การทดลองที่ 6. สเปกโตรมิเตอร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง
2. เพื่อหาความยาวคลื่นสเปกตรัมสีต่าง ๆ ในชุดสเปกตรัมของแสงจากหลอดแคดเมียม

ทฤษฎี

สเปกโตรมิเตอร์(spectrometer)

สเปกโตรมิเตอร์เป็นเครื่องมือสำหรับศึกษาสเปกตรัมโดยวัดตำแหน่งมุมที่เป็นสเปกตรัมหักเหหรือเบี่ยงเบนไปจากแนวการเดินทางเดิมของแสง สเปกโตรมิเตอร์จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก คือ กล้องคอลลิเมเตอร์ (Collimator), กล้องเทเลสโคป (Telescope), แท่นจับเกรตติง (Gratting holder) และเวอร์เนียร์วัดมุม (vernier bevel protractor) ดังรูปที่ 6.1

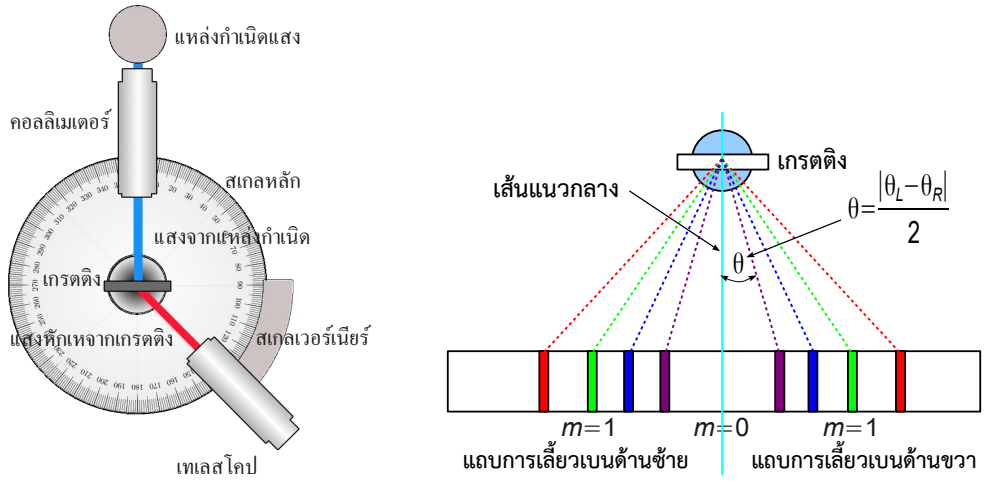
รูปที่ 6.1 ส่วนประกอบของสเปกโตรมิเตอร์

กล้องคอลลิเมเตอร์ ประกอบด้วยสลิต (Slit) มีปุ่มปรับขนาดของช่องเปิดที่จะอนุญาตให้แสงจากแหล่งกำเนิดผ่านและอยู่ด้านหลังเลนส์รวมแสง เมื่อระยะห่างระหว่างสลิตและเลนส์รวมแสงมีค่าเท่ากับความยาวโฟกัสของเลนส์รวมแสง แสงจากสลิต (ประพฤติเป็นแหล่งกำเนิดแสง) ที่หักเหผ่านเลนส์รวมแสงออกมาจะเป็นแสงขนาน ส่วนกล้องเทเลสโคป ประกอบเลนส์วัตถุและเลนส์ตา ซึ่งเลนส์ทั้งสองสามารถเลื่อนปรับระยะห่างได้ ที่เลนส์ตาจะมีเส้นตั้งฉาก (cross-wires) ติดอยู่เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการกำหนด

ตำแหน่งที่จะอ่านค่ามุมของแสงหักเห เมื่อเลนส์วัตถุและเลนส์ตามีระยะห่างที่เหมาะสม เลนส์วัตถุจะรับแสงขนานจากเลนส์รวมแสงที่มาตกกระทบ นั่นคือ กล้องเทเลสโคป จะทำหน้าที่เป็นกล้องโทรทัศน์ นอกจากนี้ กล้องเทเลสโคปสามารถเคลื่อนได้รอบตัวอิสระจากเวอร์เนียร์วัดมุม เพื่อสามารถเลื่อนไปยังตำแหน่งสเปกตรัมที่ต้องการอ่านค่ามุมเลี้ยวเบน

การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง

เกรตติงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเกรตติงแบบส่งผ่าน ทำจากแผ่นแก้วใส โดยการขีดแผ่นแก้วให้เป็นรอยตรงและขนานกัน มีระยะห่างเท่าๆ กัน จำนวนหลายๆ เส้นในช่วงหนึ่งหน่วยความยาว ตรงที่เป็นรอยขีดจะเป็นบริเวณที่กันแสง ส่วนผิวเรียบที่อยู่ระหว่างรอยขีดจะทำหน้าที่เหมือนสลิตให้แสงผ่านไปได้ เมื่อแสงจากแหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ผ่านเกรตติง จะเกิดการเลี้ยวเบนทำให้เห็นสเปกตรัมของแสงเมื่อมองผ่านกล้องเทเลสโคป ซึ่งการเลี้ยวเบนนี้จะเกิดขึ้นในลักษณะสมมาตรทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของแนวทางเดินแสงจากแหล่งกำเนิดที่ไม่เกิดการเลี้ยวเบน (แนวตรง) ดังรูป 6.2



รูปที่ 6.2 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง (a) การปรับตำแหน่งกล้องเทเลสโคปเพื่ออ่านค่ามุมเลี้ยวเบนของสเปกตรัมสีต่างๆ (b) สเปกตรัมที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของแสงจากหลอดแคดเมียมผ่านเกรตติง

จากรูปที่ 6.2ก เกรตติงที่จำนวนเส้นต่อความยาว (N) แต่ละเส้นของเกรตติงมีความกว้าง d โดยที่ $d = \dfrac{1}{N}$ และในระบบ SI d มีหน่วยเป็น เมตร (m) เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่น λ เดินทางผ่านเกรตติงแล้วเกิดการเลี้ยวเบน เมื่อพิจารณาตำแหน่งที่แสงเลี้ยวเบนออกจากแนวการเคลื่อนที่เดิมที่ไม่เกิดการเลี้ยวเบนหรือแนวกลางมีความเข้มสูงสุด จะได้ความสัมพันธ์ เป็น

$$d \sin\theta_m = m\lambda \tag{6.1}$$

เมื่อ m คือ ลำดับของการเลี้ยวเบน เป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่าเป็น $0, 1, 2, 3, \ldots$

θ_m คือ มุมในการเลี้ยวเบนของแสง ลำดับที่ m

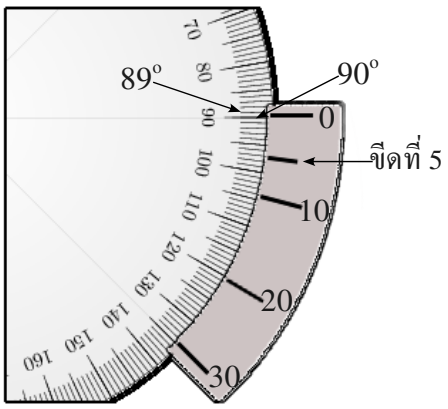
สมการ (6.1) เรียกว่า *สมการเกรตติง* เมื่อเขียนสมการ (6.1) ใหม่เพื่อหาความยาวคลื่น (λ) ของแสง จะได้

$$\lambda = \frac{d \sin \theta_m}{m} \tag{6.2}$$

สมการ (6.2) เป็นสมการที่ใช้คำนวณค่าความยาวคลื่นของเส้นสเปกตรัมสีต่างๆ โดยแต่ละลำดับของการเลี้ยวเบน เช่น $m = 1$ คือ สเปกตรัมชุดที่ 1 และ $m = 2$ คือ สเปกตรัมชุดที่ 2 เป็นต้น แต่ละชุดจะมีทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของแนวกลาง ชุดที่อยู่ใกล้แนวกลางที่สุด คือ ชุดที่ $m = 1$ และค่า m จะเพิ่มขึ้นเมื่อเกิดการเลี้ยวเบนห่างออกไปตามลำดับ และนอกจากนั้นในแต่ละชุดของการเลี้ยวเบนสามารถมีสเปกตรัมได้หลายสีขึ้นอยู่กับแสงจากแหล่งกำเนิด

