



บทที่ 10 แสงเชิงคลื่น

10.1 แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.1 แนวคิดเกี่ยวกับแสงเชิงคลื่น

1. พฤติกรรมใดที่แสดงการเป็นแสงเชิงคลื่น

2. มนุษย์สามารถรับรู้คลื่นแสงได้อย่างไร



10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

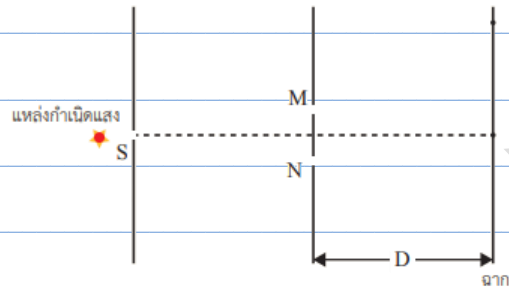
1. การทดลองเรื่องของการแทรกสอดของธอมัส เมื่อประมาณ 200 ปีมาแล้ว เป็นการสนับสนุนแนวคิดเกี่ยวกับเรื่องใด

2. ถ้ากำหนดให้ระยะทาง S_1P และ S_2P เท่ากับ 125λ และ 120λ ตามลำดับ ความต่างเฟสของคลื่นสองขบวนนี้ที่ตำแหน่ง P เป็นเท่าใด (2π)





3. รูปแสดงแผนภาพการทดลองการแทรกสอดของยัง ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแสงส่องผ่านสลิตเดี่ยว S และผ่านสลิตคู่ M กับ N ไปตกกระทบบนฉากซึ่งห่างจากสลิตคู่ M และ N เป็นระยะ D ถ้าแนวแบ่งครึ่ง MN ผ่านฉากที่ตำแหน่ง G และแสงมีความยาวคลื่น λ ถ้า K เป็นจุดๆ หนึ่งบนฉากที่ทำให้ $NK - MK = \frac{\lambda}{2}$

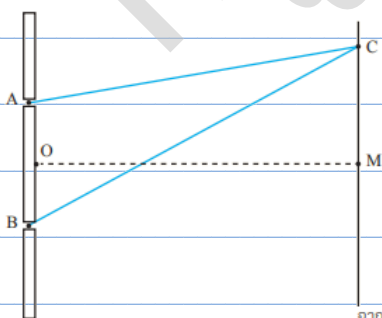


รูป สำหรับปัญหาข้อ 3

ก. ภาพที่ปรากฏบนฉากที่ตำแหน่ง G และ K เป็นอย่างไร

ข. ถ้าต้องการให้แถบสว่างอยู่ใกล้กันมากขึ้น จะต้องทำอย่างไร

4. AB เป็นสลิตคู่ เมื่อมีแสงที่มีความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนสลิตคู่ ในแนวตั้งฉากภาพการแทรกสอดจะปรากฏที่ฉาก ถ้าระยะ $AC = n\lambda$ และ $BC = (n - 3)\lambda$ เมื่อ n เป็นจำนวนเต็มให้ OM เป็นแนวกลาง ภาพแทรกสอดที่ C เป็นแถบสว่างหรือแถบมืดอันดับที่เท่าใด

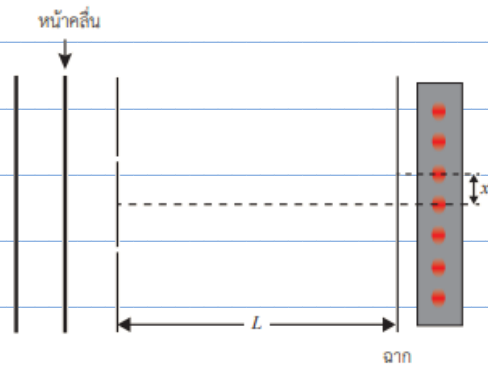


รูป สำหรับปัญหาข้อ 4



แบบฝึกหัด 10.2 การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่

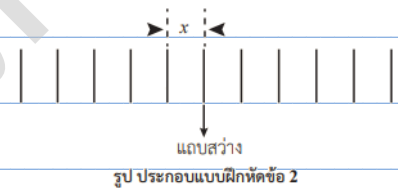
1. แสงมีความยาวคลื่น 5.9×10^{-7} เมตร ตกกระทบบนสลิตคู่ ถ้าสลิตทั้งสองอยู่ห่างกัน 1.0×10^{-3} เมตร ภาพการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างจากสลิตคู่แนวระยะ L ให้ x คือระยะที่แถบสว่างแรกอยู่ห่างจากแถบสว่างกลาง ดังรูป ถ้า L มีค่า 1 เมตร x จะมีค่าเท่าใด



