



Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน (ASTC) ครั้งที่ 7

The 7th Academic Science and Technology Conference

นวัตกรรม

วิทยาศาสตร์พื้นฐาน

วิทยาศาสตร์ประยุกต์

วิทยาศาสตร์สุขภาพ

คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

บูรณาการ วิจัย และ นวัตกรรม เพื่อสร้างเสริมสุขภาพ

Health Promotion Through Research Integration and Innovation

7 มิถุนายน 2562

ณ อาคารพิมเนศ มหาวิทยาลัยรังสิต จ.ปทุมธานี



ชื่อเรื่องบทความวิจัย
กลุ่มวิทยาศาสตร์พื้นฐาน
Basic Science (BS)

รหัส	ชื่อเรื่อง	หน้า
BS-P27	การชะลอการเน่าของมะเขือเทศด้วยบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าวที่ผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	811
BS-P29	วิธีเชิงตัวเลขสำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์อันดับเศษส่วนโดยวิธีอาดามส์-แบชฟอร์ด	816
BS-P30	การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์จำนวนผู้โดยสารของสายการบินต้นทุนต่ำในประเทศไทย โดยใช้วิธี B-DES วิธี B-WEMA วิธี B-WEMA ร่วมกับ SARIMA และตัวแบบ SARIMA	825
BS-P31	การพยากรณ์ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยวิธีบอกซ์ – เจนกินส์ และวิธีการของวินเตอร์	844
BS-P32	การวัดความยาวคลื่นแสงเลเซอร์โดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม Mathcad และเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์อย่างง่าย	853

[BS-P32] การวัดความยาวคลื่นแสงเลเซอร์โดยการประมวลผลด้วยโปรแกรม Mathcad**และเทคนิคสเปกโตรมิเตอร์อย่างง่าย****Laser Wavelength Measurement by Mathcad-processing
and Simple Spectrometer Technique**

คณิต ทองพิสิฐสมบัติ และ ศตายุ สุวรรณะโสภณ*

Kanit Thongpisisombat and Satayu Suwannasophon*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

*ผู้ประสานงานหลัก อีเมล: satayu.suw@siam.edu**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ด้วยวิธีที่แตกต่างกันสองวิธีได้แก่ ในการใช้โปรแกรม Mathcad และการใช้เทคนิคสเปกโตรมิเตอร์อย่างง่ายที่ประยุกต์เข้ากับโปรแกรม Theremino spectrometer V2.3 เพื่อคำนวณค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์มาตรฐาน 3 ชนิด ได้แก่ ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (He-Ne), เลเซอร์พอยเตอร์สีน้ำเงิน และสีเขียว โดยการทดลองวิธีที่ 1 ฉายแสงผ่านสลิตเดี่ยว (เส้นผ่านศูนย์กลางช่องเปิด 0.08 mm) และบันทึกภาพโดยกล้อง Charge couple device (CCD) และประมวลผลด้วยโปรแกรม Mathcad จากนั้นทำการทดลองวิธีที่ 2 โดยติดตั้งชุดสเปกโตรมิเตอร์แทนที่ตำแหน่งของสลิตเดี่ยว และคำนวณค่าด้วยโปรแกรม Theremino spectrometer V2.3 ผลการทดลองแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นแสงจากการทดลองเทียบกับค่าความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน พบว่าเลเซอร์สีเขียวมีค่าคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ได้แก่ 0.57% และ 1.34% ตามลำดับ โดยให้ผลการทดลองวิธีที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานมากกว่าวิธีที่ 2

คำสำคัญ: การวัดความยาวคลื่น, โปรแกรม Mathcad, โปรแกรม Theremino, สเปกโตรมิเตอร์

Abstract

The research aims at studying the wavelength measurement by using two different experimental methods: 1. Mathcad processing method and 2. Theremino spectrometer V2.3 software method for three different standard laser sources: He-Ne laser, blue and green laser pointer were studied. The 1st method, the laser wavelength were measured by diffraction pattern images from a single slit (0.08 mm width) which captured by Charge couple device (CCD) camera and calculated by Mathcad. The 2nd method, a single slit was replaced by a simple spectrometer and calculated the diffraction spectrum of light by Theremino spectrometer V2.3 software. The measurement results showed that the lowest percentage error from the first and second method compared with the standard values is green laser pointer is 0.57 and 1.34% respectively. Furthermore, the results showed that the 1st method is close to the standard value than the 2nd method.