การอ่านเวอร์เนียร์วัดมุม

1. อ่านค่ามุมบนสเกลหลักซึ่งอยู่บนจานซึ่งยึดอยู่กับที่ โดยใช้ขีดศูนย์บนสเกลเวอร์เนียเป็นตัวชี้ อ่านค่าในหน่วยองศา (°) ดังรูปที่ 6.3 ขีด 0 บนสเกลเวอร์เนียร์ชี้ระหว่างตำแหน่ง 89° และ 90° ดังนั้นจึงบันทึกค่าเป็น 89 องศา (89°)



ขีด 0 ของสเกลเวอร์เนียร์อยู่ระหว่าง 89° และ 90°
ขีดที่ 5 บนสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับสเกลหลัก
ดังนั้นจึงอ่านได้ว่า
89 องศา 5 ลิปดา (89° 5′) หรือ
89.08°

รูปที่ 6.3 การอ่านเวอร์เนียร์วัดมุม

2. อ่านค่ามุมละเอียดบนสเกลเวอร์เนียร์ โดยให้หาตำแหน่งที่ขีดบนสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดบนสเกลหลักที่สุด อ่านค่าในหน่วยลิปดา (′) ซึ่งมีเงื่อนไขเพิ่มเติม คือ
   ก. เมื่อขีด 0 บนสเกลเวอร์เนียชี้ไม่ถึงครึ่งหนึ่งของค่ามุมบนสเกลหลัก ขีดบนสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดบนสเกลหลักที่สุดสามารถอ่านค่าได้ทันที ดังในรูปที่ 6.3 หากขีด 0 ไม่ถึงขีดแบ่งครึ่งระหว่าง 89° และ 90° และขีดบนสเกลเวอร์เนียร์ที่ตรงกับขีดบนสเกลหลักที่สุด คือ ขีดที่ 5 ดังนั้นจึงอ่านค่าได้เท่ากับ 5 ลิปดา (5′)
   ข. เมื่อขีด 0 บนสเกลเวอร์เนียชี้เกินครึ่งหนึ่งของค่ามุมบนสเกลหลัก ขีดบนสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดบนสเกลหลักที่สุดก่อนที่จะบันทึกค่าตัวบวกเพิ่มอีก 30 ลิปดา (30′) ดังในรูปที่ 6.3 หากขีด 0 เกินขีดแบ่งครึ่งระหว่าง 89° และ 90° และขีดบนสเกลเวอร์เนียร์ที่ตรงกับขีดบนสเกลหลักที่สุด คือ ขีดที่ 5 ดังนั้นจึงอ่านค่าได้เท่ากับ $30 + 5 = 35$ ลิปดา (35′)

3. เมื่อต้องการบันทึกมุมในหน่วยองศาเท่านั้น มีวิธีการคำนวณ คือ

$$\text{มุมในหน่วยองศา} = \text{ค่ามุมที่อ่านบนสเกลหลัก} + \frac{\text{ค่ามุมในหน่วยลิปดา}}{60}$$

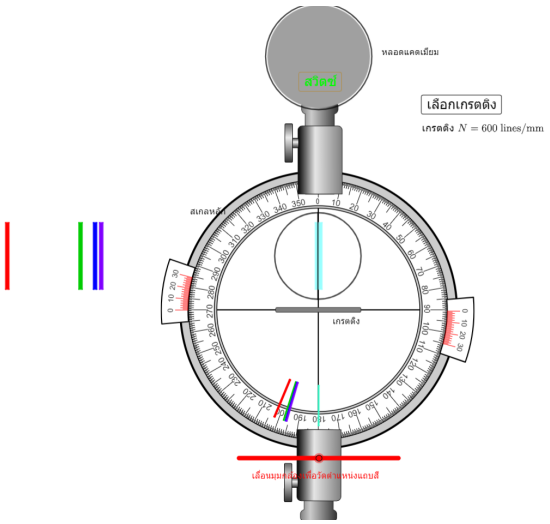
ผลที่ได้บันทึกโดยใช้ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

