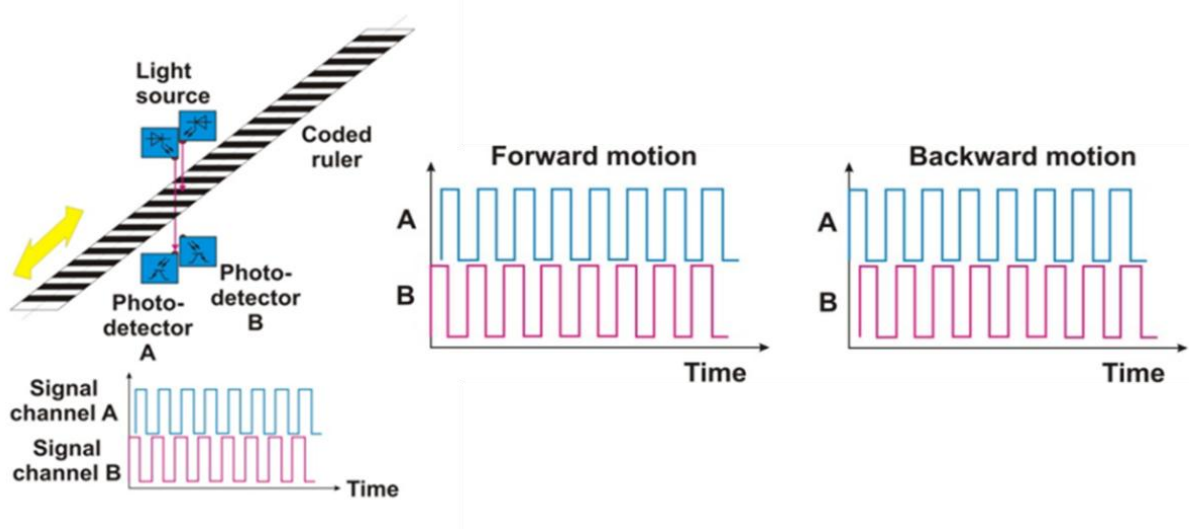


**Hình 3.** Sơ đồ nguyên lý mạch cảm biến cường độ ánh sáng BH1750FVI

### 1.3. Encoder

Cảm biến BH1750FVI được đặt trên một hệ đế trượt và có thể di chuyển dễ dàng trên ray trượt dài 27 cm. Để xác định được vị trí của đế trượt trên ray, trên đế trượt và phần cơ khí của bộ thí nghiệm được thiết kế hệ thống encoder quang học. Encoder quang học là một thiết bị cảm biến theo dõi sự thay đổi chuyển động và chuyển đổi

thành tín hiệu điện chuyển đến các vi điều khiển [12]. Cấu tạo của Encoder quang học được mô tả trong hình 4. Encoder này bao gồm một dây thừng được khắc các vạch đen đều nhau xen kẽ; hai kênh phát và thu hồng ngoại A, B tích hợp với mạch điện tử được đặt đối xứng với nhau trên dây. Nếu giữa hai đầu thu phát ở kênh A là vạch đen, ánh sáng từ đầu phát sẽ không được truyền tới đầu thu, vì vậy điện thế ngõ ra của mạch điện tử Encoder ở kênh A sẽ ở mức thấp. Trường hợp giữa hai đầu thu phát là vạch trắng, ánh sáng từ đầu phát được truyền tới đầu thu, điện thế ngõ ra ở kênh A sẽ là mức cao. Hệ thu phát hồng ngoại A, B được gắn cố định trên đế trượt sao cho khi đế trượt dịch chuyển đầu ra Encoder quang học sẽ tạo ra hai tín hiệu xung vuông lệch pha  $90^\circ$ . Hai tín hiệu xung vuông này được xử lý bởi vi điều khiển Arduino, từ đó có thể xác định được vị trí của đế trượt. Dựa vào hai tín hiệu ở hai kênh A, B này có thể xác định được chiều dịch chuyển của đế trượt trên ray. Dây thừng được khắc các vạch đều nhau được lấy từ trong máy in Canon IP2770; thông qua xử lý xung tín hiệu tính toán được bước dịch chuyển của đế trượt là  $\frac{1}{24}mm$ .



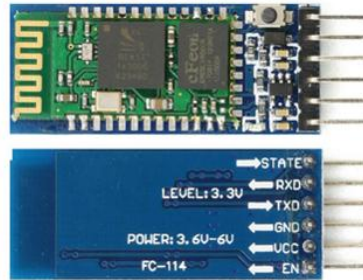
**Hình 4.** Cấu tạo của Encoder và hình ảnh xung của hai kênh A, B

#### 1.4. Module Bluetooth HC-05

Trong đề tài này, thiết bị bluetooth HC-05 [13] được sử dụng để truyền nhận dữ liệu cảm biến cường độ ánh sáng theo vị trí từ bộ thí nghiệm về máy tính. Đây là một thiết bị cho phép giao tiếp bằng sóng radio ở băng tần ở 2,4 đến 2,480 GHz với tầm thu phát tối đa là 10 m. Thiết bị này có hai trạng thái hoạt động: Master-Slave. Trạng thái Slave là chế độ mặc định, các thiết bị bluetooth khác có thể tìm và kết nối với bluetooth đang ở chế độ này. Ở trạng thái Master: bluetooth sẽ tự động tìm kiếm và



giao tiếp với bluetooth khác ở chế độ Slave. Trong bộ thí nghiệm, vi điều khiển Arduino sẽ kết nối với Bluetooth ở trạng thái Slave, máy tính cá nhân đóng vai trò như là trạng thái Master. Khi ghép nối với nhau, Arduino sẽ truyền tín hiệu về cường độ sáng, vị trí về máy tính cá nhân để máy tính cá nhân xử lý dữ liệu. Thiết bị Bluetooth HC-05 được mô tả trong hình 5.



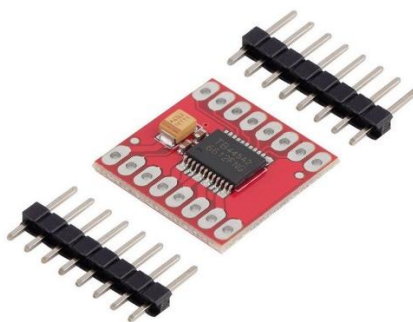
**Hình 5.** Bluetooth HC-05

Chức năng của các chân sử dụng trên HC-05 bao gồm:

- STATE: Chân dùng để thông báo trạng thái của Bluetooth.
- RXD, TXD: Hai chân truyền, nhận dữ liệu trong kết nối UART.
- GND: Chân nối điện thế đất.
- VCC: Chân nối nguồn +5V.
- ENB: Chân dùng để chuyển đổi qua lại giữa hai chế độ Command Mode và Data Mode.

### 1.5. Mạch điều khiển động cơ DC TB6612FNG

Trong thiết kế này, mạch điều khiển động cơ DC TB6612FNG [14-15] để điều khiển động cơ 12V DC để kéo hệ để trượt di chuyển trên ray trượt. Mạch điều khiển này được tập đoàn TOSHIBA sản xuất rất thông dụng, nhỏ gọn và có giá thành rẻ trên thị trường. Bên cạnh đó, mạch TB6612FNG có thể sử dụng để điều khiển tối đa hai động cơ DC hoặc một động cơ bước với dòng điện ổn định là 1,2 A. Tốc độ của mỗi động cơ có thể được điều khiển qua các xung tín hiệu PWM với tần số đáp ứng lên tới 100 KHz. Mức logic của điện áp cung cấp cho mạch từ 2,7 – 5,5V DC. Điện áp cấp cho nguồn nuôi động cơ được giới hạn ở 15V DC.