Keywords: wavelength measurement, Mathcad, Theremino, spectrometer

บทนำ

การศึกษาสมบัติและพฤติกรรมของแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่น 400 – 700 nm ในปัจจุบัน ถือเป็นเรื่องใกล้ตัวและมีความจำเป็นต่อการการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ในธรรมชาติอย่างสูง เริ่มตั้งแต่การศึกษาฟิสิกส์เชิงแสงแบบพื้นฐาน (Optical Physics) ไปจนถึงการศึกษาฟิสิกส์ระดับดวงดาว (Astrophysics) โดยการเลี้ยวเบนของแสงถือเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ใช้ศึกษา ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และเพิ่มความเข้าใจมากยิ่งขึ้น นัทซาริน และคณะ⁽¹⁾ เสนอการสอนหลักการเรื่องการแทรกสอดและเลี้ยวเบนของแสงโดยการทดลองผ่านกระบวนการสอนแบบสืบเสาะให้นักเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ที่ดีขึ้นกว่าการสอนบรรยายแบบเดิม ในการทดลองของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล⁽²⁾ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์⁽³⁾ และ Massachusetts Institute of Technology⁽⁴⁾ ที่ใช้ศึกษาหาค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียว (monochromatic laser) โดยการฉายแสงผ่านสลิตเดี่ยว (single slit) กว้าง a แสงจะเกิดการเลี้ยวเบนและตกกระทบบนฉากซึ่งห่างออกไปเป็นระยะ D เกิดเป็นแถบสว่างสลับมืดบนฉากหลัง โดยวัดระยะห่างระหว่างแถบสว่างกลางถึงแถบสว่างลำดับถัดไปทั้งสองข้าง ใช้ดินสอขีดบอกตำแหน่งและวัดระยะห่างดังกล่าวด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ บันทึกเป็นค่า x แล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาค่าความยาวคลื่นแสงด้วยสมการที่ (1)

$$a(\Delta x / D) = n\lambda \quad (1)$$

โดย a คือความกว้างของช่องเปิดเดี่ยว

Δx คือระยะห่างแถบสว่างกลางถึงแถบสว่างลำดับถัด

และ D คือระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงถึงฉากรับภาพ

พบว่าวิธีทดลองดังกล่าวอาศัยการวัดและประมาณค่าด้วยสายตา รวมถึงข้อจำกัดจากการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองที่ต้องการความละเอียดแม่นยำสูง ส่งผลให้การทดลองเพื่อคำนวณค่าความยาวคลื่นแสงมีโอกาสดังกล่าวเกิดขึ้นได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบข้อผิดพลาดอื่น ๆ จากการทดลองด้วยวิธีดังกล่าว ได้แก่ การศึกษาของจุมพล และคณะ⁽⁵⁾ ที่วัดความยาวคลื่นแสงฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ ที่ฉายตกกระทบบนแล้วเกิดการเลี้ยวเบนออกจากไม้บรรทัดเหล็กซึ่งวางเอียงทำมุม θ กับแนวระดับ แสงจะเกิดการเลี้ยวเบน ปรากฏเป็นจุดสว่างบนกระดาษที่ติดบนฉาก วัดความห่างระหว่างจุดสว่างดังกล่าวแล้วนำไปคำนวณหาค่าความยาวคลื่นแสงได้ แต่ถ้ามุม θ เพิ่มขึ้นระยะห่างของจุดสว่างจะอยู่ใกล้กันจนไม่สามารถแยกได้ชัดเจนและทำให้การทดลองเกิดข้อผิดพลาดขึ้น

ดังนั้นเพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าว ผู้ทำการวิจัยจึงเสนอวิธีการทดลองแบบใหม่เพื่อใช้ในวัดค่าได้อย่างแม่นยำและน่าสนใจมากขึ้นได้แก่ การใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับการประมวลผลด้วยภาพถ่าย และการประยุกต์ใช้โปรแกรม Mathcad คำนวณหาความยาวคลื่นแสง และการประยุกต์ใช้ชุดเครื่องวัดความยาวคลื่นแสงหรือสเปกโตรมิเตอร์ (spectrometer) อย่างง่าย โดยการประยุกต์ใช้กล้อง Charge couple device (CCD) ร่วมกับซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่มีประสิทธิภาพสูง และไม่เสียค่าใช้จ่าย (freeware) ในการนำมาใช้งาน ซึ่งได้แก่โปรแกรม Theremino spectrometer V2.3 (สามารถทำการ download ได้ในอินเทอร์เน็ต) โดยโปรแกรมนี้สามารถวัดค่าความยาวคลื่นแสงได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ มีความหลากหลายในการประยุกต์ใช้กับหลายๆ ระบบปฏิบัติการ แต่เป็นที่รู้จักเฉพาะในกลุ่มผู้ศึกษาด้านฟิสิกส์เชิงแสง ดังนั้นเพื่อความหลากหลายในการเรียนการสอน และเพื่อเพิ่มองค์ความรู้ด้านโปรแกรมที่ใช้ศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ โปรแกรมนี้จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนวิชาฟิสิกส์ปฏิบัติการควบคู่ไปกับการทดลองโดยวิธีพื้นฐาน ทั้งยังสามารถใช้วัดค่าความยาวคลื่นแสงแทนการใช้ spectrometer ตามท้องตลาดที่มีราคาค่อนข้างสูง

การศึกษาการวัดความยาวคลื่นแสงทั้งสองการทดลองนี้ใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 ชนิด ได้แก่แสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์ และ laser pointer สีน้ำเงินและสีเขียว เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดความยาวคลื่นที่ได้ และเพื่อศึกษาเทคนิคการอ่านค่าและทำการวัดความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ได้อย่างถูกต้องและหลากหลายมากขึ้น ทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตชุดสเปกโตรมิเตอร์ที่มีต้นทุนต่ำ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นการนำเสนออีกรูปแบบหนึ่งที่ดึงความสนใจให้นักศึกษาเพิ่มขึ้น

สเปกโตรมิเตอร์ (spectromerter)

สเปกโตรมิเตอร์⁽⁶⁾ คือเครื่องมือที่ใช้แยกและวัดความยาวคลื่นหรือองค์ประกอบของแสงนั้นๆ ซึ่งสามารถใช้ศึกษาได้ทั้งคลื่นแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นค่าเดียว หรือเป็นแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีช่วงความยาวคลื่นแสงหลายค่าผสมกันอยู่ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยช่วงความยาวคลื่นแสงจะถูกแยกออกเป็นความยาวคลื่นของแสงที่แตกต่างกัน เรียกว่า สเปกตรัม (spectrum) เช่น แสงขาว (white light) ถือเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีสเปกตรัมตั้งแต่ 190 ถึง 800 nm เคลื่อนที่ตกกระทบกับปริซึม หรือเกรตติง (grating) ทำมุมต่างๆกันตามขนาดความกว้างของร่องเล็กๆขนานกันจำนวนมาก (fringes) ภายในเกรตติง และเกิดการหักเห (refraction) และเลี้ยวเบน (diffraction) ออกในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของแสงนั้น โดยสามารถคำนวณหาความยาวคลื่นแสงที่ถูกแยกออกแล้ว ได้จากสมการที่ (2)