อุปกรณ์การทดลอง

1. สเปกโตรมิเตอร์ (Spectrometer)
2. หลอดแคดเมียม (Cadmium light source)
3. เกรตติง (Gratting)

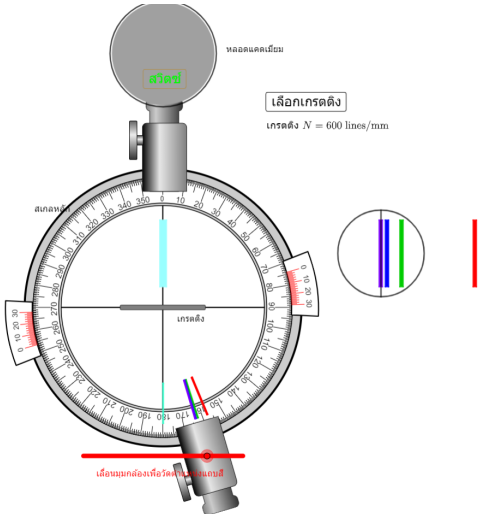
วิธีการทดลอง

1. คลิ๊กลิงค์ https://www.geogebra.org/m/ht93sjuj คลิ๊กที่ปุ่ม **เลือกเกรตติง** เพื่อเลือกเกรตติงที่จะใช้ในการทดอลง อ่านค่าจำนวนเส้นต่อความยาว (N) แล้วคำนวณความกว้างของช่องเกรตติง (d) บันทึกค่า N และค่า d
2. คลิ๊ก **สวิตซ์** เพื่อเปิดแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งได้ผลดังรูปที่



รูปที่ 6.4 การจัดอุปกรณ์การทดลองการเลี้ยวเบนของเส้นสเปกตรัมจากหลอดแคดเมียม

3. เลื่อนตำแหน่งกล้องเพื่ออ่านตำแหน่งมุมเลี้ยวเบนของเส้นสเปกตรัมสีม่วงในการเลี้ยวเบนลำดับที่ 1 ($m = 1$) ทั้งด้านซ้าย (θ_L) และด้านขวา (θ_R) โดยให้เส้นสีดำแนวตั้งในวงกลม ซึ่งแทนภาพที่เห็นจากกล้องของสเปกโทรมิเตอร์จริงในห้องปฏิบัติการอยู่ตรงกลางของแถบสี ดังรูปที่ 6.5 อ่านตำแหน่งมุมเลี้ยวเบนทั้งค่าจากสเกลหลักและสเกลเวเนียร์ ซึ่งต้องเลือกใช้เวอร์เนียด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวเท่านั้น



รูปที่ 6.5 การจัดอุปกรณ์การทดลองการเลี้ยวเบนของเส้นสเปกตรัมจากหลอดแคดเมียม

หากเลื่อนกล้องไปด้านขวามือ มุมที่อ่านได้กำหนดเป็น θ_R และหากกล้องเลื่อนไปทางซ้ายมือ ตำแหน่งมุมที่อ่านได้กำหนดเป็น θ_L และคำนวณมุมเลี้ยวเบนของเส้นสเปกตรัมจาก $\theta = \dfrac{|\theta_L - \theta_R|}{2}$

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 3 แต่เปลี่ยนเป็นสเปกตรัมของแสงสีน้ำเงิน, เขียวและแดงตามลำดับ
5. คำนวณความยาวคลื่นของแสงแต่ละสีโดยใช้สมการที่ (6.2) หลังจากนั้นคำนวณเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่ได้จากการทดลองโดยเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดให้ คือ

สเปกตรัม	สีแดง	ความยาวคลื่นเท่ากับ 643.80 นาโนเมตร
	สีเขียว	ความยาวคลื่นเท่ากับ 508.36 นาโนเมตร
	สีน้ำเงิน	ความยาวคลื่นเท่ากับ 480.00 นาโนเมตร
และ	สีม่วง	ความยาวคลื่นเท่ากับ 467.80 นาโนเมตร

6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง