



การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์



ณัฐฤทัย คงไกรฤกษ์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์



ณัฐฤทัย คงไกรฤกษ์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

Design and fabrication of the simple experiment set to determine Planck's constant



NATRUTHAI KHONGKRAIROEK

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF SCIENCE  
IN PHYSICS EDUCATION  
FACULTY OF SCIENCE  
BURAPHA UNIVERSITY

2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ได้พิจารณางาน  
นิพนธ์ของ ญัฐฤทัย คงไกรฤกษ์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....  
(อาจารย์ ดร.อรรถพล เขยสุภเกตุ)

..... ประธาน  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ศิริพรม)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.อรรถพล เขยสุภเกตุ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสถา รัตนะ)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคง  
สกุล)

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. อุษาวดี ตันติวานุรักษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ่มเอี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

62920397: สาขาวิชา: ฟิสิกส์ศึกษา; วท.ม. (ฟิสิกส์ศึกษา)

คำสำคัญ: ค่าคงที่ของพลังค์, หลอด LED, สมาร์ทโฟน

ณัฐฤทัย คงไกรฤกษ์ : การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์. (Design and fabrication of the simple experiment set to determine Planck's constant) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: อรรถพล เขยศึกเกตต์ ปี พ.ศ. 2567.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยอาศัยหลักการทำงานของหลอด LED และใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนวัดค่าความเข้มแสงของหลอด LED แล้วนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้นมาหาค่าคงที่ของพลังค์ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่า ค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5, 10, 15, 20 และ 25 cm เป็น  $6.948 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.805 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.698 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.806 \times 10^{-34}$  J.s และ  $6.854 \times 10^{-34}$  J.s ตามลำดับ เห็นได้ว่าค่ามีความใกล้เคียงกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง 1.087% ถึง 4.860% จากเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้แสดงว่าสามารถนำชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนได้

62920397: MAJOR: PHYSICS EDUCATION; M.Sc. (PHYSICS EDUCATION)

KEYWORDS: Planck's constant, LED, smartphone

NATRUTHAI KHONGKRAIROEK : DESIGN AND FABRICATION OF  
THE SIMPLE EXPERIMENT SET TO DETERMINE PLANCK'S CONSTANT. ADVISORY  
COMMITTEE: ATTAPOL CHOEYSUPPAKET, 2024.

The research objectives were to design and fabricate the simple experiment set to determine the Planck's constant, utilizing the operational principles of LED and employing a smartphone application to measure the light intensity of the LED. The experimental setup was used to determine the Planck's constant values at various distances between the smartphone and the LED. The results showed that the values of Planck's constant from the experimental setup at distances between the smartphone and LED of 5, 10, 15, 20, and 25 cm are  $6.948 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.805 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.698 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.806 \times 10^{-34}$  J.s, and  $6.854 \times 10^{-34}$  J.s respectively. It was evidence that these values were close to the standard value of Planck's constant, with deviations ranging from 1.087% to 4.860%. The percentage deviations indicated that this simple experiment set can be used for educational purposes in classrooms.

## กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.อรรถพล เขยศุภเกตต์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตรวจสอบแก้ไข และวิพากษ์ วิจารณ์งาน ตลอดจนแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความละเอียด และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัสภา รัตน์นะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร ศิริพรหม คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์นี้ ที่ให้ คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เพื่อให้งานนิพนธ์สำเร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณมารดา ที่ให้กำลังใจ ช่วยเหลือให้คำปรึกษา และสุดท้ายขอขอบคุณ ตนเองที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่าผู้ที่ได้อ่านงานนิพนธ์ฉบับนี้จะได้รับความรู้เพิ่มเติมไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ต่อไปได้ ขอขอบคุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตัญญูทเวทิตาแด่บุพการี บุรพจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จ มาจนตราบทุกวันนี้

ณัฐฤทัย คงไกรฤกษ์

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ฌ    |
| สารบัญภาพ.....  | ญ    |
| บทที่ 1.....  | 1    |
| บทนำ.....   | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                                       | 1    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....  | 2    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....                                    | 2    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....  | 2    |
| บทที่ 2.....  | 3    |
| เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                       | 3    |
| สมมติฐานของพลังค์.....  | 3    |
| ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....   | 4    |
| หลอดไดโอดเปล่งแสง.....  | 6    |
| ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับการเปล่งแสงของหลอด LED..... | 9    |
| การคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอด LED.....                            | 10   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 11   |
| บทที่ 3.....  | 13   |

|   |    |
|---|----|
| วิธีดำเนินการวิจัย .....  | 13 |
| กรอบแนวคิดของการวิจัย.....  | 13 |
| การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ .....                       | 15 |
| การหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED<br>ต่าง ๆ..... | 17 |
| บทที่ 4 .....   | 18 |
| ผลการวิจัย.....   | 18 |
| การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ .....                       | 18 |
| การหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED<br>ต่าง ๆ..... | 19 |
| บทที่ 5 .....   | 30 |
| สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล.....   | 30 |
| สรุปผลการวิจัย .....  | 30 |
| อภิปรายผล .....   | 30 |
| ข้อเสนอแนะ.....   | 31 |
| บรรณานุกรม.....   | 32 |
| ประวัติย่อของผู้วิจัย.....  | 37 |

## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลหลอด LED แต่ละสี.....  | 10   |
| ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลความยาวคลื่นของหลอด LED แต่ละสี.....   | 19   |
| ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่าความเข้มแสง (I) ของหลอด LED แต่ละสี ที่<br>ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ.....   | 20   |
| ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) ของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่าง<br>ระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) ต่างๆ.....   | 26   |
| ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสี ที่<br>ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) ต่างๆ.....                                    | 26   |
| ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลค่าความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) และความถี่ของแสง (f) จากหลอด LED สีต่างๆ.....  | 27   |
| ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด<br>LED ต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน. 29 |      |

## สารบัญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ 1 แผนภาพการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....   | 4    |
| ภาพที่ 2 แผนภาพโครงสร้างโมเลกุลอย่างง่ายของสารกึ่งตัวนำชนิด N และระดับชั้นพลังงานของ<br>อิเล็กตรอนส่วนเกิน .....                                | 6    |
| ภาพที่ 3 แผนภาพโครงสร้างโมเลกุลอย่างง่ายของสารกึ่งตัวนำชนิด P และระดับชั้นพลังงานของโฮล7  |      |
| ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านบริเวณรอยต่อ P-N ก่อให้เกิด P-N .....  | 7    |
| ภาพที่ 5 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านกำแพงศักย์บริเวณรอยต่อ P-N เมื่ออิเล็กตรอนได้รับ<br>พลังงานศักย์ไฟฟ้า.....                               | 8    |
| ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดการวิจัย .....   | 14   |
| ภาพที่ 7 ไดอะแกรมการทำงานของชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ .....  | 15   |
| ภาพที่ 8 แผนภาพแสดงวงจรของชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ .....  | 16   |
| ภาพที่ 9 ชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ .....   | 18   |
| ภาพที่ 10 ลักษณะของหลอด LED แต่ละสี .....   | 19   |
| ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ<br>ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5 cm.....   | 21   |
| ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ<br>ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 10 cm ..... | 22   |
| ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ<br>ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 15 cm ..... | 23   |
| ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ<br>ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 20 cm ..... | 24   |
| ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ<br>ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 25 cm ..... | 25   |

ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับกับความถี่ของแสง  
ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์โฟนกับหลอด LED (R) ต่างๆ..... 28



# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรายวิชาฟิสิกส์ได้มีการบรรจุเนื้อหาฟิสิกส์ยุคใหม่ (Modern physics) ไว้ในหลักสูตรรายวิชาของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวกับสมมติฐานของพลังค์ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค เป็นต้น โดยเนื้อหาเหล่านี้ทางโรงเรียนของผู้วิจัยจัดการเรียนการสอนแบบบรรยายเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากชุดอุปกรณ์ในการทดลองมีความจำเพาะ การจัดชุดการทดลองมีความยุ่งยาก และชุดอุปกรณ์การทดลองมีราคาแพง ส่งผลให้นักเรียนขาดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) เป็นหนึ่งในค่าคงที่สากลที่สำคัญในฟิสิกส์ยุคใหม่ ถูกนำไปใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติมากมาย โดยค่าคงที่ของพลังค์อยู่ในแนวคิดของพลังค์เกี่ยวกับควอนตัมของพลังงานที่ใช้อธิบายการแผ่รังสีของวัตถุดำ ซึ่งแนวคิดควอนตัมของพลังงานของพลังค์ ถูกนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกโดยอัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ รวมทั้งเป็นรากฐานที่สำคัญของแบบจำลองอะตอมของนีลส์ บอร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2563) ดังนั้น การจัดกิจกรรมการทดลองเพื่อหาค่าคงที่พลังค์ จึงเป็นกิจกรรมที่น่าสนใจและเหมาะสมอย่างยิ่ง เพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองควบคู่ไปกับการเรียนเนื้อหาในบทเรียน นำไปสู่การสรุปความรู้ในเนื้อหาและเข้าใจความสัมพันธ์ต่อเนื่องของบทเรียน

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ที่นิยมนำมาทดลองเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยกระบวนการในการทดลองมีการใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น การใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจนผ่านฟิลเตอร์สีต่างๆ (Fitri, Ziveria and Muhara, 2022) การใช้ไดโอดเปล่งแสงสีต่างๆ (Pili and Violanda, 2019) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีเกี่ยวกับอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มีความเจริญก้าวหน้า มีราคาถูกลง การใช้ไดโอดเปล่งแสงหรือหลอด LED เพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีโครงสร้างง่าย เป็นวัสดุที่หาได้ทั่วไป ราคาไม่แพง และคุ้มค่าสำหรับการทดลองของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าคงที่ของพลังค์โดยใช้หลอด LED พบว่า ในการทดลองต้องบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสงของหลอด LED แต่เนื่องจากความเข้มแสงของหลอด LED ที่เริ่มเปล่งแสงมีค่าน้อยมาก การสังเกตด้วยตาเปล่าจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน (Human error) ได้ง่าย ดังนั้น การใช้ตัวตรวจวัดแสงบางชนิดร่วมกับการวัดแรงดันไฟฟ้า เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาในการหาค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสงของหลอด LED ได้ (Zollman and Bearden,

2020) ซึ่งในปัจจุบันสมาร์ทโฟนมีเซ็นเซอร์และแอปพลิเคชันต่างๆ ที่สามารถตรวจวัดปริมาณต่างๆ ได้ง่ายขึ้น สมาร์ทโฟนจึงเหมาะสมที่จะเป็นตัวช่วยในวัดความเข้มแสงของหลอด LED เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

จากรายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจในการออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยอาศัยหลักการทำงานของหลอด LED และใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนวัดค่าความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ เพื่อให้ชุดการทดลองอย่างง่ายนี้สามารถใช้เป็นสื่อในการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนได้ เป็นประโยชน์กับนักเรียนให้มีความเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้มากยิ่งขึ้น รวมถึงสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อชุดการทดลองได้อีกด้วย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์
2. เพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่มีระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้ชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ ที่ใช้งานง่าย สะดวก ราคาถูก และนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนได้
2. ได้รูปแบบของการออกแบบและสร้างชุดการทดลองหาค่าคงที่ของพลังค์ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาหัวข้ออื่นๆ ต่อไป

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยอาศัยหลักการทำงานของหลอด LED
2. หาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่มีระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ โดยวัดแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์และวัดความเข้มแสงของหลอด LED แต่ละสีจากแอปพลิเคชันผ่านเซ็นเซอร์บนสมาร์ทโฟน และเปรียบเทียบค่าคงที่ของพลังค์ที่ระยะห่างต่างๆ กับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นค่ามาตรฐาน

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องสมมติฐานของพลังค์ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก หลอดไดโอดเปล่งแสง ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก กับการเปล่งแสงของหลอด LED และการคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอด LED เพื่อใช้เป็น ข้อมูลและแนวทางสำหรับงานวิจัย เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ ของพลังค์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### สมมติฐานของพลังค์

มักซ์ พลังค์ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้ศึกษาพลังงานและสเปกตรัมการแผ่รังสีของวัตถุดำและ สามารถสร้างฟังก์ชันที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองในทุกย่านความถี่ โดยการตั้งสมมติฐานว่า ในระบบใดๆ ที่มีการแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจะมีค่าพลังงานไม่ต่อเนื่องกัน กล่าวคือ มีพลังงานเฉพาะเป็นค่าๆ เรียกว่า ควอนตัมของพลังงานตามสมการ (วีระศักดิ์ ชอมขุฑทต, 2559)

$$E = nhf \quad (2-1)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนเต็มบวกหรือเลขควอนตัม ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ )

$f$  คือ ความถี่ของการแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิก

$h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant) มีค่าเท่ากับ  $6.626 \times 10^{-34}$  J.s

และโมเลกุลหนึ่งจะอยู่ในสถานะที่มีสถานะควอนตัมเปลี่ยนแปลงได้ โดยการปล่อยหรือ ดูดกลืน ตรงกันข้ามตราบใดที่โมเลกุลนั้นคงอยู่ในสถานะควอนตัมสถานะหนึ่ง ก็จะไม่ปล่อยหรือ ดูดกลืนพลังงาน

สมมติโมเลกุลหนึ่งซึ่งมีสถานะควอนตัมเปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ เลขควอนตัมเท่ากับ 1 หน่วย เช่น จาก  $n$  ไปเป็น  $n+1$  หรือไปเป็น  $n-1$  จะมีพลังงานเปลี่ยนไป ( $\Delta E$ ) เท่ากับ  $hf$  (สมพงษ์ ใจดี, 2551) กล่าวคือ

$$\Delta E = hf \quad (2-2)$$

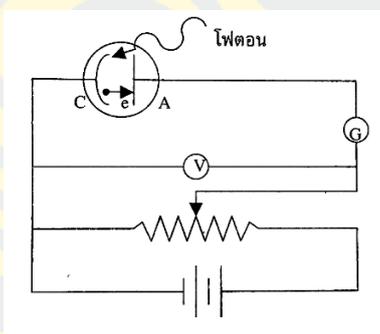
## ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ถึงแม้สมมติฐานของพลังค์จะเกี่ยวกับการทำให้เป็นควอนตัม แต่ก็ยังเป็นผลจากการแกว่งกวัดโมเลกุลของผนังโพรงอันหนึ่ง โดยไม่มีข้อบ่งชี้ถึงทศนะใหม่ของแสง ในปี พ.ศ.2448 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ ได้เสนอทฤษฎีอนุภาคแสง (Particle theory of light) ที่ถือได้ว่าเป็นการขยายข้อสมมติของการทำให้เป็นควอนตัมไปสู่สมบัติของแสงดังนี้

แสงเอกรงค์ (Monochromatic light) ซึ่งมีความถี่  $f$  แผ่ในสุญญากาศด้วยอัตราเร็ว  $c$  ในลักษณะของลำอนุภาคดังที่เรียกว่า ควอนตัม (Quantum) หรือโฟตอน (Photon) โดยที่โฟตอนแต่ละตัว ซึ่งมีพลังงาน  $E$  ที่ไม่ต่อเนื่อง สัมพันธ์กับค่าความถี่  $f$  และค่าคงตัวพลังค์  $h$  ดังสมการ

$$E = hf \quad (2-3)$$

แนวคิดตามข้อสมมติของไอน์สไตน์เกี่ยวกับทฤษฎีอนุภาคของแสงดังกล่าวนี้ สามารถอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่มีโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ปลดปล่อยออกมาจากผิวโลหะบางชนิด เมื่อมีแสง ฦ ความถี่สูงๆ ตกกระทบ โดยที่ทฤษฎีคลื่นของแสง (Wave theory of light) ซึ่งถือได้ว่าเป็นทฤษฎีแผนเดิม (Classical theory) ทฤษฎีหนึ่ง ไม่สามารถให้ความกระจ่างได้



ภาพที่ 1 แผนภาพการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

ที่มา : สมพงษ์ ใจดี (2551)

จากภาพที่ 1 สมมติแสงหรือโฟตอน ฦ ความถี่  $f$  ตกกระทบผิวโลหะแผ่นหนึ่ง (C) แล้วมีโฟโตอิเล็กตรอนที่แต่ละตัวมีประจุ  $e$  หลุดออกมาจากโลหะแผ่นนี้ โดยสามารถอ่านค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรนี้ได้จากแกลแวนอมิเตอร์ (Galvanometer “G”) อย่างไรก็ตามแผ่นโลหะอีกแผ่นหนึ่ง (A) มีศักย์ไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่าของแผ่น C ได้ ถ้าสูงกว่าก็ยอมดึงดูดโฟโตอิเล็กตรอนเข้าสู่ แต่ถ้าต่ำกว่าก็จะพยายามต้านต่อการเคลื่อนที่ของโฟโตอิเล็กตรอนที่จะเข้ามาหา

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจากแนวคิดโฟตอนของไอน์สไตน์ตามกรณีต่างๆ เพื่อบรรลุสู่สมการโฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์ (Einstein’s photoelectric equation) อธิบายได้ดังนี้

1. อิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ซึ่งยึดติดอยู่กับผิวโลหะชนิดหนึ่งจะหลุดออกจากผิวโลหะชนิดนั้นได้ จะต้องได้รับพลังงานอย่างน้อยสุดเท่ากับค่าฟังก์ชันงานหรือพันธภาพงาน (Work function “ $\phi$ ”) ที่เป็นสมบัติเฉพาะของโลหะชนิดหนึ่ง โดยที่โฟโตอิเล็กตรอนตัวนี้ได้รับพลังงานมาจากโฟตอนตัวหนึ่งของแสงที่มีค่า  $hf$  จึงแสดงว่าต้องมีค่าต่ำสุดของความถี่ของแสงที่ทำให้เกิดผลดังกล่าว โดยเรียกความถี่ค่านี้ว่า ความถี่ขีดเริ่ม (threshold frequency “ $f_0$ ”) ด้วยเหตุนี้ขณะที่โฟโตอิเล็กตรอนตัวหนึ่งซึ่งมีพลังงาน  $hf_0$  เท่ากับ  $\phi$  ย่อมอยู่ในสภาวะที่พอดีหลุดจากผิวโลหะแผ่นหนึ่ง หรือมีพลังงานจลน์ ( $E_k$ ) เท่ากับศูนย์ ส่วนโฟตอนพวกที่มีความถี่ ( $f$ ) มากกว่าความถี่ขีดเริ่ม ( $f_0$ ) ย่อมทำให้โฟโตอิเล็กตรอนมีพลังงานมากเกินกว่าค่า  $\phi$  จึงมีพลังงานจลน์ ( $E_k$ ) ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปจากผิวโลหะแผ่นนั้นได้ ผลคือมีโฟโตอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่ง ซึ่งแต่ละตัวมีพลังงานจลน์สูงสุด ( $E_{k(max)}$ ) ที่ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสง โดยวัดค่า  $E_{k(max)}$  ของโฟโตอิเล็กตรอนตัวหนึ่งได้ในขณะที่โลหะแผ่น A มีศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าของโลหะแผ่น C ที่โฟโตอิเล็กตรอนตัวนั้นหลุดออกมา จากหลักที่ว่า  $E_{k(max)}$  ดังกล่าวเป็นพลังงานที่พอดีทำให้โฟโตอิเล็กตรอนตัวดังกล่าวเคลื่อนที่ไปถึงโลหะแผ่น A ได้ โดยขณะนั้นย่อมมีการแปลงไปเป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้า (Electric potential energy) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของประจุโฟโตอิเล็กตรอนตัวนี้ ( $e$ ) กับความต่างศักย์ไฟฟ้าขณะนั้นตามที่เรียกว่า ความต่างศักย์หยุดยั้ง (Stopping potential difference “ $V_s$ ”) กล่าวคือ

$$E_{k(max)} = eV_s \quad (2-4)$$

โดยปรากฏว่าค่า  $E_{k(max)}$  ของแสงเอกรงค์ไม่ขึ้นกับความเข้มของแสง ส่วนจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนเป็นสัดส่วนกับความเข้มของแสง

อนึ่ง เมื่อ  $hf_0 = \phi$  จึงกำหนดความยาวคลื่นขีดเริ่ม (Threshold wavelength “ $\lambda_0$ ”) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ยังมีการปลดปล่อยโฟโตอิเล็กตรอนจากโลหะที่มีแสงตกกระทบได้ดังนี้

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{hc}{\phi} \quad (2-5)$$

2. ถ้าโฟตอนตัวหนึ่ง ซึ่งมีพลังงาน  $hf$  ตกกระทบกับผิวโลหะชนิดหนึ่ง (C) ที่มีค่าฟังก์ชันงาน ( $\phi$ ) แล้วโฟโตอิเล็กตรอนตัวที่หลุดออกมาเคลื่อนที่ไปถึงโลหะอีกแผ่นหนึ่ง (A) ได้พอดี กล่าวคือมีพลังงานจลน์สูงสุด  $E_{k(max)}$  จะมีความสัมพันธ์ตามที่เรียกว่า สมการโฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์ดังนี้

$$E_{k(max)} = hf - \phi \quad (2-6)$$

3. เนื่องจากโฟโตอิเล็กตรอนตัวที่หลุดจากผิวโลหะตามปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่กล่าวถึงนี้เกิดขึ้นโดยพลันในช่วงเวลาที่น้อยกว่า  $10^{-3}$  ไมโครวินาที จึงสมเหตุผลที่กล่าวสนับสนุนว่ากระบวนการดูดกลืนพลังงานของอิเล็กตรอนตัวหนึ่งจากโฟตอนตัวหนึ่งของแสง แล้วมีโฟโตอิเล็กตรอนตัวหนึ่งหลุดออกมาจากผิวโลหะแผ่นที่แสงตกกระทบ ย่อมเกิดขึ้นได้โดยฉับพลัน (สมพงษ์ ใจดี, 2551)

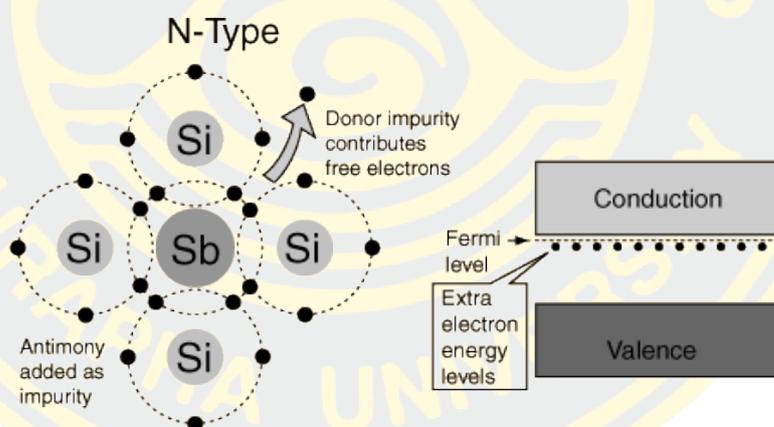
## หลอดไดโอดเปล่งแสง

หลอดไดโอดเปล่งแสงหรือแอลอีดี (LED : Light-Emitted Diode) เป็นไดโอดที่สามารถเปล่งแสงสว่างออกมาด้วยคลื่นความถี่เดียวและมีเฟสต่อเนื่องได้เมื่อได้รับการไบแอสตรง ซึ่งต่างไปจากแสงสว่างธรรมดาที่คนเรามองเห็น (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2548)

### การทำงานของหลอด LED

หลอด LED สีต่างๆ เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) สองชนิดที่ถูกเจือ (Dope) ต่างชนิดกันมาต่อกัน ทำให้เกิดรอยต่อ P-N (P-N junction)

โดยสารกึ่งตัวนำที่ถูกเจือให้มีอิเล็กตรอนมากเกินไป เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N (N-type semiconductor) อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้พร้อมที่จะนำกระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับการป้อนพลังงานไฟฟ้าจากภายนอก สารเจือที่นำมา Dope นี้จึงเรียกว่า สารเจือผู้ให้ (Donor) ซึ่งเมื่อเขียนแผนภาพระดับชั้นพลังงานแล้วจะมีอิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานที่พร้อมจะเข้าสู่ Conduction band ดังภาพที่ 2

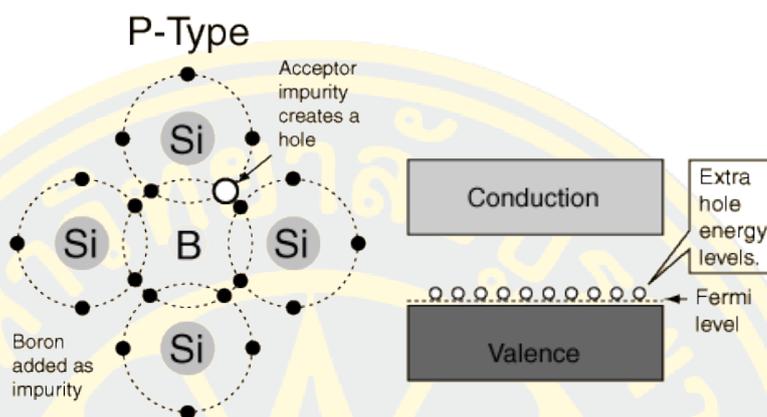


ภาพที่ 2 แผนภาพโครงสร้างโมเลกุลอย่างง่ายของสารกึ่งตัวนำชนิด N และระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนส่วนเกิน