$$m\lambda = d \sin \theta ; m=1,2,3,\dots, \quad (2)$$

โดย d คือความกว้างของร่องเล็กๆของเกรตติง

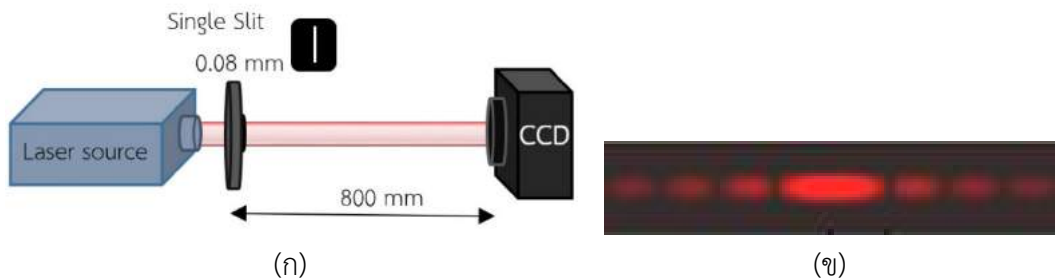
θ คือมุมที่กระทำกับแนวราบที่จุดกึ่งกลางระหว่าง

และ m คือลำดับการเลี้ยวเบน

วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองหาความยาวคลื่นแสงภายในห้องมืดที่อุณหภูมิห้องใช้แหล่งใช้แหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันสามชนิดความยาวคลื่น ได้แก่ฮีเลียมนีออนเลเซอร์ (He-Ne laser), laser pointer แสงน้ำเงิน, สีเขียว ได้แก่ 633 nm, 405 nm และ 523 nm ตามลำดับ ซึ่งทั้งสามชนิดเป็นเลเซอร์มาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์เชิงแสง และทำการทดลองด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี ได้แก่

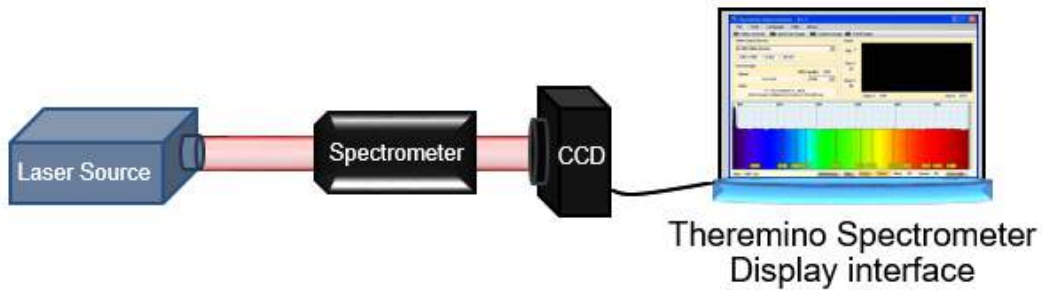
1. การวัดความยาวคลื่นแสงจากภาพถ่ายและประมวลผลด้วยโปรแกรม Mathcad โดยการศึกษาของ คณิต และคณะ⁽⁷⁾ ซึ่งวิธีนี้จะใช้ภาพแถบการเลี้ยวเบนของแสงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ผ่านสลิตเดี่ยวกว้าง 0.08 mm ติดตั้งบนรางทดลองยาว 1 m บนที่ภาพแถบการเลี้ยวเบนด้วยกล้อง CCD ดังภาพที่ 1 (ก) และนำภาพถ่ายที่ได้ดังภาพที่ 1 (ข) เข้าสู่การประมวลผลด้วยโปรแกรม Mathcad เพื่อคำนวณค่าความยาวคลื่นแสงทั้งสามความยาวคลื่น



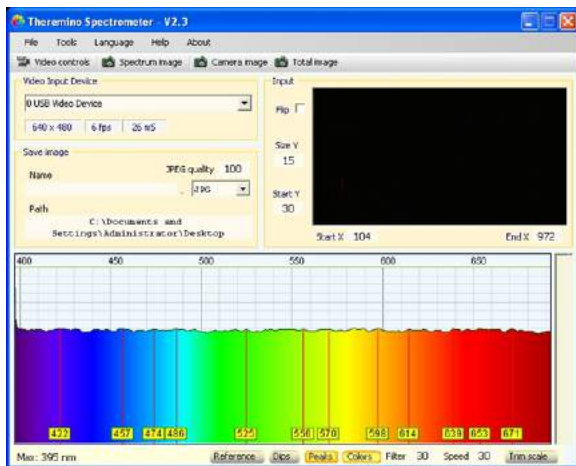
ภาพที่ 1 (ก) แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองการหาความยาวคลื่นแสงด้วยวิธีที่ 1 และ