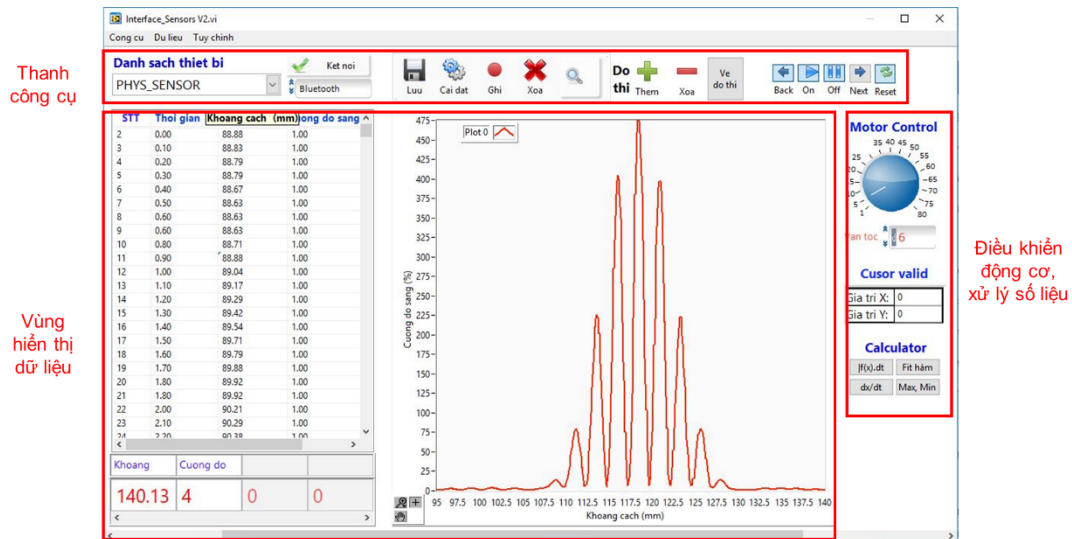
**Hình 6.** Sơ đồ mạch điều khiển động cơ TB6612FNG

Một số thông số kỹ thuật cần lưu ý của mạch điều khiển động cơ:

- Điện áp nuôi và cấp mức Logic: 2,7 ~ 5,5V DC.
- Điện áp cấp cho động cơ tối đa 15VDC.
- Dòng ngõ ra liên tục: 1,2A cho mỗi cầu (có thể mắc song song để lên đến 2,4A).
- Dòng tối đa mà mạch điều khiển có thể chịu được: 3,2 A.
- Bảo vệ quá nhiệt và quá áp.
- Tụ lọc ở cả 2 ngõ cấp nguồn.
- Bảo vệ chống ngược nguồn cấp cho động cơ.

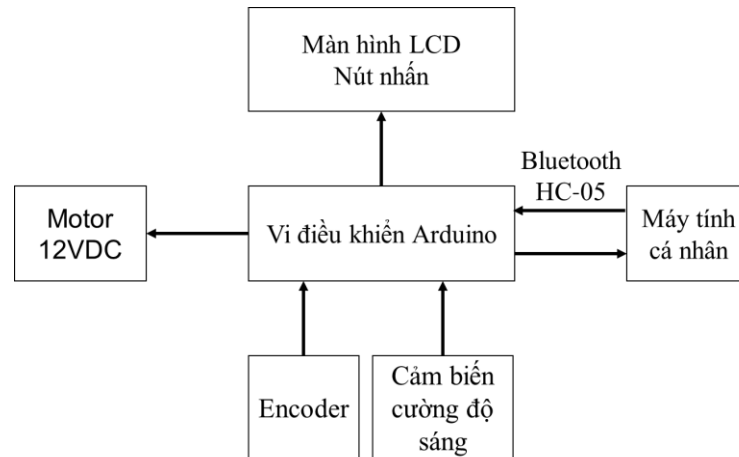
### 1.6. Giao diện máy tính cá nhân

Hình 7 là giao diện giao tiếp giữa bộ thí nghiệm và máy tính được viết trên nền tảng ngôn ngữ Labview [16]. Giao diện này được phát triển bởi các giảng viên tổ Vật lý Đại cương của Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh là được ứng dụng trong khóa luận này. Giao diện này được thiết kế để người sử dụng có thể dễ dàng tương tác với bộ thí nghiệm trong quá trình đo đạc, xử lý và lưu trữ các dữ liệu thông qua máy tính cá nhân. Giao diện máy tính cung cấp một số chức năng điều khiển việc ghi đo số liệu trên thanh công cụ. Trên giao diện sẽ gồm 3 phần chính: Thanh công cụ, vùng hiển thị dữ liệu đo dưới dạng số và đồ thị, bảng điều khiển động cơ và xử lý số liệu trực tiếp. Trong bộ thí nghiệm này, thanh công cụ giúp cho việc lựa chọn kết nối với bộ thí nghiệm, chọn các giá trị để vẽ đồ thị. Sau đó, người dùng điều khiển bộ thí nghiệm trực tiếp trên bảng điều khiển. Các dữ liệu về cường độ sáng và vị trí sẽ được hiển thị và được vẽ đồ thị biểu diễn trên vùng hiển thị dữ liệu. Để xử lý các số liệu, tìm các đỉnh cực đại hoặc cực tiểu thì người sử dụng chọn các chế độ trên thanh công cụ và bảng xử lý số liệu. Ngoài ra, giao diện còn có chế độ xuất file excel các dữ liệu đo được, thuận tiện cho việc lưu trữ, xử lý số liệu trên các ứng dụng khác.



Hình 7. Giao diện tương tác trên máy tính cá nhân

### 1.7. Sơ đồ thiết kế bộ thí nghiệm



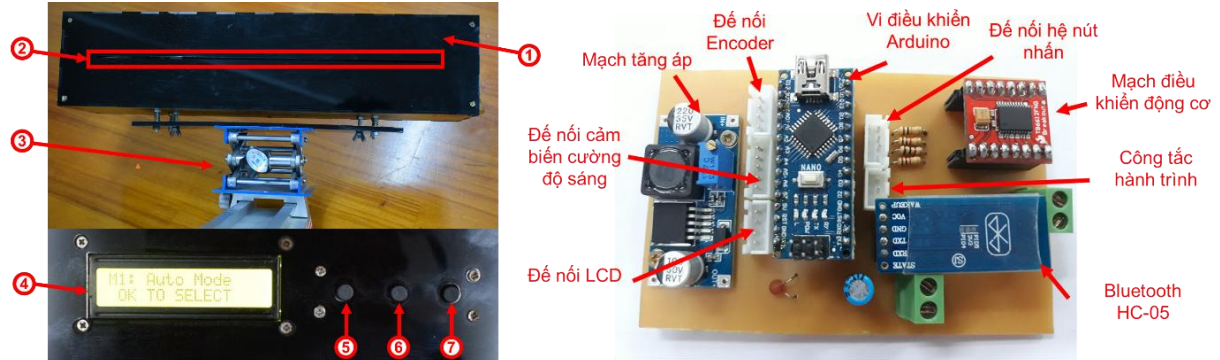
Hình 8. Sơ đồ thiết kế bộ thí nghiệm

Sơ đồ của bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ theo vị trí được mô tả như hình 8. Bộ thí nghiệm được thiết kế bao gồm để trượt có thể di chuyển trên hệ ray. Encoder quang học và cảm biến cường độ sáng BH1750FVI sẽ được tích hợp trên để trượt. Vi điều khiển Arduino đóng vai trò quan trọng trong bộ thí nghiệm. Ngoài nhiệm vụ là trung tâm xử lý điều khiển các tác vụ, vi điều khiển xuất tín hiệu, điều khiển động cơ 12 VDC để để trượt di chuyển trên ray. Các tín hiệu về vị trí của Encoder; tín hiệu về cảm biến ánh sáng BH1750FVI được chuyển về vi điều khiển. Sau đó, các dữ liệu về cường độ sáng theo vị trí sẽ được mã hóa và gửi về máy tính cá nhân dựa trên công nghệ truyền nhận không dây Bluetooth. Các dữ liệu sẽ được hiển thị và xử lý trên máy tính thông qua giao diện máy tính cá nhân. Ngoài ra, vi điều khiển xuất tín hiệu để hiển thị các chế độ làm việc của bộ thí nghiệm thông qua màn hình LCD và các nút nhấn.

## CHƯƠNG 2: KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 2.1. Bộ thí nghiệm hoàn chỉnh

Sau quá trình nghiên cứu, thực nghiệm, bộ thí nghiệm hoàn chỉnh để đo sự phân bố cường độ vân giao thoa nhiễu xạ được mô tả như hình 9.



**Hình 9.** Hình ảnh bộ thí nghiệm hoàn chỉnh và hệ mạch điện của bộ thí nghiệm

Cấu tạo của bộ thí nghiệm hoàn chỉnh bao gồm

(1): Hộp đen bên trong có chứa hệ thống ray trượt và đế trượt có mắt cảm biến cường độ ánh sáng BH1750FVI.

(2): Rãnh ngang có bề rộng 2 mm.

(3): Bộ nâng và các chốt dùng để điều khiển độ cao và độ nghiêng của hệ đo.

(4): Màn hình LCD.

(5): Nút nhấn LEFT.

(6): Nút nhấn OK.

(7): Nút nhấn RIGHT.