ที่มา : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/dope.html#c3>

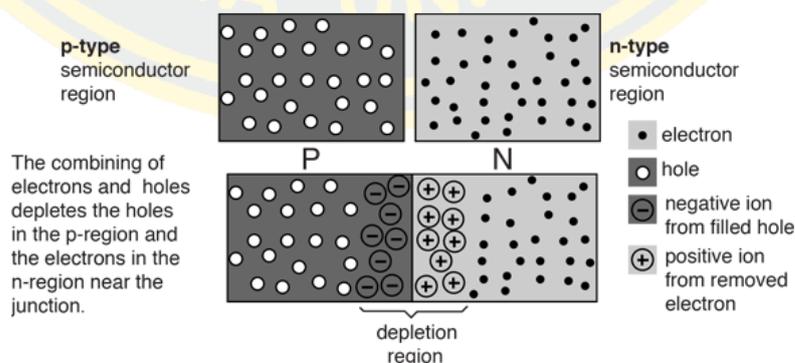
ส่วนสารกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่งเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P (P-type semiconductor) ถูกเจือให้ขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างที่เรียกว่าโฮล (Hole) โฮลนี้จะมีสภาพของประจุไฟฟ้าที่เป็นบวก ซึ่งตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน เมื่อมีอิเล็กตรอนจากอะตอมข้างเคียงเข้ามาแทนที่ในช่องว่างดังกล่าวก็จะ

เปรียบเสมือนกับโฮลเคลื่อนที่ไปได้ เรียกสารเจือประเภทนี้ว่า สารเจือผู้รับ (Acceptor) ซึ่งเมื่อเขียนแผนภาพระดับชั้นพลังงานแล้วจะมีโฮลอยู่ในระดับพลังงานที่พร้อมจะรับอิเล็กตรอนดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพโครงสร้างโมเลกุลอย่างง่ายของสารกึ่งตัวนำชนิด P และระดับชั้นพลังงานของโฮล  
ที่มา : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/dope.html#c3>

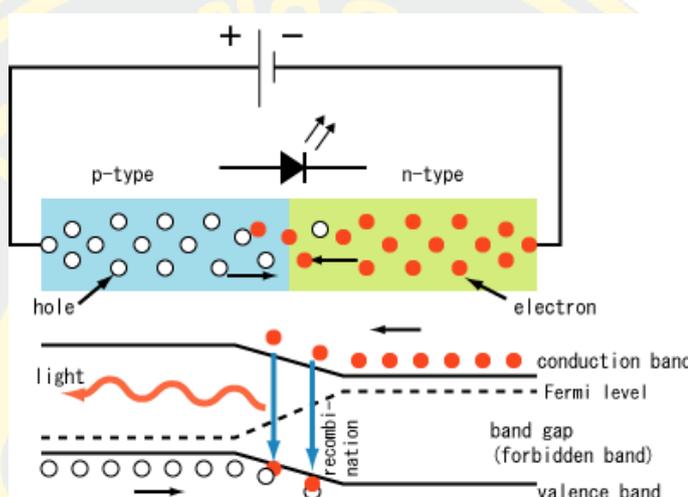
เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N มาต่อประกบเกิด P-N junction อิเล็กตรอนจากด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N จะแพร่ผ่านรอยต่อเข้าจับกับโฮล จากด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P ทำให้ด้านสารกึ่งตัวนำชนิด N เกิดไอออนบวก ส่วนด้านสารกึ่งตัวนำชนิด P เกิดไอออนลบ การสะสมของไอออนบวกและลบที่รอยต่อจะมากขึ้นเรื่อย ๆ ก่อให้เกิดกำแพงศักย์ (Potential barrier) จนในที่สุดเข้าสู่สภาวะสมดุล (Equilibrium state) โดยบริเวณตรงกลางของรอยต่อจะมีสนามไฟฟ้าขั้วบัพยังสูงอันเกิดจากการสะสมไอออนที่รอยต่อนี้ ก่อให้เกิดบริเวณที่เรียกว่า Depletion region ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านบริเวณรอยต่อ P-N ก่อให้เกิด P-N

ที่มา : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Solids/dope.html#c3>

เมื่อทำการไบแอสตรงเข้าสู่ P-N junction ดังภาพที่ 5 อิเล็กตรอนส่วนเกินจะถูกบังคับให้เคลื่อนเข้าหารอยต่อ และหากได้รับการไบแอสตรงที่มีความต่างศักย์สูงกว่าความต่างศักย์ขีดเริ่มหรือแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่ม (Threshold voltage,  $V_0$ ) พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่ได้รับจะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำชนิด N ผ่านกำแพงศักย์ (Potential barrier) ตรงบริเวณรอยต่อ P-N ไปยังบริเวณสารกึ่งตัวนำชนิด P เพื่อจับกับโฮล กระแสไฟฟ้าจะเริ่มไหล



ภาพที่ 5 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านกำแพงศักย์บริเวณรอยต่อ P-N เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานศักย์ไฟฟ้า

ที่มา : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PnJunction-LED-E.PNG>

เมื่อหลอด LED ได้รับการไบแอสตรงด้วยแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มจนเริ่มมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านบริเวณรอยต่อ P-N อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณสารกึ่งตัวนำชนิด P (โฮลเคลื่อนที่ไปยังบริเวณสารกึ่งตัวนำชนิด N) โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่เข้าหาโฮลอย่างรวดเร็วและปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นคือ พลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ (Valence band ;  $V_B$ ) ไปยังแถบการนำ (Conduction band,  $C_B$ ) และเมื่ออิเล็กตรอนกลับจากแถบการนำสู่แถบวาเลนซ์จะเกิดการปลดปล่อยโฟตอนออกมา (ครูสาขาวิชาฟิสิกส์ โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย, 2565)

## ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกกับการเปล่งแสงของหลอด LED

ในการวิเคราะห์การเปล่งแสงของหลอด LED สามารถใช้รูปแบบคล้ายกับแบบจำลองของไฮสไตน์ที่ใช้สำหรับปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ ถึงแม้ว่าทั้งสองจะเป็นปรากฏการณ์ที่ต่างกัน แต่หลักการปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของไฮสไตน์นั้น มีพื้นฐานมาจากการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งเป็นกฎสากล (Calvo-Mola et al, 2019) นั่นคือเมื่อหลอด LED ได้รับการไบแอสตรงด้วยแรงดันไฟฟ้า ขีดเริ่มจนเริ่มมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านบริเวณรอยต่อ P-N พลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับจะถูกใช้ในการข้าม Energy band-gap เพื่อให้กระแสเริ่มไหล โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาจะสัมพันธ์กับระยะห่างของแถบ  $V_B$  และ  $C_B$  ของอะตอมของสารที่นำมา Dope ในสารกึ่งตัวนำนั้นๆ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ ( $E_e$ ) มีค่าเท่ากับพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกมาหรือพลังงานของการปลดปล่อยโฟตอน ( $E_p$ ) แสดงได้ดังนี้ (ครูสาขาวิชาฟิสิกส์ โรงเรียนนครนาคศึกษาลัย, 2565)

สมการพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ คือ

$$E_e = eV_0 \quad (2-7)$$

เมื่อ  $e$  คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน เท่ากับ  $1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$

$V_0$  คือ แรงดันไฟฟ้าขีดเริ่ม ที่ทำให้ LED เริ่มให้แสงสว่างหรือกระแสไฟฟ้าเริ่มไหล และสมการพลังงานของการปลดปล่อยโฟตอน ตามทฤษฎีอนุภาคของแสงของไฮสไตน์ คือ

$$E_p = hf \quad (2-8)$$

เมื่อ  $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์

$f$  คือ ความถี่ของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED

ซึ่งสามารถหาความถี่ของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED ได้จาก

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2-9)$$

เมื่อ  $c$  คือ ความเร็วของแสงในสุญญากาศ เท่ากับ  $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED

จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน จะได้ว่า

$$E_e = E_p \quad (2-10)$$

$$E_e = hf \quad (2-11)$$

ดังนั้น หากรู้ค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) ของหลอด LED สีต่างๆ แล้วคำนวณหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ ( $E_e$ ) ของหลอด LED สีต่างๆ โดยใช้สมการ (2-7) จากนั้นนำไปเขียนกราฟระหว่างค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ ( $E_e$ ) กับความถี่ของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED ( $f$ ) จะสามารถหาค่าคงที่ของพลังค์จากความชันของกราฟได้

## การคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอด LED

ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode) นิยมเรียกสั้นๆ ว่า แอลอีดี (LED) คืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะเปล่งแสงออกมาเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน แต่กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านนั้น ก็จะต้องมีค่าไม่มากจนเกินไป ไม่เช่นนั้นหลอด LED ก็จะขาดและเสียหายได้

ตัวต้านทาน (Resistor) จึงเข้ามามีบทบาทเกี่ยวข้องกับวงจรที่มี LED รวมทั้งวงจรอื่นทั่วไป ตัวต้านทานมีหน้าที่จำกัดปริมาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต่อเข้ากับตัวมันในวงจร การคำนวณค่าความต้านทานจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเป็นอย่างมาก

หลอด LED ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าค่าต่างๆ โดยทั่วไปมีการทนแรงดันได้ประมาณ 3 VDC เมื่อนำไปใช้งานจึงต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมทุกครั้งเพื่อจำกัดปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าให้กับหลอด LED โดยทั่วไปกระแสไฟฟ้าของหลอด LED มีค่า 20 mA และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม 1.63 - 3.50 V (The Invention, 2564) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลหลอด LED แต่ละสี

ที่มา: <https://www.ai-corporation.net/2021/12/14/resistor-calculation-for-use-with-led/>

| สีของ LED      | ความยาวคลื่น (nm) | แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม (V) |
|----------------|-------------------|------------------------|
| อินฟราเรด      | > 780             | $\Delta V < 1.90$      |
| แดง            | 610 ถึง 760       | 1.63 ถึง 2.30          |
| ส้ม            | 590 ถึง 610       | 2.03 ถึง 2.10          |
| เหลือง         | 570 ถึง 590       | 2.10 ถึง 2.18          |
| เขียว          | 500 ถึง 570       | 1.90 ถึง 4.00          |
| น้ำเงิน        | 450 ถึง 500       | 2.48 ถึง 3.70          |
| ม่วง           | 400 ถึง 450       | 2.76 ถึง 4.00          |
| อัลตราไวโอเล็ต | < 400             | 3.10 ถึง 4.40          |
| ขาว            | ย่านกว้าง         | 3.50                   |

สูตรการคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอด LED (ปรียา อนุพงษ์อจาง, 2560)

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}} \quad (2-12)$$

เมื่อ  $R$  คือ ค่าตัวต้านทานในการจำกัดกระแสไฟฟ้า หน่วย  $\Omega$  (โอห์ม)

$V_{CC}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง หน่วย V (โวลต์)

$V_{LED}$  คือ แรงดันตกคร่อมของหลอด LED หน่วย V (โวลต์)

$I_{LED}$  คือ กระแสไฟฟ้าของหลอด LED

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริญญ์ อนุพงษ์อ่องอาจ (2560) ได้พัฒนาชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2 โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์และทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัยได้ออกแบบและสร้างชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่ใช้งานง่าย มีราคาถูกและสามารถใช้ในการหาค่าคงที่ของพลังค์ได้

อาทิตย์ หมวดคงจันทร์ (2561) ได้ศึกษาการโพลาริเซชันของแสงจากแวนกันแดดโพลาริเซชัน โดยใช้สมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ที่มีแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite ซึ่งในการทดลองได้วางสมาร์ทโฟนห่างจากแหล่งกำเนิดแสงโพลาริเซชันที่ระยะต่างๆ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการโพลาริเซชันกับค่าความเข้มแสงโพลาริเซชันมีความสอดคล้องกับกฎของมาลุส โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ทดลองใช้กับสมาร์ทโฟนมีค่าน้อย

Calvo-Mola et al (2019) ได้ทำการศึกษาและทดลองหาค่าคงที่ของพลังค์โดยใช้ LED ด้วยวิธีการแบบจำลองทางทฤษฎีที่แตกต่างกันสองแบบ ได้แก่ แบบจำลองอย่างง่ายตามสมการโฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยพิจารณาจากกลไกของไดโอด และมีการใช้การวัดอัตโนมัติผ่าน Arduino ซึ่งการทดลองนี้ใช้สเปกตรัม LED ที่แตกต่างกันสี่ดวงและเขียนกราฟแรงดัน-กระแสจากการวัด เปรียบเทียบ และอภิปรายผลลัพธ์จากวิธีการทั้งสองที่นำมาเสนอ