(ข) ภาพตัวอย่างการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์สีแดงที่ได้จากกล้อง CCD

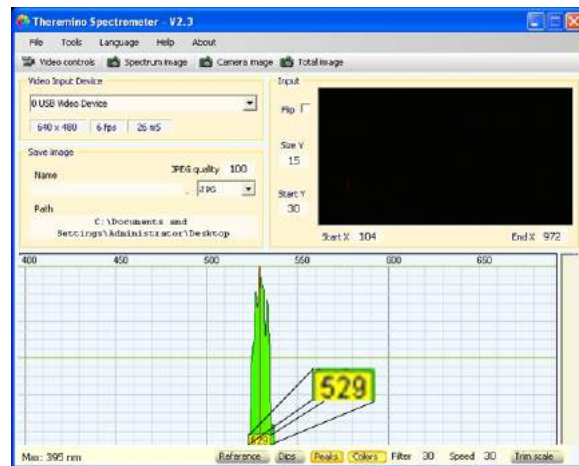
2. การวัดความยาวคลื่นแสงด้วยชุดสเปกโตรมิเตอร์ที่ประยุกต์เข้ากับโดยกล้อง CCD ที่ใช้รับภาพและนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB (โดยนำไปติดตั้งแทนที่ในตำแหน่งของสลิตเดี่ยวในการทดลองวิธีที่ 1) โดยมีโปรแกรม Theremino spectrometer V2.3 อ่านค่าและประมวลผลแสงจากแหล่งกำเนิดที่ตกกระทบบนกล้อง ดังภาพที่ 2 จากนั้นเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์และทำการทดลองซ้ำจนครบ โดยโปรแกรม Theremino Spectrometer จะอ่านค่าความยาวคลื่นแสงที่วัด และแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างการวัดความยาวคลื่นของ laser pointer แสงสีเขียวมีค่า 529 nm



ภาพที่ 2 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองการหาความยาวคลื่นแสงด้วยวิธีที่ 2 โดยการเชื่อมต่อชุดทดลองเข้ากับโปรแกรม Theremino spectrometer V2.3 ผ่านทางพอร์ต USB



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 แสดงภาพตัวอย่างผลการวัดค่าความยาวคลื่นแสงด้วยโปรแกรม Theremino spectrometer โดย

(ก) คือสเปกตรัมของแสงขาวและ (ข) คือค่าความยาวคลื่นที่วัดได้ของแสงเลเซอร์สีเขียว

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการทดลองหาค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ ใช้แหล่งกำเนิดแสงฮีเลียมนีออนเลเซอร์, Laser pointer แสงน้ำเงิน, สีเขียว ที่ความยาวคลื่นมาตรฐาน 633 nm, 405 nm และ 523 nm ตามลำดับ โดยทั้ง 2 วิธีได้ผลดังนี้

1. การวัดความยาวคลื่นแสงจากภาพถ่ายที่ผ่านสลิตเดี่ยวมีลักษณะเป็นช่องเปิดตามแนวตั้ง พบว่าความเข้มแสงของแถบสว่างด้านข้างจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับแถบสว่างกลาง เมื่อนำภาพที่แถบการเลี้ยวเบนที่บันทึกได้ด้วยกล้อง CCD ไปคำนวณค่าความคลืนแสงเลเซอร์ด้วยโปรแกรม Mathcad พบว่าค่าความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 ชนิด มีค่าความยาวคลื่น 636 nm, 399 nm และ 526 nm ตามลำดับ

2. การวัดความยาวคลื่นแสงด้วยชุดสเปกโตรมิเตอร์ที่ประยุกต์เข้ากับโดยกล้อง CCD ที่ใช้รับภาพและนำเข้าสู่โปรแกรม Thermano spectrometer V2.3 เพื่ออ่านค่าและประมวลผลแสงที่ตกกระทบบนกล้อง โดยการศึกษาใช้ค่ามาตรฐานของโปรแกรม (default setting) และไม่มีการปรับแก้ไขในโหมดวิดีโอคอนโทรลใดๆ พบว่าค่าความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ทั้ง 3 ชนิด มีค่าความยาวคลื่น 610 nm, 395 nm และ 529 nm ตามลำดับ

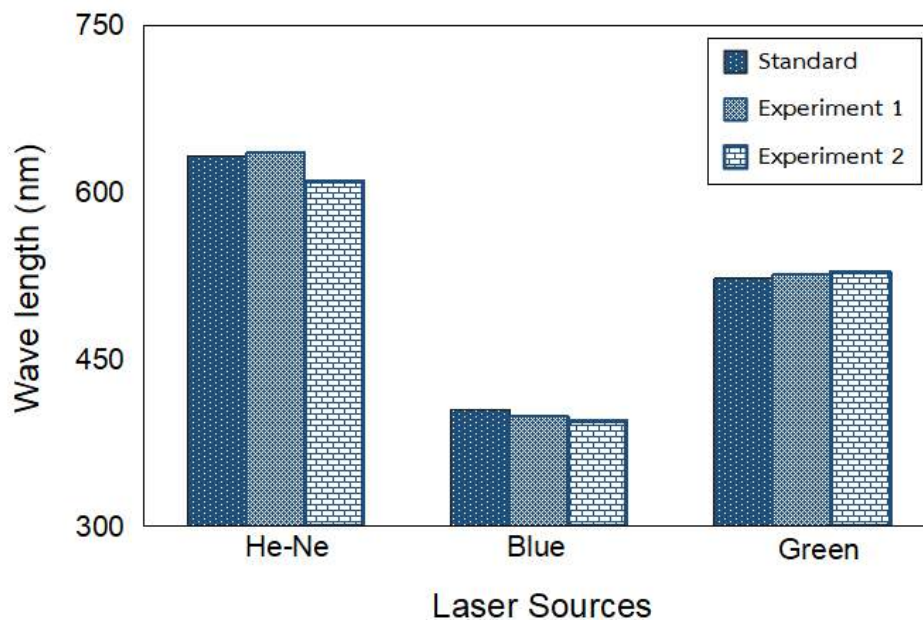
ตารางที่ 1 แสดงค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์ระหว่างค่ามาตรฐาน (λ มาตรฐาน) และค่าที่ได้จากการทดลอง (λ จากการทดลอง_{1,2})

แหล่งกำเนิดแสง	λ มาตรฐาน (nm)	λ การทดลอง 1 (nm)	λ การทดลอง 2 (nm)
He-Ne เลเซอร์	633	636	610
Laser pointer แสงสีน้ำเงิน	405	399	395
Laser pointer แสงสีเขียว	523	526	529

เมื่อเปรียบเทียบค่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นแสงได้จากการทดลองด้วยวิธีที่ 1 และ 2 กับค่าความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน พบว่าค่าความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองวิธีที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแสงเลเซอร์ทั้ง 3 ชนิด ต่ำกว่าความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองวิธีที่ 2 ซึ่งเป็นผลการการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองที่มีความซับซ้อนและต้องการความละเอียดและแม่นยำที่สูงกว่าการทดลองวิธีที่ 1 เช่นขณะที่ทำการทดลองด้วยวิธีที่ 2 ห้องทดลองหรือบริเวณชุดสเปกโตรมิเตอร์ต้องมีดสนิท เพราะหากมีแสงลอดผ่านเข้ามาในห้องมืดเพียงเล็กน้อย จะมีผลต่อค่าที่วัดทันที อันเนื่องจากความไวต่อแสงที่ตกกระทบของตัวโปรแกรม ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ยากจะควบคุมเพื่อให้ได้ผลที่แม่นยำ เมื่อต้องทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ λ การทดลอง 1 และ λ การทดลอง 2 เทียบกับค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์มาตรฐาน

ชนิดของแหล่งกำเนิดแสง	% ความคลาดเคลื่อน	
	λ การทดลอง 1	λ การทดลอง 2
He-Ne เลเซอร์	0.47	3.63
Laser pointer แสงสีน้ำเงิน	1.48	2.46
Laser pointer แสงสีเขียว	0.57	1.34



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์มาตรฐาน 3 แหล่งกำเนิดเทียบกับค่าจากการทดลองทั้ง 2 วิธี

สรุป

การทดลองหาค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์มาตรฐานสมชนิด ได้แก่ฮีเลียมนีออนเลเซอร์, Laser pointer แสงน้ำเงิน และ สีเขียว ที่มีความยาวคลื่น 633 nm, 405 nm และ 523 nm ตามลำดับ เทียบกับค่าที่ได้จากผลการทดลองวิธีที่ 1 ได้แก่วิธีการวัดความยาวคลื่นแสงจากภาพถ่ายและประมวลผลด้วยโปรแกรม Mathcad พบว่าค่าความยาวคลื่นแสงทั้งสามชนิด มีค่า 636 nm, 399 nm และ 526 nm ตามลำดับ ขณะที่ค่าความยาวคลื่นแสงที่ได้จากการทดลองวิธีที่ 2 ได้แก่วิธีการวัดความยาวคลื่นแสงด้วยชุดสเปกโตรมิเตอร์ที่ประยุกต์เข้าโปรแกรม Theremino spectrometer มีค่า 610 nm, 395 nm และ 529 nm ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นแสงได้จากการทดลองด้วยวิธีที่ 1 และ 2 กับค่าความยาวคลื่นแสงมาตรฐาน พบว่าเลเซอร์สีเขียวมีค่าคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ได้แก่ 0.57%, 1.34% ตามลำดับ และผลการทดลองวิธีที่ 1 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองวิธีที่ 2

เอกสารอ้างอิง

1. นันทาริน อาษาธง, มยุรี หาญสุภานุสรณ์, แสงกฤษ กลั่นบุศย์. การสอนหลักการเรื่องการแทรกสอดและเลี้ยวเบนของแสงโดยการทดลองผ่านกระบวนการสอนแบบสืบเสาะให้นักเรียนในวิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53 วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2558. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; 2558. หน้า 330-7.
2. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. การทดลองที่ 3 Diffraction at a slit and Heisenberg's uncertainty principle [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 10 มี.ค. 2561] เข้าถึงได้จาก: www.sc.mahidol.ac.th/scpy/...10/LabY3.1-2010-Lab3-Heisenberg_uncertainty.pdf

3. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คู่มือปฏิบัติการฟิสิกส์ II. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ; 2549. หน้า 101-5.
4. Department of Physics. Massachusetts Institute of Technology. Experiment 9: Interference and Diffraction [Internet]. 2006 [cited March 5, 2018]. Available from: <https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-02-physics-ii-electricity-and-magnetism-spring-2007/experiments/experiment9.pdf>
5. จุมพล ขอบขำ, ศราวุธ มีเครือ, ศิรินุช จินดารักษ์ และชโนภาส ชนลักษณะดาว. การวัดความยาวคลื่นของแสงฮีเลียม-นีออน เลเซอร์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบน. NU Science Journal 2547; 1(2): 53-60.
6. David Halliday, Robert Resnick, Kenneth S. Krane. Physics Volume 2. 4th ed. John Wiley and Sons, Inc.
7. คณิต ทองพิสิฐสมบัติ, ศตายุ สุวรรณะโสภณ. การใช้โปรแกรม Mathcad เพื่อหาค่าความยาวคลื่นแสงเลเซอร์จากการเลี้ยวเบน. ใน: เอกสารประกอบการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 6 วันที่ 6 มิถุนายน 2561. มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ (พื้นที่ส่วนขยาย มฉก. 2). สมุทรปราการ; 2561. หน้า 155-9.



The 7th Academic Science and Technology Conference

Health Promotion Through Research Integration and Innovation

Student Center, Rangsit University

7th June 2019

www.astcconference.com

