

# การออกแบบและสร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจากหลอดแอลอีดี

## Design and Fabrication Photoelectric Effect Experiment Set Using LEDs

อดิศร บุรณวงศ์,<sup>1</sup> นีรันตร์ วิทิตอนันต์<sup>2</sup>

Adisorn Buranawong,<sup>1</sup> NirunWitit-anun<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยใช้หลอดแอลอีดีเป็นแหล่งกำเนิดแสง เพื่อศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและวัดค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่สร้างขึ้น โดยชุดทดลองแบ่งออกเป็น 3 คือ 1) แหล่งกำเนิดแสงแบบหลอดแอลอีดี 2) วงจรไฟฟ้า และ 3) หลอดสูญญากาศแบบ 1P39 เป็นตัวรับแสงจากหลอดแอลอีดี โดยในการทดลองใช้กัลวานอมิเตอร์วัดปริมาณกระแสโฟโตอิเล็กทริกใช้มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขวัดความศักย์ไฟฟ้าหยุดยั้ง ผลการทดสอบพบว่าเมื่อฉายแสงตกกระทบกับหลอดสูญญากาศจะเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกขึ้น จากผลการทดลองการออกแบบและสร้างชุดทดลองดังกล่าว เมื่อให้ความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์หยุดยั้งก็เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณทั้งสองแปรผันตรงกับความถี่ของหลอดแอลอีดี ส่วนค่าคงที่ของพลังค์ ( $h$ ) ที่ได้จากการทดลองเท่ากับ  $5.930 \times 10^{-34}$  J.s เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของพลังค์มีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10.46

**คำสำคัญ:** ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกหลอดแอลอีดีค่าคงที่ของพลังค์

### Abstract

The objectives of this research were to design and fabrication of the photoelectric effect using LEDs as light sources. The photo electric effect and measuring Planck's constant were investigated from the experimental set up. The equipment was divided in to 3 parts as 1) LED bulbs light source 2) electric circuit and 3) 1P39 vacuum tube. The galvanometer was used to measure the photocurrent, and the digital meters were used to evaluate the stopping voltage. The result showed that when irradiated LED to and vacuum tube, the photoelectric effect was appeared. As the electromagnetic wave frequency was increased, the photocurrent and stopping voltage were also increased. The resulted showed that the photocurrent and stopping voltage proportional to the frequency of electromagnetic waves which implied that both parameters depended on frequency of LEDs. The value of Planck's constant ( $h$ ) from this equipment was  $5.93 \times 10^{-34}$  J.s comparing to the standard Planck's constant of  $6.62 \times 10^{-34}$  J.s., the percentage error value of the experimental was 10.46 %.

**Keyword:** Photoelectric effect LEDs light source Plank's constant

---

<sup>1</sup>อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 038-103084 adisomb@buu.ac.th

<sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 038-103084 nirun@buu.ac.th

\*Corresponding author: AdisornBuranawong, Department of Physics, Faculty of Science, BuraphaUniversity, SaensukDistrict, Chonburi 20131, Thailand.



## บทนำ

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์นั้น เพื่อความเข้าใจวิธีการทางวิทยาศาสตร์ การใช้ชุดการทดลองจึงมีส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้การจัดการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นตามที่ วัลลภ จันทรตระกูล<sup>1</sup>ได้เสนอข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการจัดชุดทดลองมาใช้ในการเรียนการสอนว่า ชุดทดลอง หรืออุปกรณ์ช่วยสอนจากต่างประเทศนั้นมีราคาสูง และไม่สอดคล้องต่อการใช้งาน เนื่องจากภาษาที่ใช้ความเหมาะสมกับหลักสูตร และวิธีการสอน จึงให้ข้อเสนอว่าควรสนับสนุนให้ครูผู้สอนมีการพัฒนาชุดทดลองและอุปกรณ์ช่วยสอนขึ้นมา เพื่อให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหา หลักสูตร และวิธีสอนแบบทดลองเป็นวิธีสอนที่ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ศึกษา ค้นคว้าด้วยการทดลอง เพื่อพิสูจน์หลักการและทฤษฎีที่ผู้อื่นได้ค้นพบไว้ โดยมีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนได้ประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ขณะลงมือปฏิบัติ การทดลองด้วยตนเอง เกิดทักษะกระบวนการในการใช้ความคิดอย่างมีเหตุผล มีทักษะในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ และเกิดทักษะการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ เช่น การสังเกต การฝึกปฏิบัติ การค้นคว้าหาข้อมูล เป็นต้น รวมทั้งผู้เรียนเกิดความสนุกและตื่นตัวกับการทดลองทำให้บทเรียนน่าสนใจยิ่งขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดที่สำคัญโรงเรียนขนาดเล็กการสอนแบบทดลองบางครั้งต้องใช้ทรัพยากรมากทำให้การลงทุนสูง อาจไม่ได้ผลที่คุ้มค่ากับการลงทุน

ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมปลายมีเนื้อหาการสอนอยู่หลายเรื่องซึ่งมีความง่ายหรือยาก แตกต่างกันไปตามระดับชั้นของการเรียนการสอนยกตัวอย่างหัวข้อในชั้นเรียน เช่น เวกเตอร์ แรงและการเคลื่อนที่ งานและพลังงาน เป็นต้น โดยเนื้อหาสาระหลักจะเป็นการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามหลักการทางฟิสิกส์ ประกอบการยกตัวอย่างชีวิตประจำวันเพื่อให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนผิวโลหะ ถ้าความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่า

มากกว่าความถี่ขีดเริ่ม (Threshold Frequency) ค่าหนึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนภายในโลหะหลุดออกมาได้เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect) และอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาโดยกระบวนการนี้เรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) เมื่อพิจารณาค่าความต่างศักย์หยุดยั้งและค่าความถี่ของแสงและสามารถหาค่าคงที่ของพลังค์( $h$ ) ได้อีกด้วย<sup>2</sup>

อย่างไรก็ตามปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกมีเนื้อหาค่อนข้างยาก ทำให้ผู้เรียนไม่เข้าใจในทฤษฎี ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะหาวิธีให้ผู้เรียนเข้าใจทฤษฎี ด้วยวิธีการทดลอง เพื่อสนับสนุนทฤษฎีที่ผู้เรียนได้ศึกษามาแล้ว ส่งผลให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น และทำให้ผู้เรียนมีกระบวนการคิดอย่างเป็นเหตุเป็นผล นอกจากนี้การทดลองยังเสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียนเรียนได้เรียนรู้อย่างสมบูรณ์แบบเต็มตามศักยภาพของผู้เรียนได้ด้วย

โดยส่วนใหญ่ชุดการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก สำหรับในการเรียนการสอนจะมีอยู่ในระดับอุดมศึกษา สำหรับในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายแล้วพบว่ามียุโรปกรณ์น้อยมากหากจำเป็นต้องซื้อใช้ในการเรียนการสอนจะต้องจัดซื้อชุดการทดลองสำเร็จรูปซึ่งมีราคาแพง ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายงานวิจัยที่ซึ่งได้สร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกอย่างง่ายเพื่อใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและใช้ในการหาค่าคงที่ของพลังค์ ผลจากการทดสอบชุดทดลองพบว่าเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้สามารถหาค่าคงที่ของพลังค์ โดยมีร้อยละความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 12.83 % ถึง 15.86 %<sup>3,4</sup>

ด้วยเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างชุดทดลองอย่างง่ายโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ในประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก และหาค่าคงที่ของพลังค์จากชุดการทดลองที่สร้างขึ้นนี้

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่ออกแบบและสร้างในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 แหล่งกำเนิดแสงหลอดแอลอีดี (LED) ขนาด 3W ที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกันไปตามสี ได้แก่สีน้ำเงิน (470 nm) สีเขียว (525 nm) สีเหลือง (593 nm) และสีแดง (631 nm) ต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 3V ส่วนที่ 2 คือ วงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการเปิด-ปิด หลอดแอลอีดี สำหรับการวัดกระแสโฟโตอิเล็กตรอน (Photocurrent) ตลอดจนวัดค่าความต่างศักย์หยุดยั้ง สุดท้ายเป็นส่วนที่ 3 คือ โฟโตเซลล์ (Photocell) หรือหลอดสูญญากาศชนิด 1P39 สำหรับการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยทั้ง 3 ส่วนประกอบกันเป็นวงจร (Figure 1)

สำหรับแนวทางการดำเนินงานและกิจกรรมในงานวิจัยนี้จะแสดงไว้ใน Figure 2 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 คือ ตอนที่ 1 เป็นการทดสอบชุดทดลองโฟโตอิเล็กทริกจากชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างขึ้น ส่วนตอนที่ 2 จะคำนวณหาค่าคงที่ของพลังค์ตามขั้นตอนดังนี้จ่ายความต่างศักย์ให้กับหลอดแอลอีดี ซึ่งทราบค่าความถี่ จากนั้นทำการวัดค่ากระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์หยุดยั้งจากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมา ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่วัดได้มาเขียนกราฟระหว่างความถี่ ( $f$ ) คลื่นแสงของหลอดแอลอีดี (แกน  $x$ ) กับ ความต่างศักย์หยุดยั้ง  $V_s$  (แกน  $y$ ) และคำนวณหาค่าคงที่ของพลังค์จากความชันของกราฟ ดังสมการที่ (1) จากนั้นเปลี่ยนหลอดแอลอีดีเป็นสีต่าง ๆ สุดท้ายเปรียบเทียบค่าคงที่ของพลังค์ที่ได้จากการทดลอง กับค่ามาตรฐาน ( $h=6.626 \times 10^{-34}$  J.s) และหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าคงที่ของพลังค์จากทฤษฎี

$$\frac{V_s}{f-f_0} = \frac{h}{e} \quad (1)$$

โดยที่  $e$  คือ ค่าประจุอิเล็กตรอน  
 $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์  
 $f$  คือ ค่าความถี่ของคลื่นแสง  
 $f_0$  คือ ค่าความถี่ขีดเริ่ม

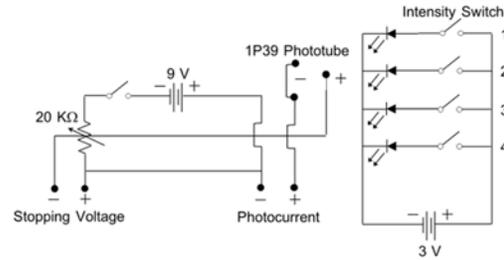


Figure 1 Photoelectric effect circuit

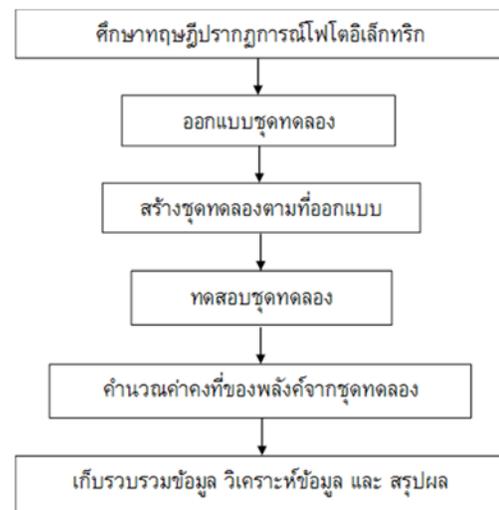


Figure 2 Research diagram



Figure 3 Photoelectric effect apparatus

## ผลการศึกษา

### ผลการออกแบบ และสร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

จากการออกแบบและสร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแหล่งกำเนิดแสงหลอดแอลอีดี



กำลังไฟฟ้า 3W ได้แก่สีน้ำเงิน (ความยาวคลื่น 470 nm) สีเขียว (ความยาวคลื่น 525 nm) สีเหลือง (ความยาวคลื่น 593 nm) และสีแดง (ความยาวคลื่น 631 nm) ต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 3V สูญญากาศ 1P39 (โฟโตเซลล์) ซึ่งจะบรรจุอยู่ในกล่องทึบแสง ที่มีช่องเปิดให้แสงจากหลอดแอลอีดีผ่านเท่านั้น

ในการวัดปริมาณต่าง ๆ ที่เกิดจากปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก จะใช้กัลวานอมิเตอร์วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจร ซึ่งเกิดจากกระแสโฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron) เป็นอุปกรณ์แสดงผลไม่มีการควบคุมแต่อย่างใด ใช้มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขวัดค่าความต่างศักย์หยุดยั้ง สำหรับส่วนวัดค่าความต่างศักย์หยุดยั้ง ประกอบไปด้วยโดยตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ขนาด 20KΩ อนุกรมกับตัวต้านทานขนาด 100Ω ต่อกับแบตเตอรี่ขนาด 9V ควบคุมความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนดได้โดยหมุนเปลี่ยนความต่างศักย์จากซ้ายไปขวา โดยจัดเก็บหลอดสูญญากาศ วงจรไฟฟ้าต้านทาน และแบตเตอรี่ไว้ในกล่องเดียวกัน (Figure 3) จากการทดลองชุดทดลองดังกล่าวพบว่าเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ซึ่งยืนยันได้จากการที่สามารถวัดค่ากระแสโฟโตอิเล็กตรอนและวัดค่าความต่างศักย์หยุดยั้งได้

#### ผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก

เมื่อฉายแสงจากหลอดแอลอีดี สีต่าง ๆ ได้แก่สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง และสีแดง ที่มีความยาวคลื่นค่าตั้งแต่ 470 ถึง 631 nm ไปตกกระทบลงบนหลอดสูญญากาศที่บรรจุอยู่ในกล่องทึบแสง ที่มีช่องเปิดให้แสงผ่านเท่านั้น แล้วทำการวัดปริมาณต่าง ๆ ที่เกิดจากการทดลอง โดยใช้กัลวานอมิเตอร์กระแสโฟโตอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น และใช้มัลติมิเตอร์แบบตัวเลขวัดค่าความต่างศักย์หยุดยั้ง ได้ผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Table 1)

จากการทดลองปรากฏว่าชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างสามารถศึกษาปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกที่เกิดขึ้นได้โดยที่ความยาวคลื่นแสง

470 nm ซึ่งเกิดกระแสโฟโตอิเล็กตรอนมากที่สุดเฉลี่ย 8.33 μA จากการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง ความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย 0.943V รองลงมาความยาวคลื่นแสง 525nm กระแสโฟโตอิเล็กตรอนเฉลี่ย 4.50 μA ความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย 0.794V ความยาวคลื่นแสง 593nm กระแสโฟโตอิเล็กตรอนเฉลี่ย 1.83 μA ความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย 0.511V และน้อยสุดที่ความยาวคลื่นแสง 631 nm กระแสโฟโตอิเล็กตรอนเฉลี่ย 1.00 μA ความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ย 0.350V

หากพิจารณาผลของการแปรค่าความถี่ของหลอดแอลอีดี จะสังเกตได้ว่า กระแสโฟโตอิเล็กตรอนเฉลี่ย และ ความต่างศักย์หยุดยั้งเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนหลอดแอลอีดีให้มีความถี่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์หยุดยั้งที่วัดซ้ำในแต่ละความถี่ของหลอดแอลอีดีมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับความต่างศักย์หยุดยั้งจะได้กราฟดัง Figure 4

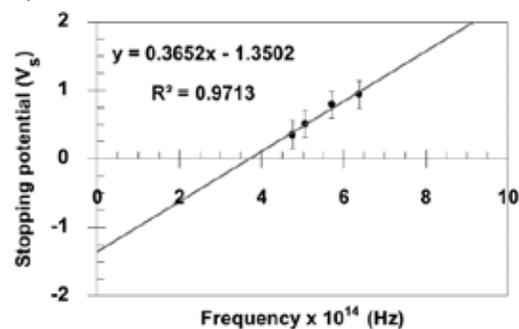


Figure 4 Frequency vary with stopping potential

จาก Figure 4 จะเห็นได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ของหลอดแอลอีดี สีต่าง ๆ กับความต่างศักย์หยุดยั้งนั้นเป็นลักษณะเชิงเส้น โดยที่มีสมการเป็น  $y = 0.3652x - 1.3502$  ซึ่งเมื่อนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองไปพิจารณาเทียบกับสมการเส้นตรงตามทฤษฎี ( $y = mx + c$ ) พบว่ามีความชันจากการทดลองเท่ากับ  $0.37 \times 10^{-14} \text{ J.s}$  แล้วนำไปแทนค่าในสมการที่ 1 เพื่อคำนวณหาค่าคงที่ของพลังค์ตามทฤษฎี ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $5.93 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  เมื่อนำมาเทียบกับค่ามาตรฐานของพลังค์  $6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10.46

**Table 1** The results of photoelectric effects from LEDs which different wavelengths

No.	Wavelength (nm)	Frequency ( $\times 10^{14}$ Hz)	Photo current ( $\mu\text{A}$ )	Stopping potential (V)	Average of Photo current ( $\bar{\mu\text{A}}$ )	Average of Stopping potential ( $\bar{V}$ )
1	470	6.38	9.0	0.951	8.33	0.943
2			8.0	0.932		
3			8.0	0.945		
1	525	5.71	5.0	0.804	4.50	0.794
2			4.0	0.784		
3			4.0	0.793		
1	593	5.06	1.9	0.521	1.83	0.511
2			1.8	0.503		
3			1.8	0.508		
1	631	4.75	1.0	0.371	1.00	0.350
2			1.0	0.337		
3			1.0	0.341		

### วิจารณ์และสรุปผล

ในส่วนการวิจารณ์จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ  
1. ส่วนของการวิจารณ์การออกแบบและสร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและ  
2. ส่วนของผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกโดยมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 จากผลวิจัยการออกแบบและสร้างชุดทดลอง เรื่องการออกแบบและสร้างชุดทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น ผลปรากฏว่าชุดทดลองดังกล่าวสามารถวัดปริมาณที่เกี่ยวข้องกับเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก ได้แก่ กระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์หยุดยั้งได้ เช่นเดียวกับชุดทดลองที่สร้างมาจากงานวิจัยอื่นๆ ก่อนหน้านี้ อีกทั้งชุดทดลองที่สร้างขึ้นใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ภายในประเทศ จึงมีต้นทุนต่ำ สามารถทดแทนการจัดซื้อชุดทดลองสำเร็จรูปจากต่างประเทศได้

ส่วนที่ 2 จากผลการทดลองปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกสังเกตว่าเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โดยเมื่อให้ความถี่แสงเพิ่มขึ้น กระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์

หยุดยั้งก็เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณทั้งสองแปรผันตรงกับความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีโฟโตอิเล็กทริก<sup>6</sup>

ค่าคงที่ของพลังค์ที่คำนวณได้จากการทดลองมีค่าเท่ากับ  $5.93 \times 10^{-34}$  J.s เทียบกับค่ามาตรฐานของพลังค์ที่มีค่าเท่ากับ  $6.626 \times 10^{-34}$  J.s พบว่ามีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10.46 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าผลการวิจัยของ Thurman (2011) ที่ได้ค่าคงที่ของพลังค์เท่ากับ  $5.6 \pm 0.5 \times 10^{-34}$  J.s ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 15.41 ส่วน Zhou & Cloninger (2008) ได้ทำการทดลอง พบว่า ค่าคงที่ของพลังค์อยู่ในช่วง  $5.77 - 7.67 \times 10^{-34}$  J.s ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 12.83 ในขณะที่ Checchetti & Fantini (2015) ทดลอง พบว่า ค่าคงที่ของพลังค์อยู่ในช่วง  $6.31 \times 10^{-34}$  J.s โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 4.18 ทั้งนี้การที่ชุดทดลองจากงานวิจัยนี้มีความคลาดเคลื่อนของค่าคงที่ของพลังค์น้อยกว่าชุดทดลองของผู้วิจัยอื่นเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ที่ได้ออกแบบไว้มีความละเอียด จึงทำให้การปรับค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอนโนดทำได้แม่นยำ



ในส่วนของการสรุปผลการวิจัยสามารถสรุปได้เป็นดังนี้คือ ชุดทดลองที่ออกแบบและสร้างเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกได้ตลอดจนสามารถวัดกระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์หยุดยั้งที่เกิดขึ้นจากชุดทดลองได้เมื่อเพิ่มความถี่ของแสงจากหลอดแอลอีดีพบว่า กระแสโฟโตอิเล็กตรอนและความต่างศักย์หยุดยั้งเพิ่มขึ้นค่าคงที่ของพลังค์ซึ่งได้จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีค่าเท่ากับ  $5.93 \times 10^{-34}$  J.s โดยมีความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10.46

### เอกสารอ้างอิง

1. วัลลภ จันทร์ตระกูล. (2529). การเลือกใช้และการสร้างสื่อการเรียนการสอน. วารสารครุศาสตร์กรุงเทพฯ : ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
2. ChecchettiA, FantiniA. Experimental Determination of Planck's constant using Light Emitting Diodes (LEDs) and Photoelectric Effect, World Journal of Chemical Education. 2015; 3:87-92.
3. Thurman Z. Selected Works of Zechariah Thurman, Determining planck's constant using LEDs. Available from: RL: [https://works.bepress.com/zechariah\\_thurman/2](https://works.bepress.com/zechariah_thurman/2) Accessed 20, 2016.
4. Zhou F, CloningerT. Computer-Based experiment for determining planck's constant using LEDs. The Physics Teacher. 2008; 46:413-415.
5. Garver WP. The photoelectric effect using LEDs as light sources, The Physics Teacher. 2006; 44:272-275.
6. Serway RA, Jewett JW. Physics : for scientists and engineers with modern physics. 8<sup>th</sup>ed. Belmont: Brooks/ColeCengage Learning; 2010.