Fitri, Ziveria and Muhara (2022) ได้ทำการทดลองใช้ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและวิธีการวิเคราะห์การถดถอยในการหาค่าคงที่ของพลังค์ ซึ่งการทดลองนี้ใช้ชุดทดลองค่าคงที่ของพลังค์กับหลอดทั้งสแตนฮาลोजен ฟิลเตอร์สีต่างๆ และทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าหยุดยั้ง ค่าที่ได้จากการทดลองเท่ากับ  $6.34 \times 10^{-34}$  J.s ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจริงของค่าคงที่ของพลังค์  $6.62 \times 10^{-34}$  J.s มาก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน 4.23% และความแม่นยำ 95.77%

Pili and Violanda (2019) นำเสนอวิธีการทางเลือกและคุ่มค่าสำหรับการวัดค่าคงที่ของพลังค์โดยใช้ไดโอดเปล่งแสง (LED) ด้วยการวัดความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาจาก LED และเขียนกราฟแรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มของแสง จะสามารถกำหนดแรงดันขีดเริ่มหรือค่าแรงดันที่เปิดไฟ LED ได้ แรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มนี้เกี่ยวข้องกับความถี่ของแสงที่ปล่อยออกมาและค่าคงที่ของพลังค์ วิธีการนี้เชื่อถือได้และสอดคล้องกัน ทำให้เหมาะสำหรับหลักสูตรฟิสิกส์ยุคใหม่เบื้องต้น ผลลัพธ์ที่ได้สำหรับค่าคงที่ของพลังค์มีเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาด 7.9% เมื่อเทียบกับค่าที่ยอมรับ

Zollman and Bearden (2020) ได้ศึกษาการทดลองโดยใช้ไดโอดเปล่งแสง (LED) เพื่อวัดค่าคงที่ของพลังค์ ซึ่งเป็นค่าคงที่พื้นฐานในวิชาฟิสิกส์ การทดลองนี้มีประโยชน์สำหรับนักเรียนในการทำความเข้าใจคุณสมบัติควอนตัมของของแข็งและการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ให้แสงสว่างสมัยใหม่ การเลือก LED สำหรับการทดลองมีความสำคัญ เพราะ LED บางชนิดอาจเปล่งแสงที่มีพลังงานแตกต่างจากช่องว่างพลังงานในของแข็ง ซึ่งนำไปสู่ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันสำหรับค่าคงที่ของพลังค์



### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาซมิก โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

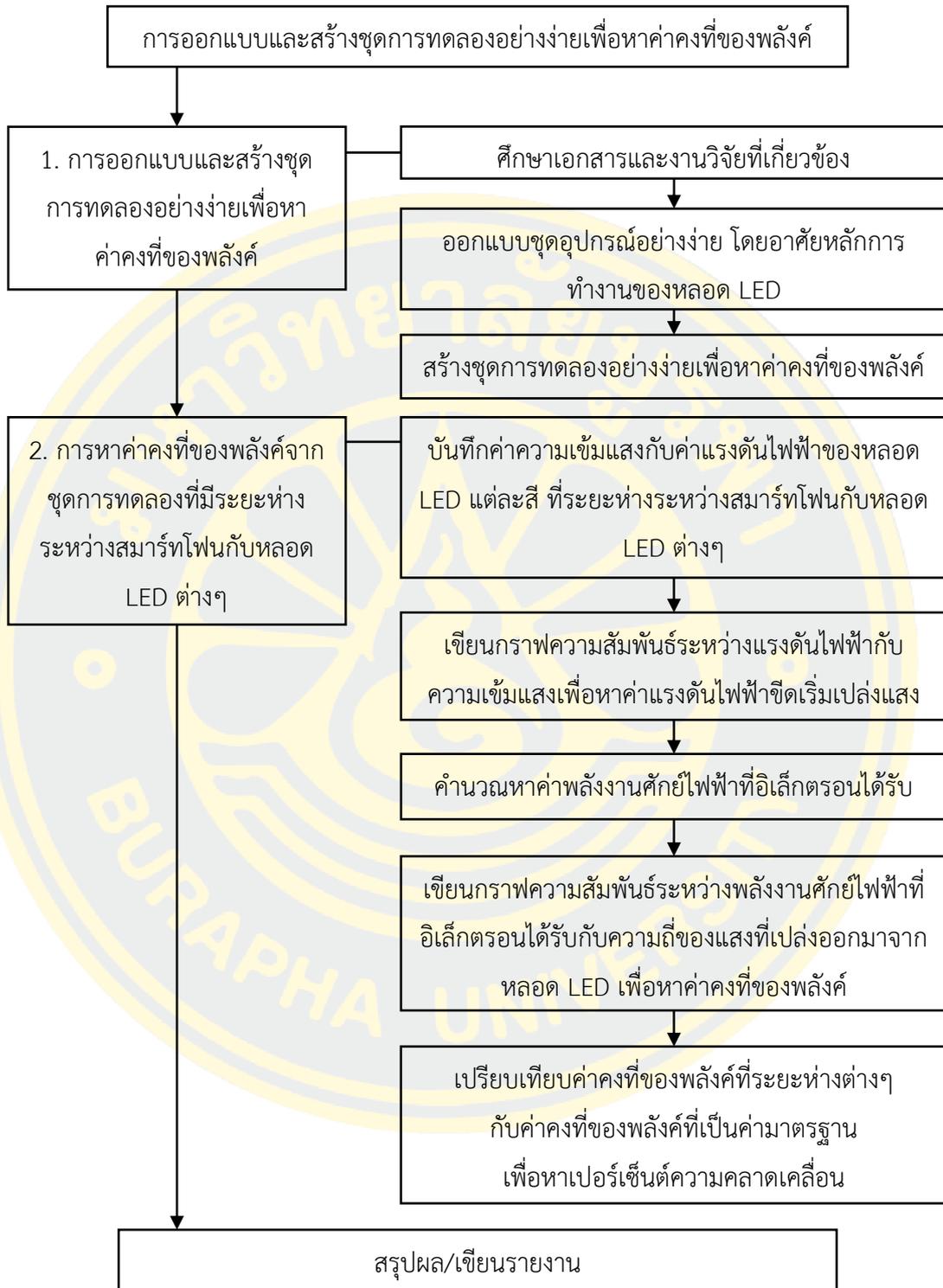
#### กรอบแนวคิดของการวิจัย

ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาซมิก
2. การหาค่าคงที่ของพลาซมิกจากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED

ต่างๆ

โดยมีรายละเอียดของกรอบแนวคิดการวิจัยดังกล่าวตามภาพที่ 6



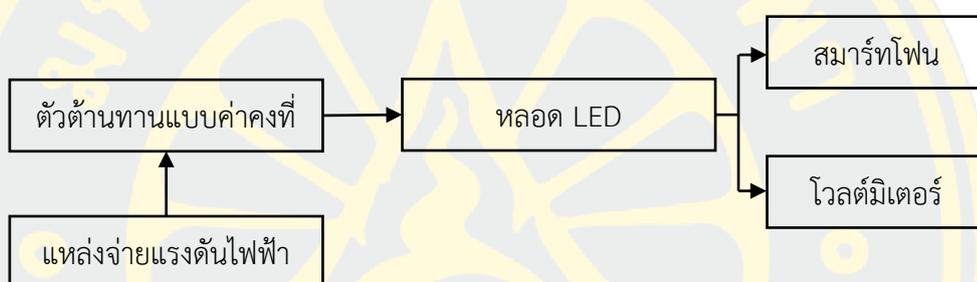
ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดการวิจัย

## การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาซด์

ในการออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาซด์ มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมเอกสาร ทฤษฎี ในเรื่องสมมติฐานของพลาซด์ ปฏิกิริยาการโฟโตอิเล็กทริก หลอดไดโอดเปล่งแสง ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการโฟโตอิเล็กทริกกับการเปล่งแสงของหลอด LED การคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอด LED และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการหาค่าคงที่ของพลาซด์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทางสำหรับงานวิจัย

2. กำหนดขอบเขตและรูปแบบของชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาซด์ พร้อมทั้งออกแบบและสร้างชุดการทดลอง ให้มีหลักการทำงานตามไดอะแกรม ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ไดอะแกรมการทำงานของชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาซด์

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า ทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงหลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดแรงดันคงที่ไม่เกิน 9 โวลต์ แต่เนื่องจากชุดการทดลองนี้ต้องปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้แก่หลอด LED ที่ไม่เท่ากัน จึงต้องมีการต่อตัวต้านทานแบบปรับค่าได้หรือ Potentiometer ที่สามารถเปลี่ยนความต้านทานได้ละเอียด

- ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ ทำหน้าที่จำกัดการไหลของกระแสไฟฟ้าในหลอด LED ซึ่งโดยทั่วไปหลอด LED ทนแรงดันได้ประมาณ 3 V เมื่อนำไปใช้งาน จึงต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมทุกครั้งเพื่อจำกัดปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าให้กับหลอด LED และกระแสไฟฟ้าของหลอด LED โดยทั่วไปมีค่า 20 mA สามารถคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอด LED ได้จากสมการ (2-12)

$$R = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{LED}}$$

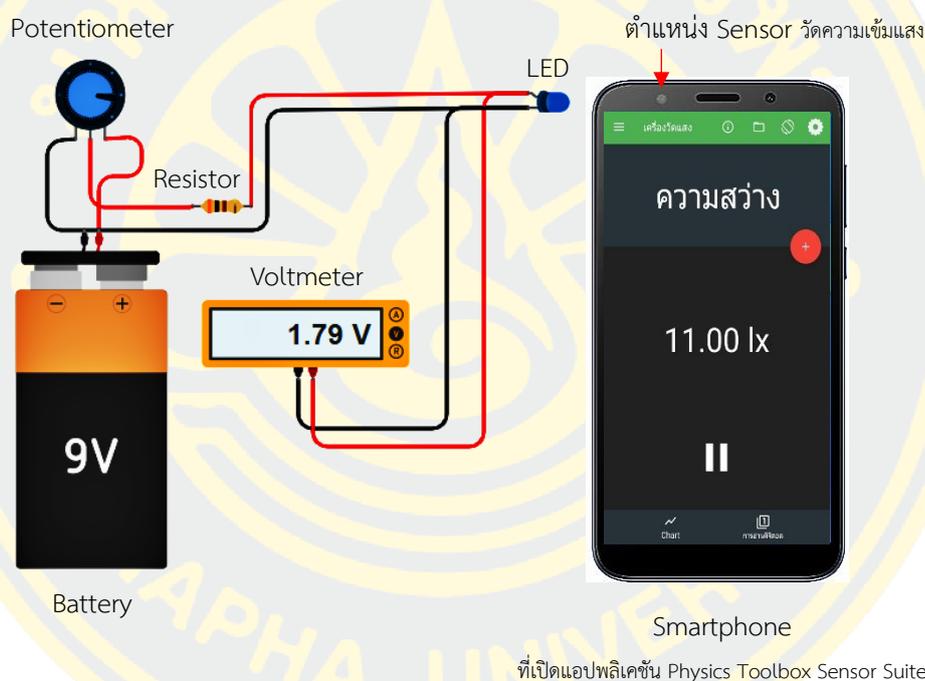
ดังนั้น ค่าตัวต้านทานแบบคงที่ ที่ใช้กับหลอด LED ในชุดการทดลองนี้ เท่ากับ 300  $\Omega$

- หลอด LED ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งในชุดการทดลองนี้จะใช้หลอด LED สีต่างๆ ที่ทราบค่าความยาวคลื่น และเป็นชุดการทดลองที่สามารถเปลี่ยนสีหลอด LED ได้ โดยหลอด LED

แต่ละสีให้แสงที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน และใช้แรงดันไฟฟ้าไม่เท่ากัน ดังนั้น ควรระวังการจ่ายไฟไม่ให้เกินแรงดันตกคร่อมของหลอด LED แต่ละสี ตามข้อมูลดังตารางที่ 1

- สมาร์ทโฟน ทำหน้าที่วัดความเข้มแสงหรือความสว่าง (Illuminance) ของหลอด LED แต่ละสีจากแอปพลิเคชันผ่านเซนเซอร์บนสมาร์ทโฟน โดยแอปพลิเคชันที่ใช้วัดความเข้มแสงของหลอด LED ในชุดการทดลองนี้ คือ Physics Toolbox Sensor Suite บนสมาร์ทโฟนที่เป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ค่าที่ได้จากการวัดมีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux)

- โวลต์มิเตอร์ ทำหน้าที่แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอด LED จากการออกแบบในส่วนต่างๆ นำมาประกอบกันเป็นวงจรได้ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนภาพแสดงวงจรของชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์

จากภาพที่ 8 เมื่อนำไปประกอบชุดทดลองตามแผนภาพที่ออกแบบไว้ จะได้ชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์

## การหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ

1. นำชุดอุปกรณ์มาประกอบเป็นวงจรตามแผนภาพที่ 8 โดยเลือกใช้หลอด LED สีแดง จัดวางระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ที่ระยะค่าหนึ่ง จากนั้นค่อยๆ หมุนตัวต้านทานแบบปรับค่าได้หรือ Potentiometer ควบคุมแรงดันไฟฟ้าจากตำแหน่ง 0 หมุนเพิ่มทีละน้อย จนสังเกตเห็นว่าหลอด LED เริ่มสว่าง

2. เมื่อหลอด LED เริ่มสว่าง บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์และค่าความเข้มแสงจากแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite บนสมาร์ทโฟน จากนั้นค่อยๆ เพิ่มแรงดันไฟฟ้าโดยการหมุนตัวต้านทานแบบปรับค่าได้หรือ Potentiometer โดยสังเกตจากโวลต์มิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 4 ค่า (ควรระวังไม่ให้เกินค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของหลอด LED แต่ละสี ตามข้อมูลดังตารางที่ 1) สังเกตและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าความเข้มแสงของหลอด LED

3. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และ 2 แต่เปลี่ยนหลอด LED เป็นสีส้ม สีเหลือง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีม่วง ตามลำดับ

4. เขียนกราฟของแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED แต่ละสี โดยให้แกน  $x$  เป็นความเข้มแสง และแกน  $y$  เป็นแรงดันไฟฟ้า หาแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) ของหลอด LED แต่ละสี จากข้อมูลที่รวบรวมไว้ โดยค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสงนี้ คือ จุดตัดแกน  $y$  ของกราฟ

5. นำค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) จากข้อ 4 มาคำนวณหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสี โดยใช้สมการ (2-7)

6. บันทึกค่าความยาวคลื่นแสง ( $\lambda$ ) ของหลอด LED แต่ละสีที่ระบุไว้ จากนั้นคำนวณหาความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED แต่ละสี โดยใช้สมการ (2-9)

7. ใช้ข้อมูลที่คำนวณได้จากข้อ 5 และข้อ 6 เขียนกราฟระหว่างค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับกับความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED โดยให้แกน  $x$  เป็นความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED และแกน  $y$  เป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับ ตามสมการ (2-11) จากนั้นหาค่าคงที่ของพลังค์จากความชันของกราฟ

8. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 ถึงข้อ 7 แต่เปลี่ยนการจัดวางระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED อีกจำนวน 4 ค่า

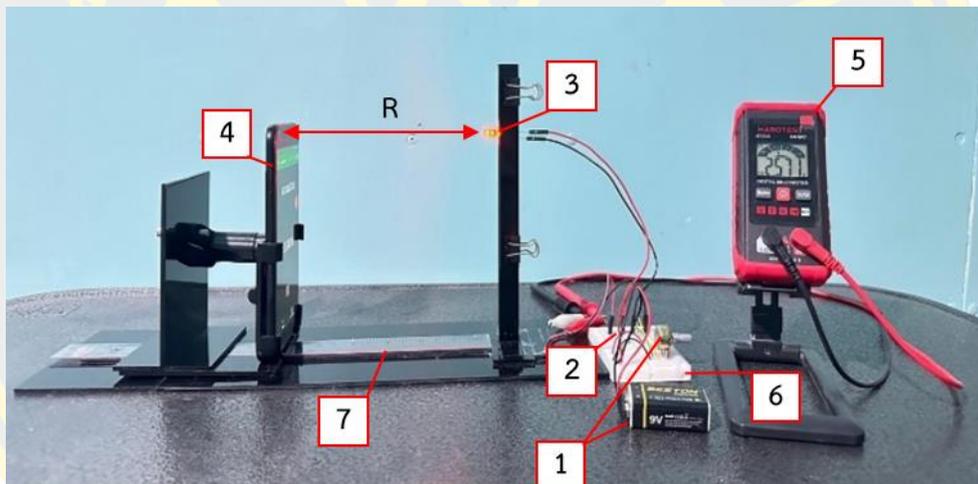
9. นำค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ มาเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน ( $6.626 \times 10^{-34}$  J.s) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาสมา ผู้วิจัยได้แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ได้แก่ การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาสมา และการหาค่าคงที่ของพลาสมาจากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED ต่างๆ รายละเอียดดังนี้

#### การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาสมา



ภาพที่ 9 ชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาสมา

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลาสมา ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า เป็นแบตเตอรี่ ขนาด 9 V พร้อมต่อกับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ แบบ B ขนาด  $100\text{ k}\Omega$
2. ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ ที่ใช้กับหลอด LED ในชุดการทดลองนี้ เท่ากับ  $300\ \Omega$
3. หลอด LED เป็นหลอด LED ขนาดเล็ก 5 mm โดยมีรายละเอียดของความยาวคลื่นของหลอด LED แต่ละสี ดังตารางที่ 2 และลักษณะของหลอด LED แต่ละสี ดังภาพที่ 10

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลความยาวคลื่นของหลอด LED แต่ละสี

| สีหลอด LED | ความยาวคลื่น (nm) |
|------------|-------------------|
| แดง        | 620 - 625         |
| ส้ม        | 600 - 605         |
| เหลือง     | 590 - 592         |
| เขียว      | 519 - 520         |
| น้ำเงิน    | 460 - 463         |
| ม่วง       | 420 - 426         |



ภาพที่ 10 ลักษณะของหลอด LED แต่ละสี

4. สมาร์ทโฟน เป็นระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยแอปพลิเคชันที่ใช้วัดความเข้มแสงของหลอด LED ในชุดการทดลองนี้ คือ Physics Toolbox Sensor Suite ค่าที่ได้จากการวัดมีหน่วยเป็นลักซ์ (Lux)
5. มัลติมิเตอร์ ใช้ทำหน้าที่เป็นโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมหลอด LED
6. โพรโทบอร์ดสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ และสายไฟ
7. ฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ พร้อมสเกลปรับระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R)

### การหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ

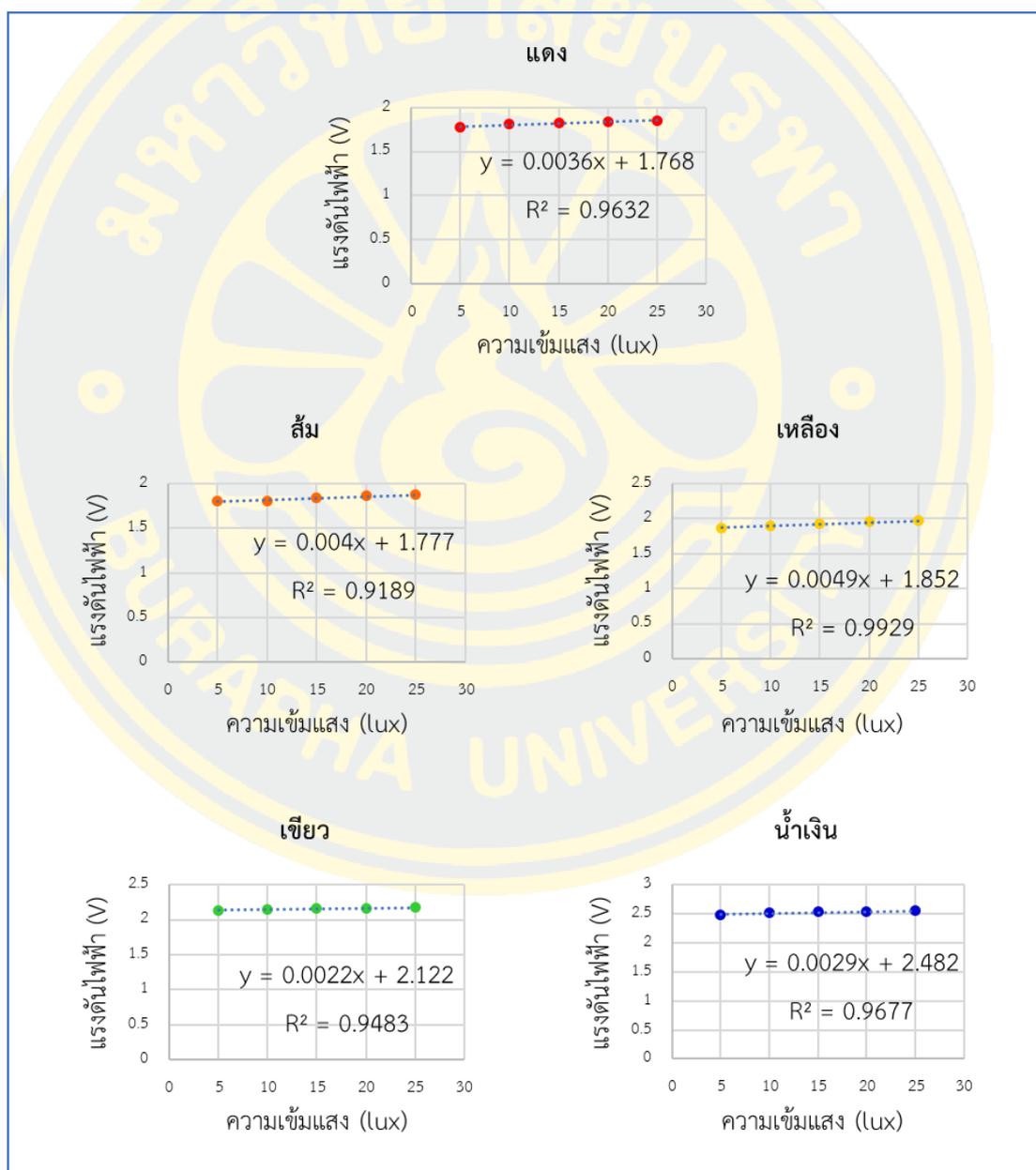
1. การหาค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสงของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ

ในการหาค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสงของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์และค่าความเข้มแสงจากแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite บนสมาร์ทโฟน ของหลอด LED แต่ละสี จำนวน 5 ค่า และทำการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED จำนวน 5 ระยะ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3

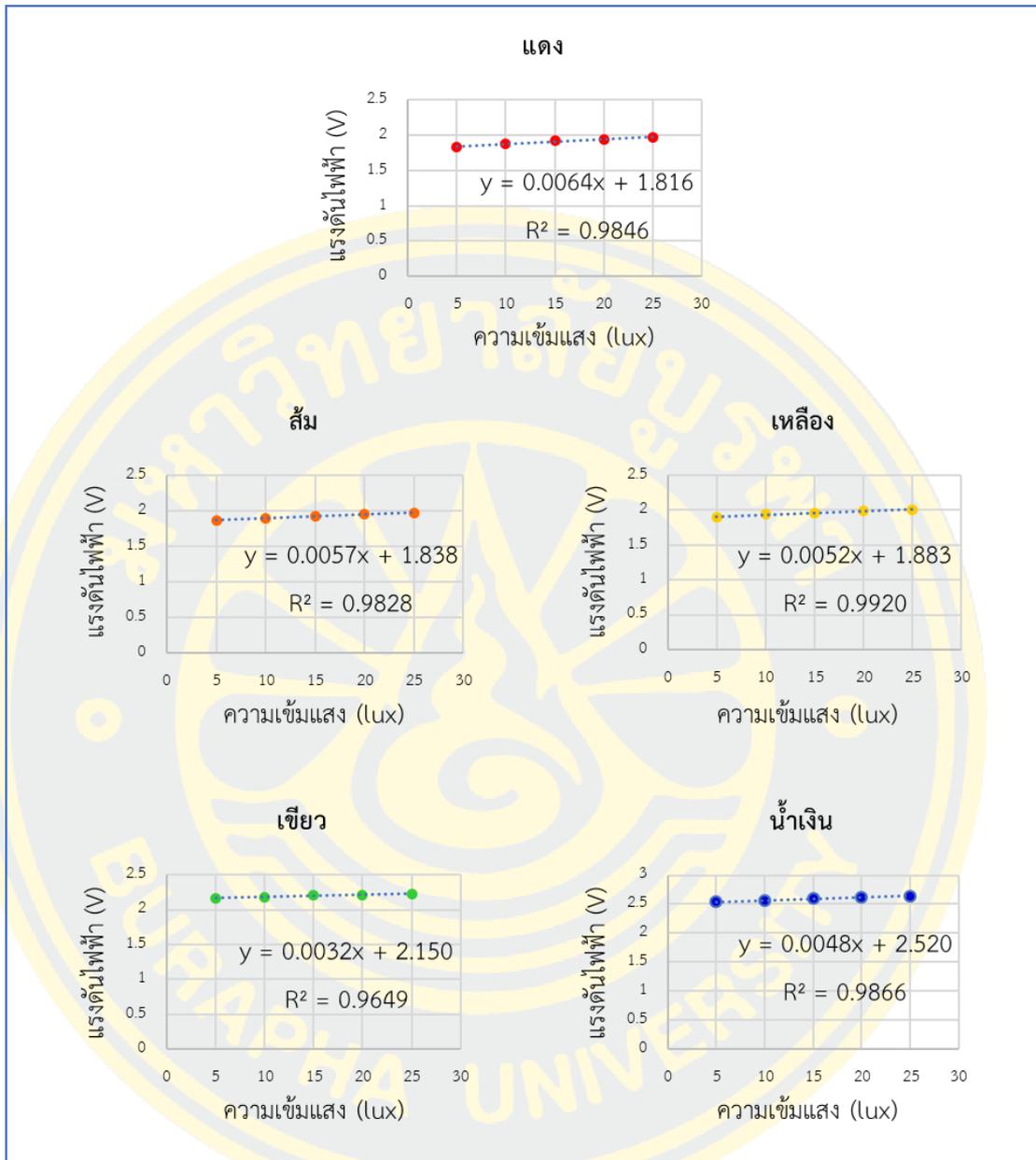


\*หมายเหตุ หลอด LED สีม่วง ไม่สามารถบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า (V) และค่าความเข้มแสง (I) ได้ เนื่องจากขณะทำการทดลองค่าความเข้มแสงจากแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite บนสมาร์ตโฟนแสดงค่าไม่ขึ้น

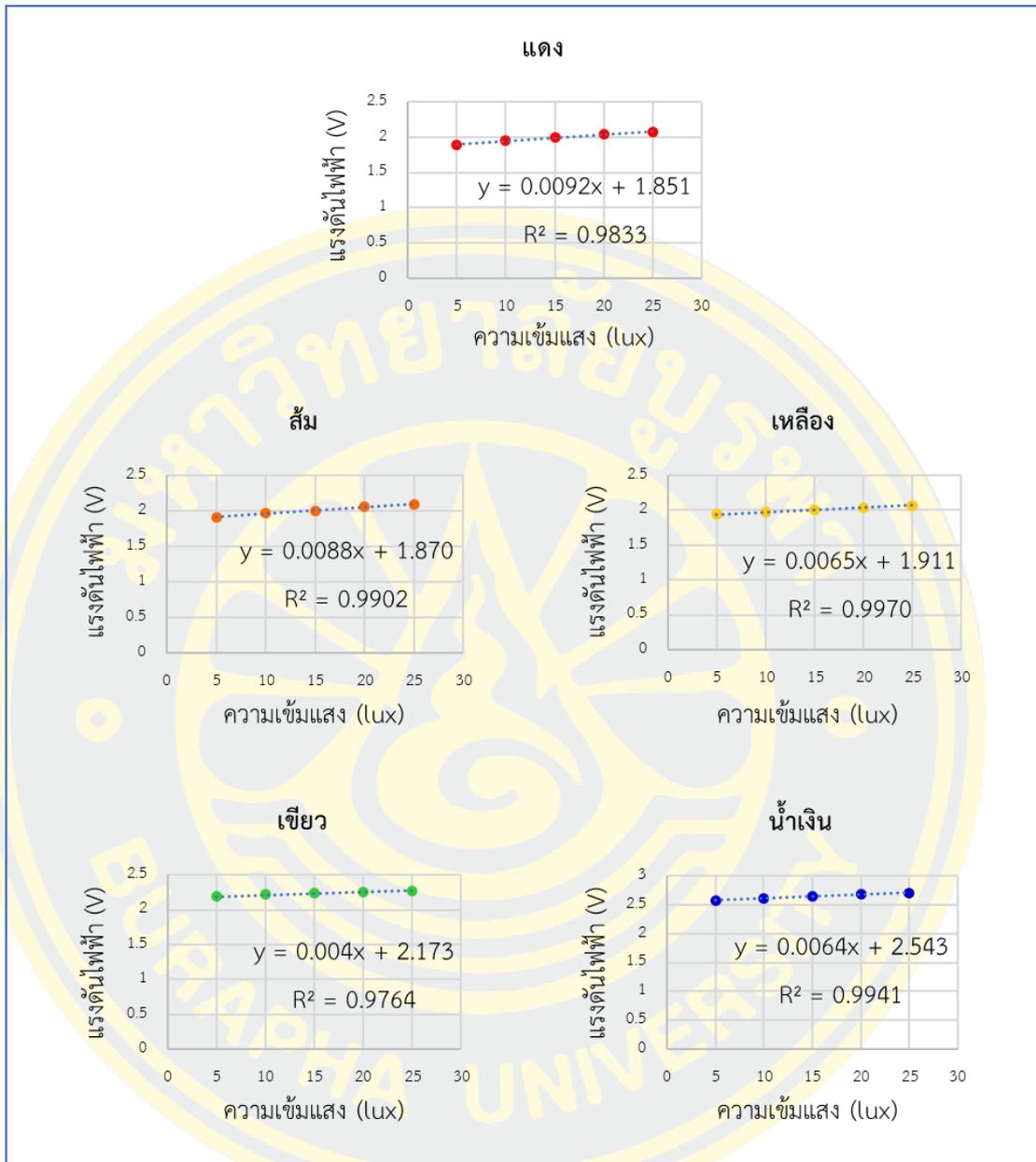
ผู้วิจัยนำข้อมูลตารางที่ 2 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED ต่างๆ โดยให้แกน x เป็นความเข้มแสง (I) และแกน y เป็นแรงดันไฟฟ้า (V) ได้ผลแสดงดังภาพที่ 11 - 15



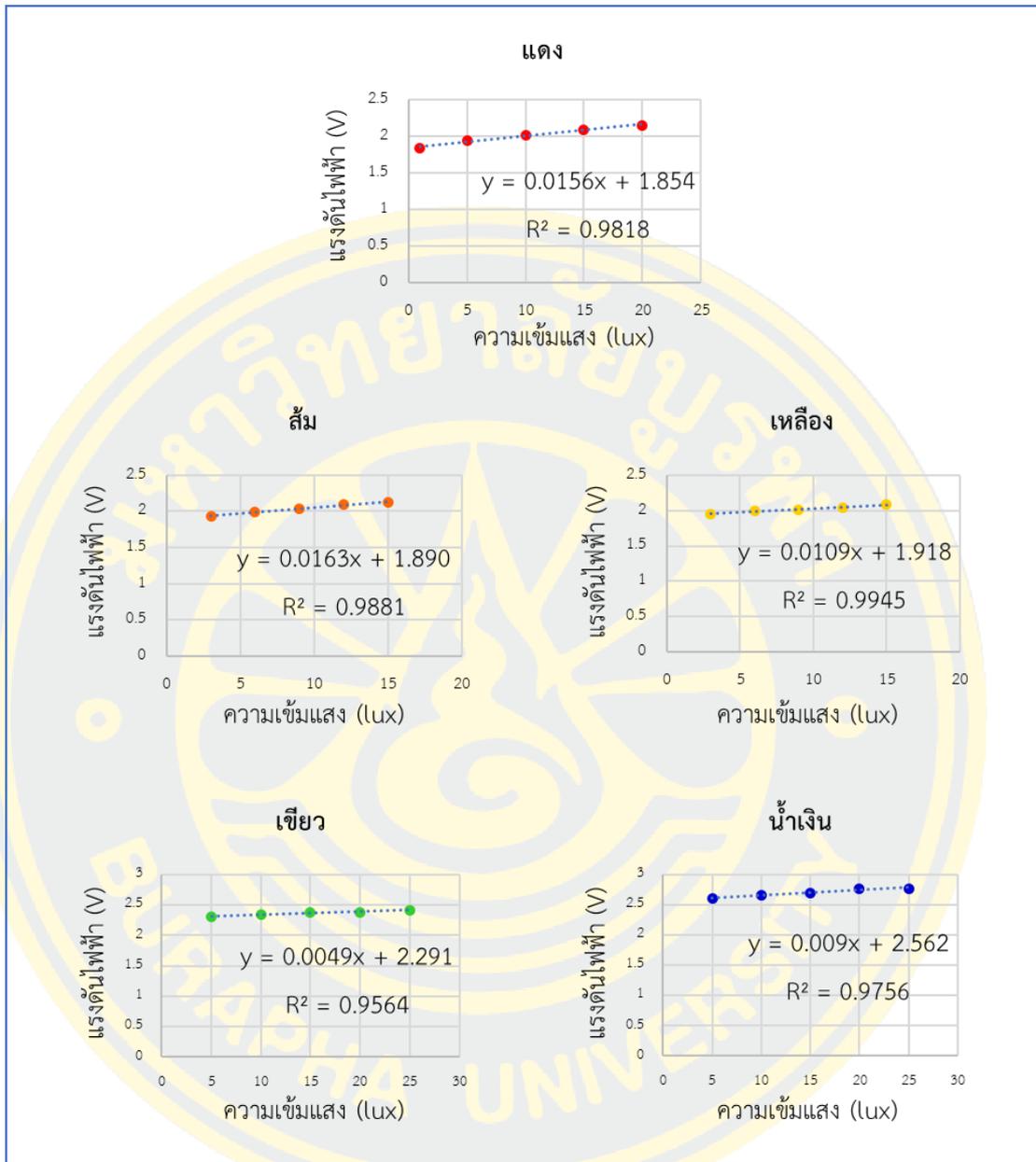
ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5 cm



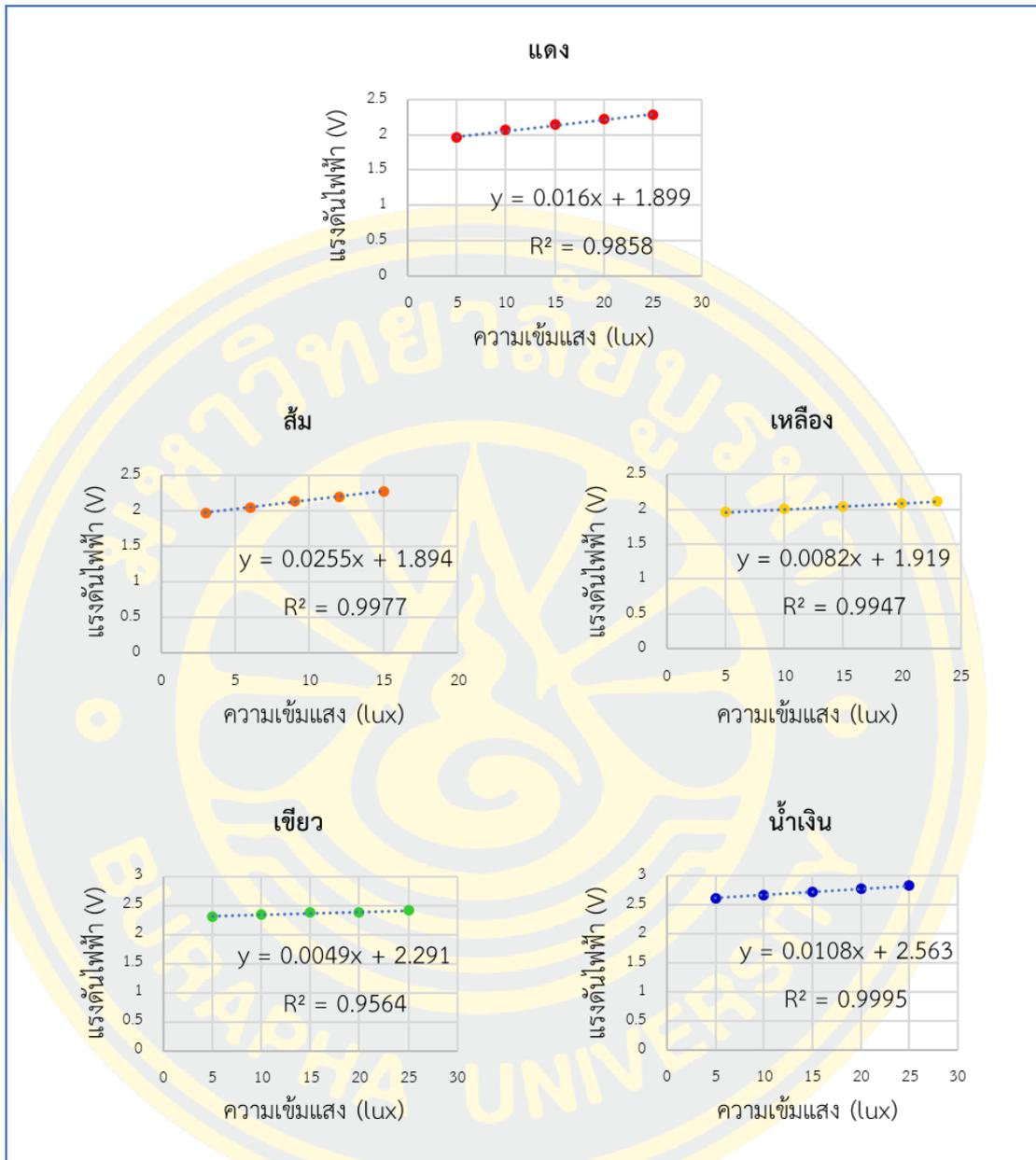
ภาพที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 10 cm