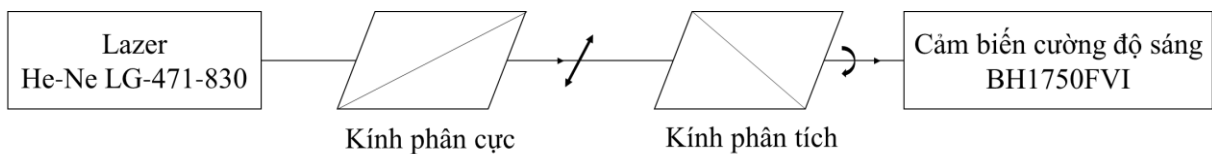
Mạch điện của bộ thí nghiệm được thiết kế nhỏ gọn trên hệ mạch in, mục đích giữ cho các linh kiện điện tử được cố định, hệ mạch in sẽ hoạt động ổn định. Bộ thí nghiệm được đóng hộp để bảo vệ mạch điện điều khiển bộ thí nghiệm và hệ cảm biến phía trong. Bên trong hộp bảo vệ, phần cơ khí có chứa ray trượt và đế trượt đã tích hợp cảm biến ánh sáng và encoder. Động cơ 12V DC quay dây curoa để kéo cảm biến trượt trên thanh ray. Ngoài ra, mặt trước của hệ đo được thiết kế một khe nằm ngang có bề rộng 2mm và kéo dài trên toàn bộ phạm vi dịch chuyển 27cm của cơ hệ. Cảm biến ánh sáng BH1750FVI có mắt cảm biến có thể di chuyển dọc theo khe hẹp. Người sử dụng bộ thí nghiệm có thể điều khiển sử dụng bộ thí nghiệm thông qua hai chế độ làm việc: chế độ tự động và chế độ thủ công. Ở chế độ tự động, người dùng điều khiển động cơ điều khiển đế trượt nhờ giao diện tương tác trên máy tính cá nhân thông qua công nghệ truyền nhận không dây Bluetooth. Dữ liệu vị trí và cường độ sáng đo được

trên hệ sẽ truyền về máy tính cá nhân và vẽ đồ thị trên máy tính cá nhân. Ở chế độ thủ công, người dùng sẽ điều chỉnh trước bước di chuyển và chiều dịch chuyển của đế trượt. Sau đó, động cơ sẽ kéo cho đế trượt di chuyển để thu nhận dữ liệu cảm biến và cường độ sáng. Cuối cùng, người dùng sẽ quan sát dữ liệu cường độ sáng và vị trí trên màn hình LCD.

## 2.2. Thí nghiệm kiểm tra tính ổn định của bộ thí nghiệm

### 2.2.1. Thí nghiệm khảo sát sự tuyến tính của cảm biến đo cường độ sáng

Để cho việc khảo sát hệ vân giao thoa được thuận lợi, cảm biến cường độ sáng đã được thu nhỏ diện tích vùng nhận cường độ sáng của photodiode. Do vậy, quang thông đi qua tiết diện của photodiode đã bị thay đổi so với thông số ban đầu của nhà sản xuất. Một thí nghiệm đơn giản được xây dựng để khảo sát giá trị thu được trên cảm biến BH1750FVI theo cường độ sáng chiếu tới. Sơ đồ thí nghiệm được mô tả như trong hình 10.



**Hình 10.** Sơ đồ thí nghiệm khảo sát sự tuyến tính của cảm biến đo cường độ sáng

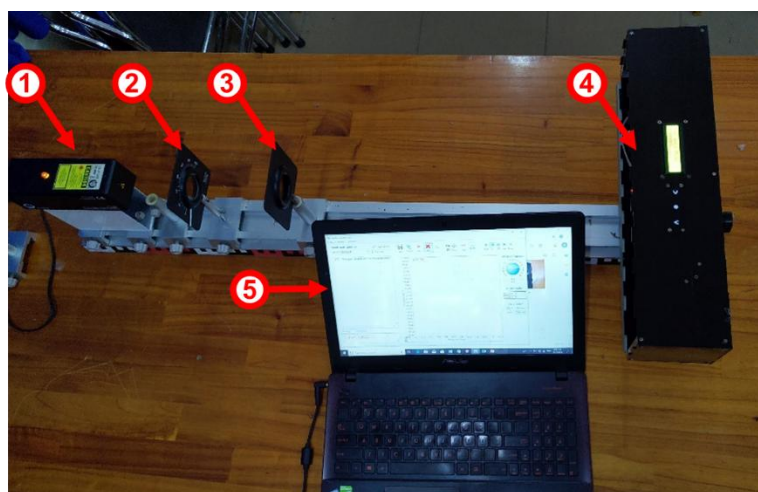
Cường độ của ánh sáng được phát ra từ nguồn laser He-Ne LG-471-830 của hãng Leybold chiếu tới cảm biến cường độ sáng BH1750FVI. Giữa nguồn laser và cảm biến cường độ sáng là một kính phân cực. Ánh sáng từ nguồn laser He-Ne khi đi qua kính phân cực sẽ được phân cực theo một phương xác định. Trên phương truyền ánh sáng, giữa kính phân cực và cảm biến cường độ sáng BH1750FVI là kính phân tích. Cường độ sáng của ánh sáng sau khi đi ra khỏi kính phân tích sẽ tuân theo biểu thức của định luật Malus:

$$I = I_0 \cos^2(\theta) \quad (3)$$

với  $\theta$  là góc hợp bởi phương phân cực của ánh sáng trước khi vào kính phân tích và mặt phẳng phân cực của kính phân tích;  $I_0$  là cường độ sáng của ánh sáng sau khi đi qua kính phân cực;  $I$  là cường độ sáng của ánh sáng sau khi đi ra khỏi kính phân tích. Khi thay đổi góc  $\theta$  thông qua việc xoay kính phân tích quanh trục quang học của hệ, cường độ sáng chiếu tới cảm biến BH1750FVI sẽ thay đổi. Nếu mạch BH1750FVI hoạt động tốt thì giá trị thu được trên cảm biến ánh sáng sẽ tỉ lệ tuyến tính với  $\cos^2(\theta)$  theo định luật Malus.

### Lắp đặt thí nghiệm

Thí nghiệm sẽ được lắp đặt lần lượt các thiết bị trên giá quang học theo thứ tự từ trái qua phải bố trí như hình 11.



**Hình 11.** Hệ thí nghiệm: Đèn laser He-Ne (1); Kính phân cực (2); Kính phân tích (3); Bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ (4); Giao diện tương tác trên máy tính (5)

### Điều chỉnh

Bật công tắc nguồn điện 12VAC của đèn Laser He-Ne. Sau khoảng 5 phút đèn sẽ sáng ổn định.

Sử dụng các vít vặn trên các giá đỡ dụng cụ để điều chỉnh độ cao của đèn, khe sáng, thấu kính, các kính lọc sao cho chúng ở cùng độ cao, mặt các dụng cụ vuông góc với giá đỡ.

Đặt kính phân cực vào giá đỡ, chỉnh kính phân cực sao cho có tia sáng ló ra khỏi kính phân cực, mặt kính vuông góc với giá đỡ. Tia sáng này đã được phân cực theo một phương ưu đãi.

Đặt kính phân tích vào giá đỡ sao cho có tia sáng truyền qua kính phân tích, mặt kính vuông góc với giá đỡ.

Bật công tắc hệ thống đo cường độ vân giao thoa, chuyển qua Mode 1. Kết nối với giao diện tương tác trên máy tính. Điều chỉnh tia sáng đi ra khỏi kính phân tích chiếu vào mắt cảm biến cường độ sáng BH1750FVI. Quá trình này phải làm cẩn thận, tránh sai sót.

### Đo đạc số liệu

Sau khi đèn ổn định, tiến hành xoay kính phân tích để số chỉ cảm biến cường độ sáng thu nhận được là nhỏ nhất. Vị trí mà cường độ nhỏ nhất sẽ tương ứng với góc hợp

bởi phương phân cực của ánh sáng tới và mặt phẳng phân cực của kính phân tích là  $\theta = 90^0$  và  $\theta = 270^0$  vì  $\cos^2(\theta) = 0$ .

Lần lượt xoay kính phân tích từ vị trí cường độ nhỏ nhất, mỗi lần xoay  $5^0$ , ghi nhận giá trị cảm biến cường độ sáng thu được trên BH1750FVI ứng với mỗi giá trị góc quay.