ภาพที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 15 cm



ภาพที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 20 cm



ภาพที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED สีต่างๆ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 25 cm

จากนั้นผู้วิจัยบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) ของหลอด LED ที่ได้จากกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มแสงของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5 – 25 cm จากภาพที่ 11 – 15 โดยค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสงนี้ คือ จุดตัดแกน y ของกราฟ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) ของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED (R) ต่างๆ

| สีหลอด<br>LED | แรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง $V_0$ (V) |           |           |           |           |
|---------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | R = 5 cm                              | R = 10 cm | R = 15 cm | R = 20 cm | R = 25 cm |
| แดง           | 1.768                                 | 1.816     | 1.851     | 1.854     | 1.899     |
| ส้ม           | 1.777                                 | 1.838     | 1.870     | 1.890     | 1.894     |
| เหลือง        | 1.852                                 | 1.883     | 1.911     | 1.918     | 1.919     |
| เขียว         | 2.122                                 | 2.150     | 2.173     | 2.191     | 2.291     |
| น้ำเงิน       | 2.482                                 | 2.520     | 2.543     | 2.562     | 2.563     |

2. การหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED ต่างๆ

ผู้วิจัยหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED ต่างๆ โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) จากตารางที่ 3 มาคำนวณหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสี ตามสมการ (2-7)  $E_e = eV_0$  กำหนดให้  $e$  เท่ากับ  $1.6022 \times 10^{-19}$  C ได้ผลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสี ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ตโฟนกับหลอด LED (R) ต่างๆ

| สีหลอด<br>LED | พลังงานศักย์ไฟฟ้า $E_e$ ( $\times 10^{-19}$ J) |           |           |           |           |
|---------------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | R = 5 cm                                       | R = 10 cm | R = 15 cm | R = 20 cm | R = 25 cm |
| แดง           | 2.833  | 2.910     | 2.966     | 2.970     | 3.043     |
| ส้ม           | 2.847  | 2.945     | 2.996     | 3.028     | 3.035     |
| เหลือง        | 2.967  | 3.017     | 3.062     | 3.073     | 3.075     |
| เขียว         | 3.400  | 3.445     | 3.482     | 3.510     | 3.671     |
| น้ำเงิน       | 3.977  | 4.038     | 4.074     | 4.105     | 4.106     |

### 3. การหาค่าคงที่ของพลังค์ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ และเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นค่ามาตรฐาน

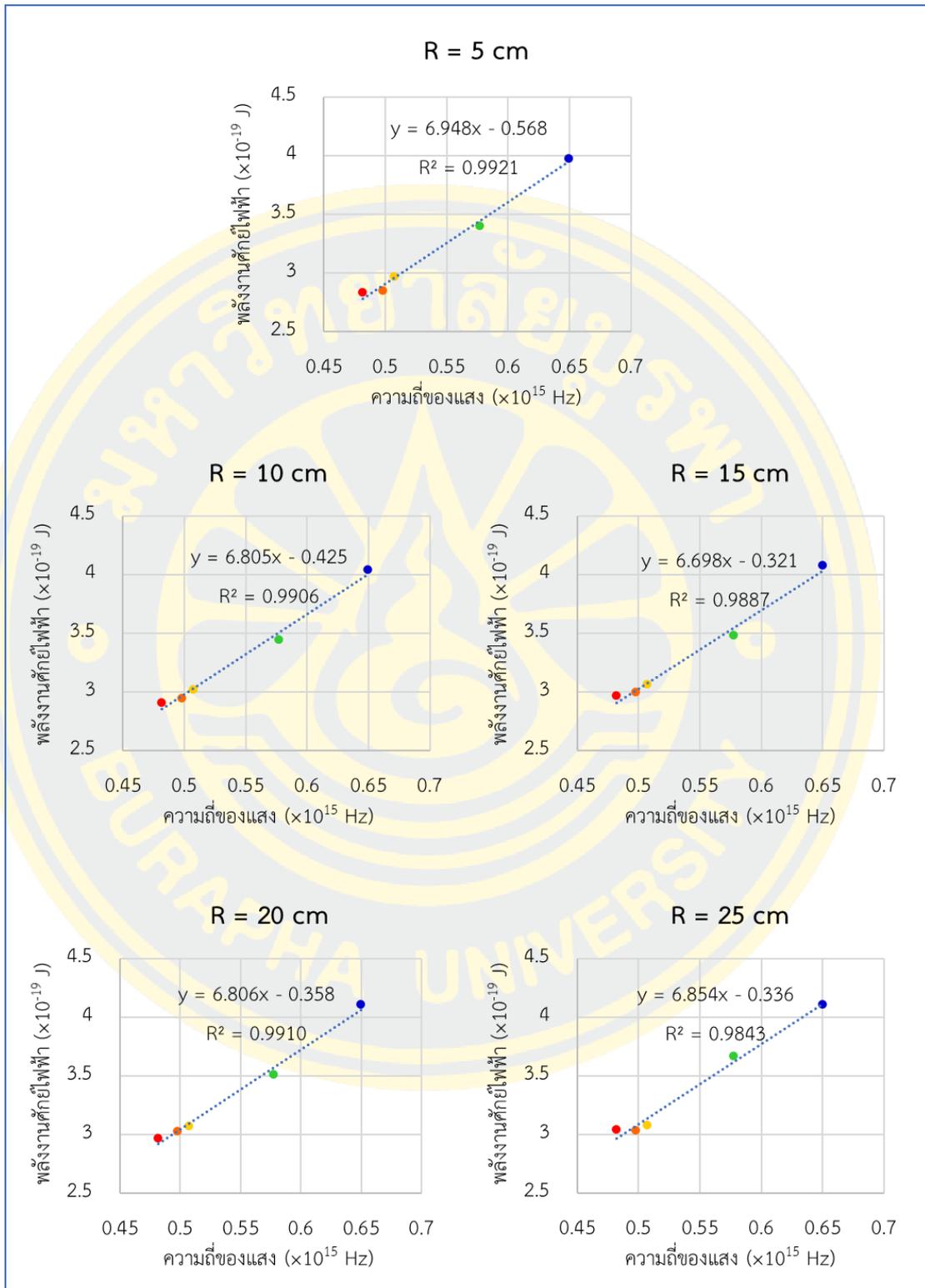
ผู้วิจัยบันทึกค่าความยาวคลื่นแสง ( $\lambda$ ) ของหลอด LED แต่ละสี โดยใช้ค่าเฉลี่ยช่วงความยาวคลื่นแสงของหลอด LED แต่ละสีที่ระบุไว้จากตารางที่ 2 จากนั้นนำค่าความยาวคลื่นแสงของหลอด LED มาคำนวณหาความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED แต่ละสี โดยใช้สมการ (2-9)

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ กำหนดให้ } c \text{ เท่ากับ } 3.0 \times 10^8 \text{ m/s ได้ผลแสดงดังตารางที่ 6}$$

ตารางที่ 6 แสดงข้อมูลค่าความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) และความถี่ของแสง ( $f$ ) จากหลอด LED สีต่างๆ

| สีหลอด LED | $\lambda$ (nm) | $f$ (Hz)               |
|------------|----------------|------------------------|
| แดง        | 622.5          | $4.819 \times 10^{14}$ |
| ส้ม        | 602.5          | $4.979 \times 10^{14}$ |
| เหลือง     | 591.0          | $5.076 \times 10^{14}$ |
| เขียว      | 519.5          | $5.775 \times 10^{14}$ |
| น้ำเงิน    | 461.5          | $6.501 \times 10^{14}$ |

จากนั้นผู้วิจัยใช้ข้อมูลค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับของหลอด LED แต่ละสีที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ จากตารางที่ 4 และข้อมูลค่าความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED แต่ละสี จากตารางที่ 5 มาเขียนกราฟระหว่างค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับกับความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED โดยให้แกน  $x$  เป็นความถี่ของแสง ( $f$ ) ที่เปล่งออกมาจากหลอด LED และแกน  $y$  เป็นพลังงานศักย์ไฟฟ้า ( $E_e$ ) ที่อิเล็กตรอนได้รับ ได้ผลแสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับกับความถี่ของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) ต่างๆ

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับกับความถี่ของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เมื่อพิจารณาตามสมการ (2-11)  $E_e = hf$  จะได้ว่า ความชันของกราฟ คือ ค่าคงที่ของพลังค์ จากนั้นเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน ( $6.626 \times 10^{-34}$  J.s) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน โดยใช้สมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left[ \frac{\text{ค่าที่ได้จากการทดลอง} - \text{ค่าที่เป็นมาตรฐาน}}{\text{ค่าที่เป็นมาตรฐาน}} \right] \times 100$$

ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน

| ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (cm) | ค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลอง (J.s) | เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (%) |
|--|---------------------------------------|--------------------------------|
| 5  | $6.948 \times 10^{-34}$               | 4.860                          |
| 10                                       | $6.805 \times 10^{-34}$               | 2.701                          |
| 15                                       | $6.698 \times 10^{-34}$               | 1.087                          |
| 20                                       | $6.806 \times 10^{-34}$               | 2.717                          |
| 25                                       | $6.854 \times 10^{-34}$               | 3.441                          |

จากตารางที่ 7 แสดงได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5 – 25 cm อยู่ในช่วงระหว่าง 1.087% - 4.860%

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัย เรื่อง การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ และหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่มีระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ โดยมีรายละเอียดการสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ดังนี้

#### สรุปผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยอาศัยหลักการทำงานของหลอด LED สามารถนำไปใช้งานได้จริง เมื่อนำชุดทดลองที่สร้างขึ้นไปหาค่าคงที่ของพลังค์ที่มีระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED ต่างๆ พบว่า ค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่มีระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5, 10, 15, 20 และ 25 cm เป็น  $6.948 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.805 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.698 \times 10^{-34}$  J.s,  $6.806 \times 10^{-34}$  J.s และ  $6.854 \times 10^{-34}$  J.s ตามลำดับ เห็นได้ว่าค่าคงที่ของพลังค์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน โดยความคลาดเคลื่อนของค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5 cm มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 4.860% และที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 15 cm มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด 1.087%

#### อภิปรายผล

ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ได้ โดยอาศัยหลักการทำงานของหลอด LED จากการวัดแรงดันไฟฟ้าและความเข้มแสงของหลอด LED แต่ละสีจากแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite ผ่านเซนเซอร์บนสมาร์ทโฟน นำข้อมูลที่ได้ทำการหาค่าแรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มเปล่งแสง ( $V_0$ ) ของหลอด LED สีต่างๆ แล้วคำนวณหาค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ ( $E_e$ ) ของหลอด LED สีต่างๆ จากนั้นนำมาเขียนกราฟระหว่างค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าที่อิเล็กตรอนได้รับ ( $E_e$ ) กับความถี่ของแสงที่เปล่งออกมาจากหลอด LED (f) ทำให้สามารถหาค่าคงที่ของพลังค์จากความชันของกราฟได้ ซึ่งค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองนี้ ที่ระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED เท่ากับ 5 ถึง 25 cm อยู่ในช่วงระหว่าง  $6.698 \times 10^{-34}$  J.s ถึง  $6.948 \times 10^{-34}$  J.s ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าคงที่ของพลังค์ที่เป็นมาตรฐาน และมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง 1.087% ถึง 4.860% สอดคล้องกับงานวิจัยของ

Pili and Violanda (2019) ที่ได้นำเสนอวิธีการทางเลือกและคุ่มค่าสำหรับการวัดค่าคงที่ของพลังค์ โดยใช้ไดโอดเปล่งแสง (LED) ด้วยการวัดความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมาจาก LED และเขียนกราฟ แรงดันไฟฟ้าเทียบกับความเข้มของแสง จะสามารถกำหนดแรงดันขีดเริ่มหรือค่าแรงดันที่เปิดไฟ LED ได้ แรงดันไฟฟ้าขีดเริ่มนี้เกี่ยวข้องกับความถี่ของแสงที่ปล่อยออกมาและค่าคงที่ของพลังค์ วิธีการนี้ เชื่อถือได้และสอดคล้องกัน ทำให้เหมาะสำหรับหลักสูตรฟิสิกส์ยุคใหม่เบื้องต้น สำหรับการทดลอง ที่ได้นำเสนอ ค่าคงที่ของพลังค์ เท่ากับ  $6.1(\pm 1) \times 10^{-34}$  J.s มีเปอร์เซ็นต์ข้อผิดพลาด 7.9% เมื่อเทียบกับ ค่าที่ยอมรับ

จากค่าความคลาดเคลื่อนของงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่า ไม่เกิน 10% โดยทั่วไปแล้วถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการทดลอง นั้นแสดงว่าชุดการทดลอง ง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน ในชั้นเรียนได้ นอกจากนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยที่อาจส่งผลทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากชุดการ ทดลองนี้ ได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์ ทักษะการใช้เครื่องมือวัด สถานที่ทำการทดลอง เป็นต้น

### ข้อเสนอแนะ

1. ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เลือกใช้ควรระวังไม่ให้เกินค่าแรงดันไฟฟ้าตกรวมของหลอด LED ของ สีนั้นๆ และควรเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้ความเข้มแสงที่อ่านจากแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite บนสมาร์ตโฟนมีค่าไม่เกิน 50 ลักซ์ เนื่องจากแสดงผลค่าความเข้มแสงที่ไม่นิ่ง
2. ความเข้มแสงที่อ่านจากแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Sensor Suite บนสมาร์ตโฟน มีค่าไม่ละเอียด ในการพัฒนาชุดการทดลองครั้งต่อไปควรใช้แอปพลิเคชันอื่นที่สามารถอ่านค่า ความเข้มแสงบนสมาร์ตโฟนได้ละเอียดมากขึ้นหรือหาเซนเซอร์ตรวจวัดความเข้มแสงอื่นๆ เช่น Arduino เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง เป็นต้น
3. ในการวิจัยครั้งต่อไป อาจนำชุดการทดลองไปศึกษาหาความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและ ความถี่ของแสงที่มีผลต่อค่าความต่างศักย์หยุดยั้งในปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

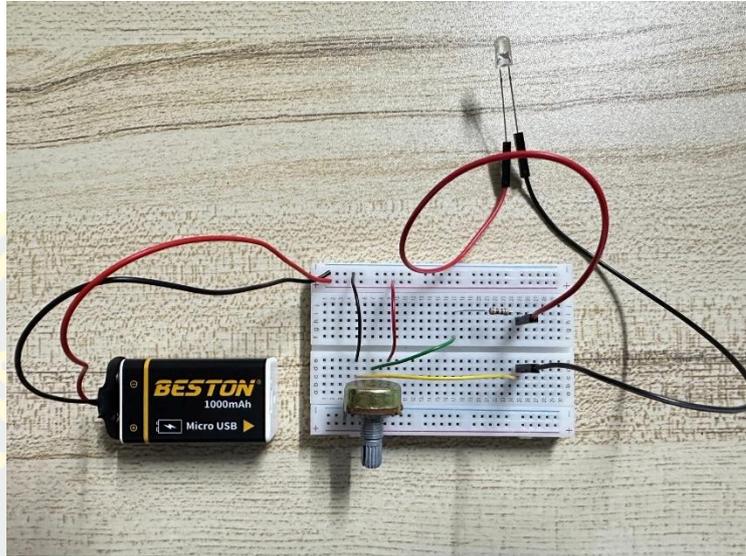
## บรรณานุกรม

- ครูสาขาวิชาฟิสิกส์ โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย. (2565). เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ สาขาวิชาฟิสิกส์ โครงการวิทยาศาสตร์พลังสิบ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. สุพรรณบุรี: โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย.
- ปรียา อนุพงษ์ของอาจ. (2560). การพัฒนาชุดทดลองเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก รายวิชา PHY 224 ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2. วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต, 11(2), 147-155.
- วีระศักดิ์ ซอมขุนทด. (2559). ฟิสิกส์ยุคใหม่, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2548). ก้าวทันโลกอิเล็กทรอนิกส์, ปทุมธานี: ฝ่ายพัฒนาศักยภาพเยาวชนด้านไอที ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2563). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ม.6 เล่ม 6, กรุงเทพฯ: สกสศ. ลาดพร้าว.
- สมพงษ์ ใจดี. (2551). ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 4 (พิมพ์ครั้งที่ 3), กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อาทิตย์ หมวดคงจันทร์. (2561). การศึกษาการโพลาริเซชันของแสงจากแวนกันแดคโพลาริซโดยใช้ สมาร์ทโฟน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 21(3), 174-182.
- Calvo-Mola, C., et al. (2019). Determination of the Planck Constant through the use of LEDs. *Revista Cubana de Física*, 36(2), 125-131.
- Fitri, U.R., Ziveria, M., & Muhara, I. (2022). Determination of Planck's Constant Using the Photoelectric Effect Experiment. *Journal of Physics: Conference Series*, 2377, 012076.
- Pili, U., & Violanda, R. (2019). Smartphone-based measurement of the Planck's constant with light-emitting diodes. *Physics Education*, 54(2), 023007.
- The Invention. (2564). การคำนวณค่าตัวต้านทาน เพื่อใช้กับหลอดไฟ LED. สืบค้น 29 เมษายน 2566, จาก <https://www.ai-corporation.net/2021/12/14/resistor-calculation-for-use-with-led/>.
- Zollman, D., & Bearden I. (2020). Determining Planck's constant with LEDs—what could possibly go wrong?. *Physics Education*, 55(1), 015011.

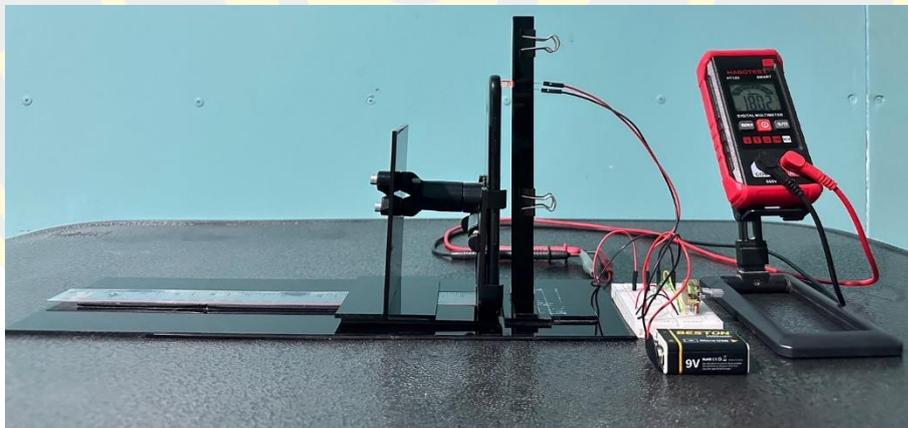


ภาคผนวก

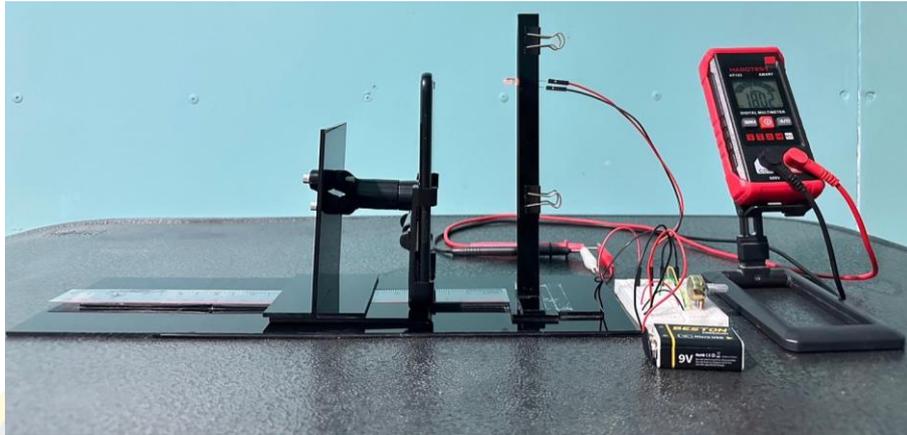
ภาพแสดงการออกแบบและสร้างชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์



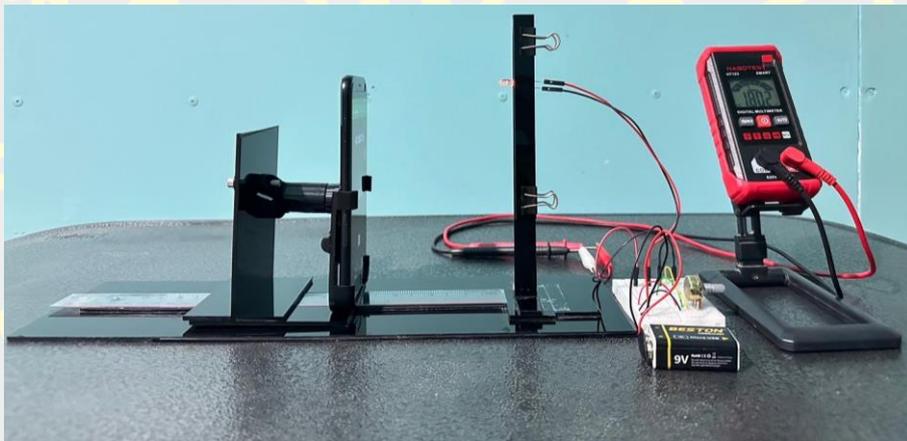
ภาพที่ ผ-1 แสดงการต่อวงจรบนโปรโตบอร์ด



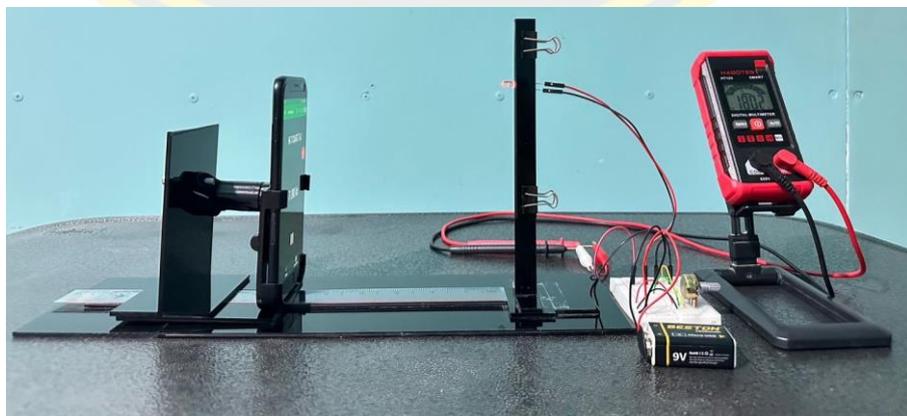
ภาพที่ ผ-2 แสดงการประกอบอุปกรณ์ต่างๆ เป็นชุดการทดลองอย่างง่ายเพื่อหาค่าคงที่ของพลังค์ และติดตั้งหลอด LED ให้ตรงกับเซนเซอร์รับแสงของสมาร์ทโฟน



ภาพที่ ผ-3 แสดงการปรับระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) เท่ากับ 5 cm



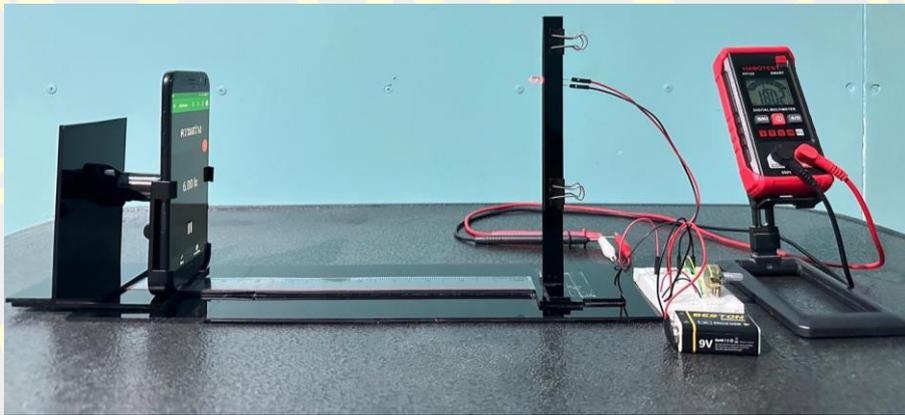
ภาพที่ ผ-4 แสดงการปรับระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) เท่ากับ 10 cm



ภาพที่ ผ-5 แสดงการปรับระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) เท่ากับ 15 cm



ภาพที่ ผ-6 แสดงการปรับระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) เท่ากับ 20 cm



ภาพที่ ผ-7 แสดงการปรับระยะห่างระหว่างสมาร์ทโฟนกับหลอด LED (R) เท่ากับ 25 cm

## ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวณัฐฤทัย คงไกรฤกษ์  
วัน เดือน ปี เกิด 02 พฤศจิกายน 2535  
สถานที่เกิด โรงพยาบาลแพทย์ชูชัย จังหวัดสิงห์บุรี  
สถานที่อยู่ปัจจุบัน 84 หมู่ 1 ตำบลสามง่ามท่าโบสถ์ อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท 17160  
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน ครู โรงเรียนชัยนาทพิทยาคม อำเภอเมืองชัยนาท จังหวัดชัยนาท  
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2559 การศึกษาระดับบัณฑิต (การสอนฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยบูรพา