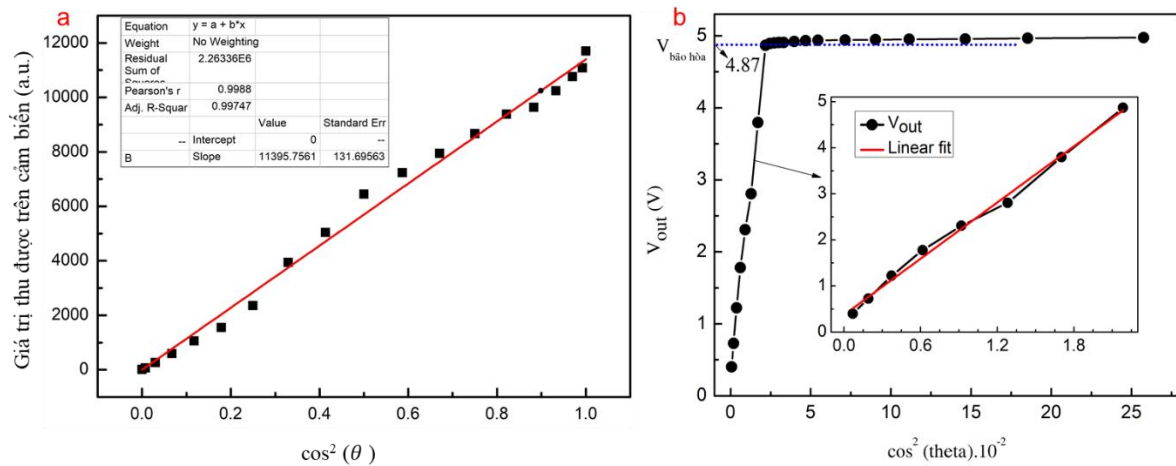
**Bảng 1.** Số liệu giá trị thu được trên cảm biến ứng với góc  $\theta$

Góc $\theta(^0)$	Giá trị (a.u.)	Góc $\theta(^0)$	Giá trị (a.u.)	Góc $\theta(^0)$	Giá trị (a.u.)	Góc $\theta(^0)$	Giá trị (a.u.)
90	12	185	12312	280	86	15	11460
95	66	190	11520	285	260	20	10492
100	266	195	10920	290	560	25	10752
105	592	200	10486	295	640	30	9140
110	1060	205	9010	300	1360	35	8366
115	1552	210	8410	305	1946	40	6858
120	2360	215	8360	310	2506	45	5660
125	3938	220	7386	315	3718	50	5412
130	5046	225	6490	320	4500	55	4686
135	6446	230	6372	325	6412	60	2920
140	7232	235	5246	330	7012	65	2492
145	7938	240	4266	335	8432	70	966
150	8666	245	3126	340	9966	75	952
155	9386	250	2666	345	10260	80	426
160	9630	255	1872	350	10000	85	118
165	10240	260	918	355	12300	90	12
170	10760	265	392	360	12424		
175	11082	270	118	5	11886		
180	11706	275	6	10	11606		

**Xử lý số liệu và nhận xét**



Dựa trên số liệu trên bảng 1, tiến hành vẽ được đồ thị giá trị cường độ sáng theo  $\cos^2(\theta)$  với  $\theta = 90^\circ$  đến  $\theta = 180^\circ$  ứng với giá trị  $\cos^2(\theta) = 0$  đến  $\cos^2(\theta) = 1$ . Khớp các điểm thực nghiệm với đường thẳng tuyến tính đi qua gốc tọa độ có dạng  $y = ax$ . Với  $y$  tương ứng là giá trị cường độ sáng thu được trên cảm biến,  $x$  là giá trị của  $\cos^2(\theta)$ . Ta có đồ thị 12a như hình vẽ:



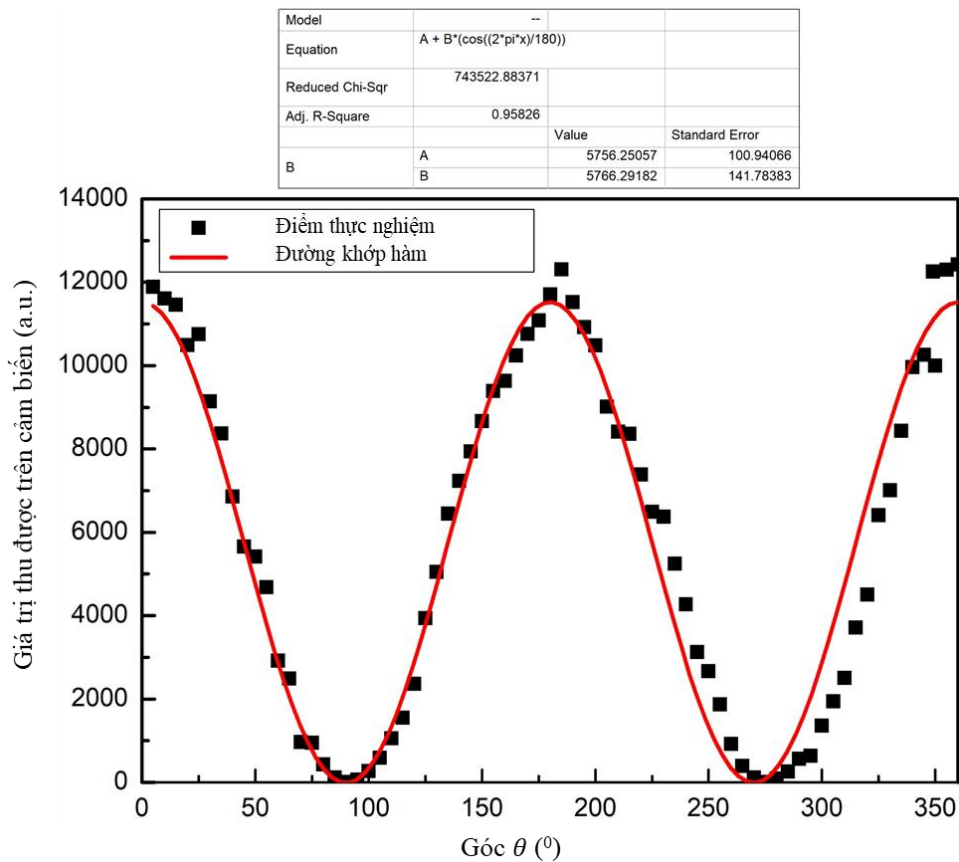
**Hình 12.** Đồ thị biểu diễn giá trị thu được trên cảm biến BH1750FVI theo  $\cos^2(\theta)$  (a); Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện áp ngõ ra vào cường độ sáng chiếu tới phototransistor khi thay đổi góc hợp bởi phương phân cực của ánh sáng và của kính phân cực ở bộ thí nghiệm của Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm TPHCM nghiên cứu (b)[4]

Dựa trên đồ thị trên hình 12a, ta có thể thấy giá trị thu được trên cảm biến cường độ sáng nhỏ nhất khi  $\theta = 90^\circ$  ứng với  $\cos^2(\theta) = 0$ ; giá trị trên cảm biến cường độ sáng lớn nhất khi  $\theta = 180^\circ$  ứng với  $\cos^2(\theta) = 1$ . Sự phân bố của các điểm thực nghiệm này phù hợp với lý thuyết của định luật Malus. Bên cạnh đó, hệ số tương quan R-Squared của các điểm thực nghiệm với đường thẳng tuyến tính là 0,99747. Điều này chứng tỏ các điểm thực nghiệm tương quan tuyến tính với đường thẳng có dạng  $y = ax$  đến 99,7%. Trong bộ thí nghiệm cùng loại do Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm TPHCM nghiên cứu, bộ thí nghiệm này sử dụng một phototransistor để thu nhận cường độ sáng. Nếu phototransistor hoạt động tốt thì điện áp ngõ ra ở phototransistor tỉ lệ tuyến tính với cường độ sáng chiếu tới theo  $\cos^2(\theta)$ . Đồ thị 12b là đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của điện áp ngõ ra vào cường độ sáng chiếu tới phototransistor khi thay đổi góc hợp bởi phương phân cực của ánh sáng và kính phân cực ở bộ thí nghiệm của Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm TPHCM. So sánh giữa đồ thị 12a và 12b, việc



sử dụng phototransistor để thu nhận cường độ sáng chiếu tới tuyến tính trong vùng  $\cos^2(\theta) = 0$  tới  $\cos^2(\theta) = 0,05$ , còn từ giá trị  $\cos^2(\theta) = 0,05$  đến  $\cos^2(\theta) = 1$  thì giá trị điện áp thu được trên ngõ ra của phototransistor không khảo sát được vì đạt đến điện thế bão hòa. Việc sử dụng cảm biến cường độ sáng BH1750FVI khảo sát được cường độ sáng ứng với  $\cos^2(\theta) = 0$  thay đổi đến  $\cos^2(\theta) = 1$  và cho thấy được giá trị đo đặc thực nghiệm phù hợp với lý thuyết.

Bên cạnh đó, khi sử dụng các số liệu thu nhận, ta xác định được các điểm thực nghiệm biểu diễn giá trị cường độ sáng của cảm biến BH1750FVI theo góc quay  $\theta$ . Nếu cảm biến cường độ sáng hoạt động hiệu quả, thì đồ thị biểu diễn giá trị thu được trên cảm biến theo góc  $\theta$  sẽ phân bố theo dạng  $\cos^2(\theta)$ . Tiến hành khớp hàm các điểm thực nghiệm này theo hàm số có dạng  $y = a + b \cos(\frac{2\pi x}{180})$  (4). Với  $y$  tương ứng là giá trị cường độ sáng của cảm biến,  $x$  là giá trị góc quay  $\theta$  tính theo đơn vị độ. Ta có đồ thị như hình 13:



**Hình 13.** Đồ thị biểu diễn giá trị thu được trên cảm biến BH1750FVI ứng với góc  $\theta$

Hệ số tương quan của việc khớp hàm so với dữ liệu thực nghiệm R-Squared là 0,95826. Điều này chứng tỏ các điểm thực nghiệm của giá trị thu được trên cảm biến

phân bố theo dạng hàm  $\cos^2(\theta)$  với tỉ lệ phù hợp tới 95,8%. Quan sát đồ thị, ta có thể thấy giá trị cảm biến cường độ sáng có giá trị cực tiểu ở  $\theta = 90^\circ$  và  $\theta = 270^\circ$ ; giá trị cảm biến cường độ sáng đạt cực đại ở  $\theta = 0^\circ$  và  $\theta = 360^\circ$ . Vì vậy, có thể kết luận rằng số liệu đo từ thí nghiệm phù hợp với lý thuyết của định luật Malus. Do đó, cảm biến cường độ sáng BH1750FVI sau khi thu nhỏ vùng diện tích chiếu sáng hoạt động tốt và tuyến tính, có thể sử dụng cảm biến này để khảo sát các thí nghiệm tiếp theo.

### 2.2.2. Thí nghiệm đo bước sóng ánh sáng bằng hiện tượng giao thoa khe Young

Thí nghiệm này được thiết kế để kiểm tra độ ổn định của bộ thí nghiệm sau khi được chế tạo hoàn chỉnh. Trong thí nghiệm này, người dùng sẽ sử dụng đèn laser He-Ne có bước sóng 632,8 nm. Ánh sáng phát ra bởi laser được công bố bởi nhà sản xuất là ánh sáng có phương phân cực thẳng và phương phân cực không thay đổi. Khe Young được dùng có khoảng cách hai khe là  $i$ . Khoảng cách từ hai khe tới mắt thu cảm biến ánh sáng là  $D$ . Bước sóng  $\lambda$  tính toán từ số liệu trong thực tế được tính theo công thức (1). Bước sóng  $\lambda$  được tính toán trong thực tế sẽ được so sánh với bước sóng ánh sáng mà nhà sản xuất ghi trên laser He – Ne. Nhờ vậy, ta rút ra được kết luận về độ ổn định, tính chính xác của bộ thí nghiệm.

#### Lắp đặt thí nghiệm

Thí nghiệm đo bước sóng ánh sáng bằng hiện tượng giao thoa khe Young được bố trí như hình 14.



**Hình 14.** Hệ thí nghiệm giao thoa khe Young: Đèn laser He-Ne (1); Giá đỡ có gắn bộ vị chỉnh khe Young (2); Bộ thí nghiệm khảo sát cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ (3); Giao diện tương tác trên máy tính (4)

#### Điều chỉnh

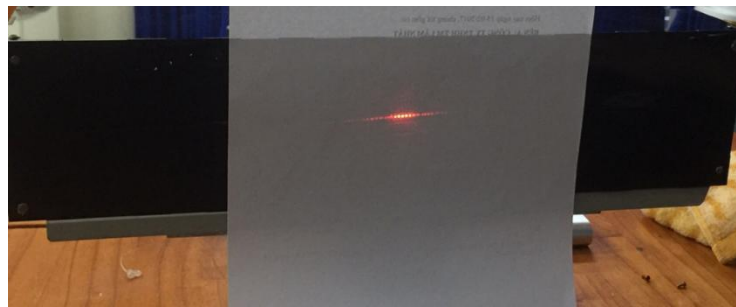
Bật công tắc nguồn điện 12V AC của đèn Lazer He-Ne. Sau khoảng 5 phút đèn sẽ sáng ổn định.

Sử dụng các vít vặn trên các gá đỡ dụng cụ để điều chỉnh độ cao của đèn, khe sáng, bộ vi chỉnh khe Young sao cho chúng ở cùng độ cao, mặt các dụng cụ vuông góc với chùm tia laser.

Đặt hệ khe Young của Công ty nhà sách thiết bị trường học trên bộ vi chỉnh khe Young.

Điều chỉnh hệ thước banme để hệ khe Young di chuyển sao cho có ánh sáng đi qua hai khe young.

Sử dụng một tờ giấy trắng để hứng hệ vân giao thoa như hình 15. Điều chỉnh hệ thước banme để hệ vân giao thoa thu được một cách rõ nét nhất. Sau đó, tiến hành điều chỉnh độ cao của bộ thí nghiệm khảo sát cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ sao cho phương của khe hẹp 2mm của bộ thí nghiệm có thể hứng được hoàn toàn hệ vân giao thoa.



**Hình 15.** Hình ảnh hệ vân giao thoa được hứng trên tờ giấy trắng

Bật công tắc hệ thống đo cường độ vân giao thoa, chuyển qua Mode 1. Kết nối với giao diện tương tác trên máy tính. Điều chỉnh tia sáng đi ra khỏi kính phân tích chiếu vào mắt cảm biến cường độ sáng BH1750FVI. Quá trình này phải làm cẩn thận, tránh sai sót.

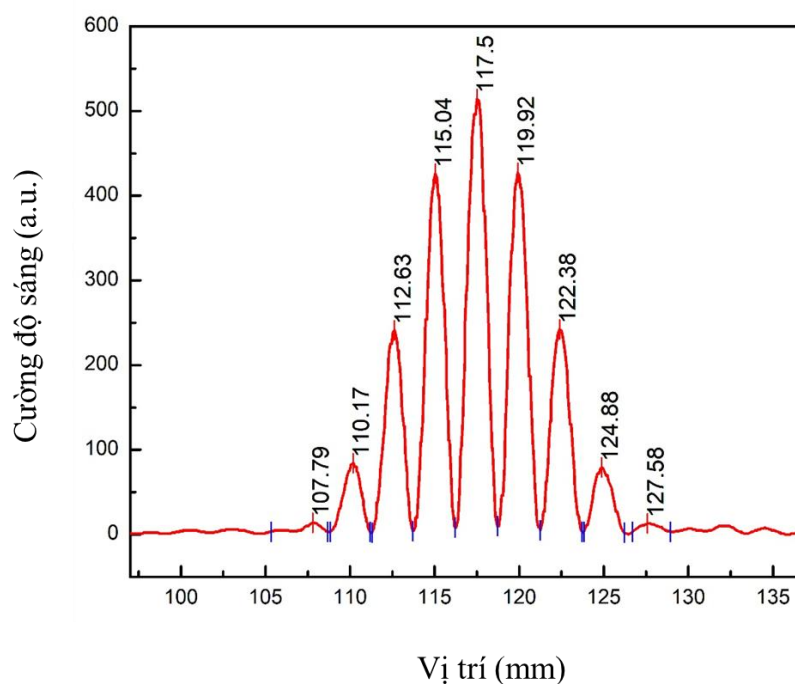
### **Đo đặc số liệu**

Quá trình khảo sát này được sử dụng ở chế độ tự động. Việc điều khiển hệ để trượt dịch chuyển cảm biến ánh sáng thông qua giao diện tương tác trên máy tính cá nhân. Trong thí nghiệm này, tốc độ trung bình của để trượt được thiết lập là 0,68 mm/s. Nhờ thiết lập tốc độ này, để trượt có thể dịch chuyển chậm trên trường giao thoa, từ đó việc đo đặc số liệu được chính xác hơn. Sử dụng khe Young được dùng có khoảng cách hai khe là  $a = 0,18\text{mm}$ . Hình 16 là ảnh chụp hệ vân giao thoa trong thực tế.



**Hình 16.** Ảnh chụp hệ vân giao thoa trong thực tế

Tiến hành dịch chuyển cảm biến BH1750FVI theo một chiều, ta thu được đồ thị biểu diễn sự phân bố cường độ vân giao thoa nhiều xạ như hình 17.



**Hình 17.** Đồ thị biểu diễn cường độ sáng theo vị trí của thí nghiệm giao thoa

Dựa vào đồ thị này, ta có thể nhận thấy các vân sáng phân bố tương đối đều nhau, cường độ vân sáng trung tâm là lớn nhất (vị trí  $111,50mm$ ) và cường độ giảm dần ở các vị trí vân sáng đối xứng ở hai bên trung tâm. Xen kẽ các vân sáng cực đại giao thoa là những vị trí mà cường độ vân sáng gần như triệt tiêu. Dựa vào đồ thị, ta xác định được vị trí các cực đại giao thoa trên trường giao thoa, khoảng cách giữa các vị trí cực đại là khoảng vân giao thoa.

**Bảng 2.** Số liệu các khoảng vân giao thoa cực đại trong lần khảo sát thứ nhất

STT	Vị trí $x(mm)$	Khoảng vân $i = x_{i+1} - x_i (mm)$	$\Delta i(mm)$
1	107,79	2,38	0,09
2	110,17	2,46	0,01

3	112,63	2,41	0,06
4	115,04	2,46	0,01
5	117,50	2,42	0,05
6	119,92	2,46	0,01
7	122,38	2,50	0,02
8	124,88	2,70	0,23
9	127,58		
	Trung bình	2,47	0,06

Thông qua việc di chuyển của đế trượt trên trường giao thoa, chúng ta có thể tìm ra được khoảng vân trung bình trong một lần đo.

### **Xử lý số liệu và nhận xét**

Tiến hành khảo sát nhiều lần, ta thu được từng đồ thị biểu diễn cường độ vân sáng theo vị trí vân sáng. Xử lý số liệu trên từng đồ thị, ta có bảng sau:

**Bảng 3.** Khảo sát hiện tượng giao thoa khe Young

Lần thí nghiệm	$D(m)$	$\Delta D(m)$	$i(mm)$	$\Delta i(mm)$
1	0,691	0,001	2,47	0,01
2	0,690	0,000	2,46	0,00
3	0,687	0,003	2,46	0,00
4	0,691	0,001	2,45	0,01
5	0,690	0,000	2,47	0,01
6	0,688	0,002	2,45	0,01
7	0,690	0,000	2,46	0,00

8	0,691	0,001	2,46	0,00
9	0,690	0,000	2,47	0,01
10	0,691	0,001	2,47	0,01
Trung bình	0,690	0,001	2,46	0,01

Dựa vào bảng số liệu, bước sóng  $\bar{\lambda}$  của laser He-Ne dùng trong thí nghiệm này tính theo công thức  $\bar{\lambda} = \frac{\bar{ai}}{D}$  (4) và bước sóng ánh sáng thu được là:  $\bar{\lambda} = 641,7nm$ . Sai

số tương đối của kết quả đo được tính theo công thức (2)  $\varepsilon = \frac{\overline{\Delta\lambda}}{\bar{\lambda}} = \frac{\overline{\Delta i}}{\bar{i}} + \frac{\overline{\Delta D}}{\bar{D}} + \frac{\overline{\Delta a}}{\bar{a}}$  và

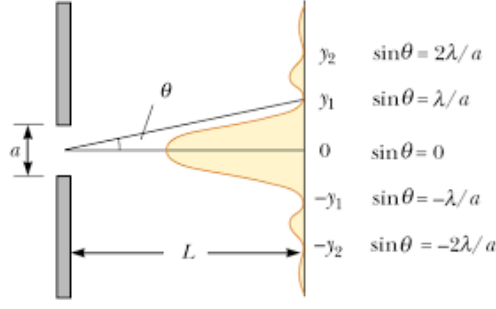
sai số tuyệt đối trung bình của bước sóng là  $\overline{\Delta\lambda} = 50,9nm$ . Kết quả của bước sóng laser He-Ne thu được là:

$$\lambda = (641,7 \pm 50,9)nm$$

Sai số tương đối của kết quả đo này là 7,9% và độ sai biệt của kết quả đo này so với giá trị bước sóng ánh sáng được nhà sản xuất ghi trên laser He-Ne LG-471-830 của hãng Leybold là 1,4%. Điều này chứng tỏ, bộ thí nghiệm hoạt động ổn định, hiệu quả. Số liệu tính toán dựa trên lý thuyết khớp với giá trị thực tế. Ngoài ra, dựa vào đồ thị cường độ sáng theo vị trí như ở đồ thị hình 16, người sử dụng còn có thể quan sát được các vị trí vân cực tiểu giao thoa trên trường. Khoảng vân  $i$  có thể được tính dựa vào khoảng cách giữa các vân cực tiểu giao thoa, từ đó tính được bước sóng ánh sáng và nghiệm lại công thức giao thoa khe Young.

### 2.2.3. Khảo sát hiện tượng nhiễu xạ ánh sáng qua hệ một khe

Thí nghiệm này được xây dựng để khảo sát sự phân bố cường độ của ánh sáng nhiễu xạ gây bởi một khe hẹp. Khi một chùm sáng song song đơn sắc có bước sóng  $\lambda$  chiếu vuông góc vào một khe hẹp có độ rộng là  $a$  thì trên màn ảnh ta thu được hình ảnh nhiễu xạ với một cực đại giữa nhiễu xạ và các cực đại nhiễu xạ bậc 1,2,...



**Hình 18.** Hiện tượng nhiễu xạ qua một khe hẹp

Vị trí của các vân cực tiểu nhiễu xạ được cho bởi công thức:

$$\sin \theta = \frac{k\lambda}{a} \text{ với } k = \pm 1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (5)$$

Vị trí của vân cực đại nhiễu xạ được tính theo công thức:

$$\sin \theta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2a} \text{ tương ứng } k = +1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (6)$$

Cường độ các vân nhiễu xạ qua một khe hẹp được tính bởi công thức sau:

$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\sin \phi}{\phi} \right)^2 \text{ tương ứng } \phi = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (7)$$

Trong đó:

$a$  là bề rộng khe hẹp.

$\theta$  là góc nhiễu xạ.

$\lambda$  là bước sóng ánh sáng chiếu.

$I_0$  là cường độ nhiễu xạ của cực đại trung tâm.

Cường độ cực đại giữa nhiễu xạ tương ứng với  $\phi = 0$ ;  $\frac{\sin \phi}{\phi} \rightarrow 1$ . Do đó  $I = I_0$ .

Khi thay biểu thức (6) vào biểu thức (7), ta có cường độ của các cực đại nhiễu xạ qua một khe hẹp được tính bởi công thức như sau:

$$I(\theta) = I_0 \left( \frac{\sin((k + \frac{1}{2})\pi)}{(k + \frac{1}{2})\pi} \right)^2 \text{ tương ứng } k = +1; \pm 2; \pm 3; \dots \quad (8)$$

Cực đại nhiễu xạ bậc 1 ứng với  $k = 1; -2$ . Cường độ tương đối sẽ là  $\frac{I_1}{I_0} = 4,5\%$ .

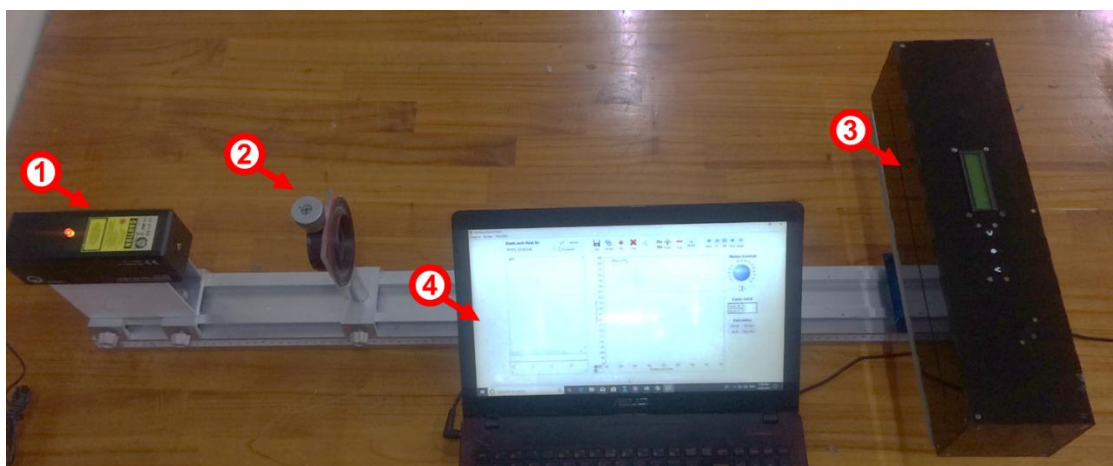
Cực đại nhiễu xạ bậc 2 ứng với  $k = 2; -3$ . Cường độ tương đối sẽ là  $\frac{I_2}{I_0} = 1,6\%$ .



Cực đại nhiễu xạ bậc 3 ứng với  $k = 3; -4$ . Cường độ tương đối sẽ là  $\frac{I_3}{I_0} = 0,83\%$ .

### Lắp đặt thí nghiệm

Thí nghiệm này có thao tác và cách lắp đặt gần giống như thí nghiệm đo bước sóng trong giao thoa khe Young, khác biệt là hệ khe Young được thay bằng khe hẹp có bề rộng thay đổi được. Hệ thí nghiệm được biểu diễn như trong hình 19.



**Hình 19.** Hệ thí nghiệm giao thoa khe Young: Đèn laser He-Ne (1); Giá đỡ có gắn bộ vi chỉnh khe Young (2); Bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố các vân giao thoa, nhiễu xạ (3); Giao diện tương tác trên máy tính (4)

### Điều chỉnh

Bật công tắc nguồn điện 12V AC của đèn Laser He-Ne. Sau khoảng 5 phút đèn sẽ sáng ổn định.

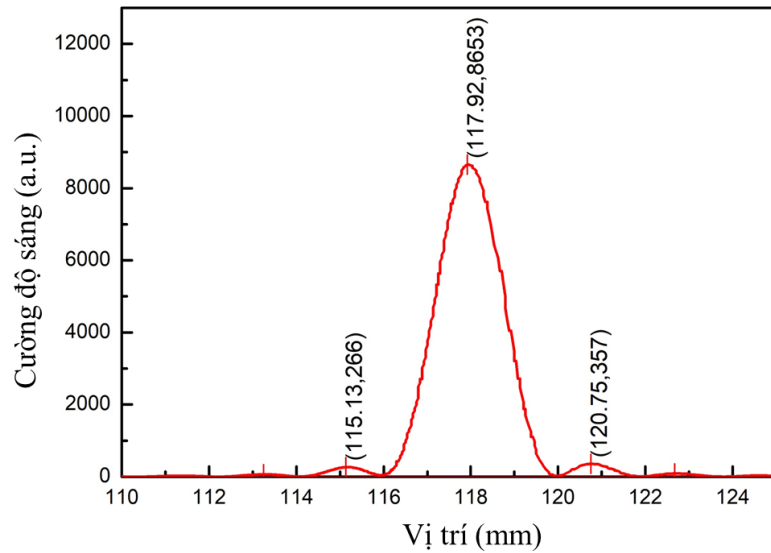
Sử dụng các vít vặn trên các giá đỡ dụng cụ để điều chỉnh độ cao của đèn, sao cho chúng ở cùng độ cao, mặt các dụng cụ vuông góc với chùm tia laser. Đặt hệ một khe và điều chỉnh ánh sáng đi qua hệ một khe.

Tiếp theo, sử dụng một tờ giấy trắng để hứng hệ vân nhiễu xạ. Điều chỉnh hệ một khe để ánh sáng thu được một cách rõ nét nhất. Sau đó, tiến hành điều chỉnh độ cao của bộ thí nghiệm khảo sát cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ sao cho phương của khe hẹp 2mm của bộ thí nghiệm có thể hứng được hoàn toàn hệ vân nhiễu xạ.

### Đo đạc số liệu

Tiến hành dịch chuyển cảm biến BH1750FVI theo một chiều xác định, ta thu được đồ thị biểu diễn sự phân bố cường độ vân giao thoa nhiễu xạ như hình 20.





gmail

**Hình 20.** Đồ thị phân bố cường độ sáng theo vị trí ứng với nhiễu xạ một khe

### Xử lý số liệu và nhận xét

Dựa trên đồ thị, ta có thể thấy được sự phân bố cường độ vân nhiễu xạ bao gồm một cực đại giữa nhiễu xạ và các cực đại nhiễu xạ bậc một giống như trong lý thuyết đã mô tả. Tuy nhiên, trong đồ thị này chỉ quan sát được cực đại nhiễu xạ bậc một, do độ phân giải cảm biến BH1750FVI chưa nhạy nên không thể phát hiện được cường độ của vân nhiễu xạ bậc hai. Dựa vào đồ thị này, ta xác định được cường độ sáng của các cực đại nhiễu xạ bậc một và so sánh với kết quả tính được trên lý thuyết. Ta có bảng như sau:

**Bảng 4.** Khảo sát cường độ sáng trong thí nghiệm nhiễu xạ qua một khe

Cực đại nhiễu xạ	Cường độ ánh sáng	$\frac{I}{I_0}$ thực tế	$\frac{I}{I_0}$ lý thuyết	Độ sai biệt
Chính giữa	8653	100%	100%	
Bậc một bên trái	266	3,11%	4,5%	31%
Bậc một bên phải	357	4,12%	4,5%	8,3%

Dựa vào các kết quả đã thu được, ta có thể thấy hình ảnh trên đồ thị cường độ ánh sáng theo vị trí của thí nghiệm nhiễu xạ qua hệ một khe đúng với mô tả trong lý thuyết. Tuy nhiên, khi so sánh độ sai biệt tỉ lệ cường độ ánh sáng của cực đại nhiễu xạ bậc 1 với cường độ của cực đại giữa nhiễu xạ đo từ thực nghiệm còn sai lệch nhiều so

với lý thuyết. Ứng với cực đại nhiễu xạ bậc 1 bên phải của đồ thị, độ sai biệt tỉ lệ  $\frac{I_1}{I_0}$  của thực tế so với lý thuyết là 8,3%. Ứng với cực đại nhiễu xạ bậc 1 bên trái của đồ thị, độ sai biệt tỉ lệ  $\frac{I_1}{I_0}$  của thực tế so với lý thuyết là 31%. Sai biệt này khá lớn, nên thí nghiệm khảo sát cường độ các vân nhiễu xạ qua hệ một khe chưa được chính xác. Nguyên nhân có thể là do ban đầu, phương của tia sáng chiếu tới hai khe không thực sự vuông góc với hệ một khe. Bên cạnh đó, nguyên nhân chính là việc hiệu chỉnh hệ thí nghiệm chưa tốt khiến cho phương dịch chuyển của cảm biến ánh sáng trong rãnh 2mm chưa trùng với phương nhiễu xạ của hệ vân. Ngoài ra, cảm biến chưa thể phân giải được nhuễn các vị trí có cường độ sáng nhỏ cũng là một phần nguyên nhân gây ra sai số lớn trong thí nghiệm này.

### 2.3. So sánh với các bộ thí nghiệm cùng loại

Bộ thí nghiệm khảo sát sự phân bố các vân giao thoa nhiễu xạ hoạt động ổn định, kết quả thực nghiệm đo đạc từ hệ thống bộ thí nghiệm tương đối phù hợp với các tính toán lý thuyết. So với bộ thí nghiệm Xác định bước sóng ánh sáng của Công ty nhà sách thiết bị trường học, bộ thí nghiệm đã được tích hợp cảm biến cường độ sáng BH1750FVI nên có thể xác định chính xác vị trí các khoảng vân. Ngoài ra, việc sử dụng cảm biến cường độ sáng góp phần làm cho người sử dụng quan sát được đồng thời các vị trí các vân sáng có cường độ cực đại và những vị trí mà cường độ vân sáng cực tiểu. Bên cạnh đó, việc sử dụng encoder quang học với dây encoder của máy in Canon IP2770 giúp cho bước nhảy của độ dịch chuyển mắt thu là  $\frac{1}{24}mm$ . Bước nhảy này nhuễn hơn bước nhảy 0,1mm của hệ thống vẽ cường độ vân giao thoa nhiễu xạ của Tổ Vật lý Đại cương thuộc Khoa Vật lý trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh. Cuối cùng, bộ thí nghiệm sử dụng vi điều khiển tích hợp với động cơ để kéo hệ ray trượt chứa cảm biến nên quá trình khảo sát thí nghiệm được tự động, người sử dụng có thể kiểm soát được tốc độ của việc ghi nhận số liệu. Ưu điểm này tốt hơn việc khảo sát hệ vân sáng một cách thủ công như hệ thống thí nghiệm cùng loại của công ty sản xuất Pasco, vì khi đó việc ghi nhận số liệu cường độ sáng phụ thuộc rất nhiều vào người làm thí nghiệm.

## CHƯƠNG 3: KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

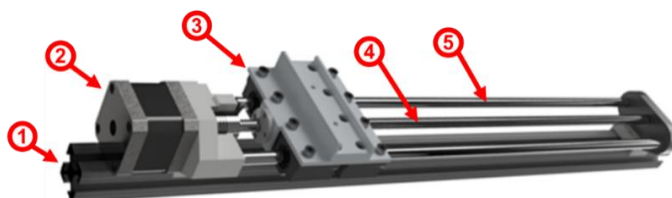
### 3.1. Kết luận

Dựa vào kết quả của các thí nghiệm kiểm chứng, bộ thí nghiệm cho thấy nhiều ưu điểm so với các bộ thí nghiệm cùng loại hiện có trên thị trường. Bằng việc sử dụng cảm biến ánh sáng và vi điều khiển Arduino, bộ thí nghiệm cho phép người sử dụng ghi nhận tự động sự phân bố của hệ vân giao thoa nhiễu xạ. Quá trình khảo sát vị trí và cường độ các vân sáng được liên tục, ổn định và hạn chế những sai số do người dùng gây ra. Hơn nữa, vi điều ghép nối vi điều khiển với Bluetooth HC-05 làm cho việc truyền nhận tín hiệu được nhanh chóng về máy tính cá nhân, góp phần làm quá trình vẽ đồ thị trên giao diện tương tác một cách hiệu quả.

Tuy nhiên, thiết kế của bộ thí nghiệm sử dụng những nguyên vật liệu ít thông dụng trên thị trường như dây Encoder của máy in Canon IP2770 nên việc sửa chữa khi hệ gặp vấn đề hỏng hóc là khá khó khăn. Bên cạnh đó, hệ mạch điều khiển và hệ ray trượt được đóng hộp mica khiến cho bộ thí nghiệm trông thô, cồng kềnh, chưa gọn như những bộ thí nghiệm hiện có trên thị trường. Trong quá trình làm thí nghiệm, việc lắp đặt thí nghiệm phải cẩn thận và đòi hỏi người làm cần có kỹ năng thực nghiệm để chỉnh mắt cảm biến BH1750FVI có thể thu nhận ánh sáng và di chuyển dọc trên rãnh 2mm.

### 3.2. Hướng phát triển

Để cải thiện được những khuyết điểm của bộ thí nghiệm, hệ cơ khí cần phải nhỏ gọn và sử dụng những vật liệu thông dụng, có giá thành rẻ trên thị trường. Phương án thiết kế hệ cơ khí cho bộ thí nghiệm khảo sát cường độ vân giao thoa nhiễu xạ được mô tả như ở hình 21.



**Hình 21.** Giải pháp mới cho hệ cơ khí của bộ thí nghiệm

Trong hệ cơ khí này, cấu trúc của các bộ phận bao gồm: một khung nhôm vuông định hình 3x3 mm, động cơ bước, thanh trục trơn và trục vítme, các gối đỡ, để trượt được thiết kế như hình vẽ. Trên bản thiết kế này, động cơ bước được gắn với khung nhôm nhờ gối đỡ truyền động cho vítme làm cho vítme chuyển động quay quanh trục.

Đế trượt có đai ốc nối với vitme, khi vitme chuyển động thì đế trượt sẽ trượt trên thanh trục tròn định hướng. Lúc đó, cảm biến cường độ sáng sẽ được tích hợp trên đế trượt và giới hạn của trường thu nhận cường độ sáng phụ thuộc vào độ dài các thanh trục tròn định hướng, trục vitme. Thiết kế này nhỏ gọn, quá trình tháo lắp các bộ phận trong thiết kế một cách dễ dàng. Nếu hệ cơ khí này hoạt động ổn định, việc sản xuất đại trà sẽ rất thuận lợi vì đa phần các bộ phận thông dụng trên thị trường. Ngoài ra, việc điều chỉnh cảm biến để hứng được trường giao thoa sẽ dễ dàng hơn cho người sử dụng.

#### CHƯƠNG 4: TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dương Xuân Quý, 2010. *Vấn đề sử dụng thiết bị thí nghiệm vật lý trong trường phổ thông thực trạng và giải pháp*. Tạp chí Thiết bị giáo dục, 61, tr.10-18.
- [2] Công ty Cổ phần Sách và Thiết bị Trường học TPHCM. *Bộ TN Xác định bước sóng ánh sáng*, <https://www.stb.com.vn/vi/thia-t-ba-thpt/vat-li-thpt/bo-tn-xac-dinh-buoc-song-anh-sang.html>. Ngày truy cập 15/04/2019.
- [3] PASCO scientific [US]. *Interference and Diffraction of Light Experiment*, [https://www.pasco.com/prodCatalog/EX/EX-5545\\_interference-and-diffraction-of-light-experim/index.cfm](https://www.pasco.com/prodCatalog/EX/EX-5545_interference-and-diffraction-of-light-experim/index.cfm). Ngày truy cập 15/04/2019.
- [4] Ngô Minh Nhật, Nguyễn Lâm Duy, 12/2018. *Ứng dụng công nghệ Bluetooth và cảm biến ánh sáng để thiết kế hệ thống vẽ cường độ vân giao thoa, nhiễu xạ*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Sư phạm TPHCM, Vol. 15, No. 12 (2018), tr.113-122.
- [5] Mai Hoàng Phương, Ngô Minh Nhật, 2016. *Thiết kế bộ cảm biến kết nối không dây với máy vi tính kiểm chứng định luật II và III Newton*. Tạp chí khoa học Đại học Sư Phạm Hà Nội, 61, tr.68-75, 2016.
- [6] Nguyễn Huỳnh Duy Khang, Nguyễn Tấn Phát, Nguyễn Lâm Duy, 2016. *Ứng dụng vi điều khiển PIC16F877A và các cảm biến điện tử để chế tạo bộ thí nghiệm có tương tác với máy tính nhằm phát huy tính tích cực, sáng tạo trong hoạt động dạy học về các định luật thực nghiệm của chất khí lý tưởng*. Tạp chí khoa học Đại học Sư Phạm Hà Nội, 61, tr.128-137.
- [7] Mai Hoàng Phương, 2012. *Định hướng giáo viên sử dụng máy tính, Internet trong dạy học vật lý trường trung học phổ thông*. Tạp chí khoa học Đại học Sư phạm TP. HCM, 37, tr. 140– 149.
- [8] Hoàng Văn Huệ, Phùng Việt Hải, Nguyễn Thị Thanh Hương, 2012. *Nghiên cứu chế tạo bộ cảm biến và thí nghiệm ghép nối với máy vi tính trong dạy học vật lý ở trường phổ thông*. Đề tài khoa học và công nghệ cấp bộ, Trường Đại học Tây Nguyên, tr.10,17-18.
- [9] Ngô Huỳnh Ngọc Khánh, 22/7/2014. *Arduino Nano – Nhỏ, tiện lợi, mang trên mình tinh hoa của Arduino Uno*, <http://arduino.vn/bai-viet/273-arduino-nano-nho-tien-loi-mang-tren-minh-tinh-hoa-cua-arduino-uno>. Ngày truy cập 15/04/2019.

- [10] COMPONENTS101, 12/3/2018. *Arduino Nano*,  
<https://components101.com/microcontrollers/arduino-nano>. Ngày truy cập 15/04/2019.
- [11] ROHM Semiconductor, 2011. *Ambient Light Sensor IC Series Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC – BH1750FVI*, tr.1-4.
- [12] Tatiana Kelemenová, Mirolav Dovica, Eduard Jakubkovič, Peter Sedlačko, 11/12/2017. *Condition Evaluation of Optical Position Sensor*. Journal of Automation and Control, 2017, 5(2), 37-40.
- [13] Mohannad Rawashdeh, 2013, INSTRUCTABLES. *Arduino and bluetooth hc-05 connecting easily*, <http://www.instructables.com/id/Arduino-AND-Bluetooth-HC-05-Connecting-easily/>. Ngày truy cập 10/04/2019.
- [14] TOSHIBA, 30/6/2007. *Toshiba Bi-CD Integrated Circuit Silicon Monolithic TB6612FNG*, tr.1-5.
- [15] Hshop Điện tử & Robot. *Mạch điều khiển động cơ DC Mini TB6612*.  
<https://hshop.vn/products/mach-dieu-khien-dong-co-dc-tb6612>. Ngày truy cập 15/04/2019.
- [16] Nguyễn Bá Hải, 2016, Hướng dẫn lập trình LabVIEW trình độ cơ bản, nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Tp Hồ Chí Minh.