$$(5.9 \times 10^{-4} \text{ m})$$

รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 1

2. เส้นทึบข้างล่างแทนแถบสว่างของภาพแทรกสอดที่เกิดจากแสงที่มีความยาวคลื่น 6.0×10^{-7} เมตร เมื่อตกกระทบบนสลิตคู่ในแนวตั้งฉาก ถ้าสลิตทั้งสองอยู่ห่างกัน 2.0×10^{-5} เมตร และฉากรับภาพอยู่ห่างจากสลิต 2.0 เมตร



รูป ประกอบแบบฝึกหัดข้อ 2

- ก. ระยะ x มีค่าเท่าใด

$$(6.0 \times 10^{-2} \text{ m})$$

- ข. ถ้าระยะระหว่างสลิตกับฉากเพิ่มขึ้น ระยะ x จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร

(ลดลง)

- ค. ถ้าทำให้แหล่งกำเนิดแสงสว่างขึ้น ระยะ x จะเปลี่ยนแปลงอย่างไร

(ไม่เปลี่ยนแปลง)



10.3 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.3 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว

1. แสงมีความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ตกกระทบสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างของช่อง 150 ไมโครเมตร ในแนวตั้งฉาก ภาพการเลี้ยวเบนจะปรากฏบนฉากที่อยู่ห่างออกไป 1.30 เมตร

ก. ขนาดของมุมที่แถบมืดอันดับที่ 1 เบนจากเส้นแนวกลาง (0.19 องศา)

ข. แถบสว่างกลางกว้างเท่าใด ($8.6 \times 10^{-3} \text{ m}$)

2. ฉายแสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ตกกระทบตั้งฉากกับแผ่นสลิตเดี่ยวที่กว้าง 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ห่างจากฉาก 2.0 เมตร ตำแหน่งมืดที่ 2 อยู่ห่างจากเส้นแนวกลางเป็นระยะเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร (8 mm)



10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง



คำถามตรวจสอบความเข้าใจ 10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง

1. แสงขาวตกกระทบบนเกรตติงในแนวตั้งฉาก และเกิดภาพแทรกสอดบนฉาก มุมที่แสงแต่ละสีเบนไปจากแนวกลางขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงหรือไม่ อย่างไร

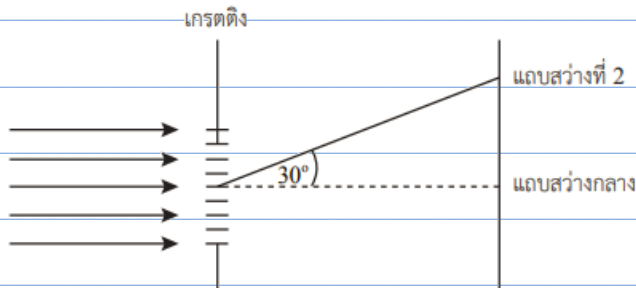
2. อธิบายภาพที่ปรากฏบนฉากเมื่อฉายแสงขาวผ่านเกรตติง





แบบฝึกหัด 10.4 การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง

1. แสงความยาวคลื่น 625 นาโนเมตร เมื่อผ่านเกรตติง แถบสว่างอันดับที่ 2 เบนไปจากแนวแถบสว่างกลางเป็นมุม 30 องศา ดังรูป จงหาจำนวนช่องต่อเซนติเมตรของเกรตติงที่ใช้ (4,000 cm⁻¹)



2. ฉายแสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบในแนวตั้งฉากกับเกรตติงที่มีจำนวนช่อง 10,000 ช่องต่อเซนติเมตร เกิดแถบสว่างที่ 1 ทำมุม 30 องศา กับแนวกลาง ถ้าเกรตติงอยู่ห่างจากฉาก 50 เซนติเมตร
 - ก. แถบสว่างที่ 1 อยู่ห่างจากแนวกลางเป็นระยะเท่าใดในหน่วยเซนติเมตร (29 cm)

- ข. ความยาวคลื่นของแสงนี้มีค่าเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร (500 nm)



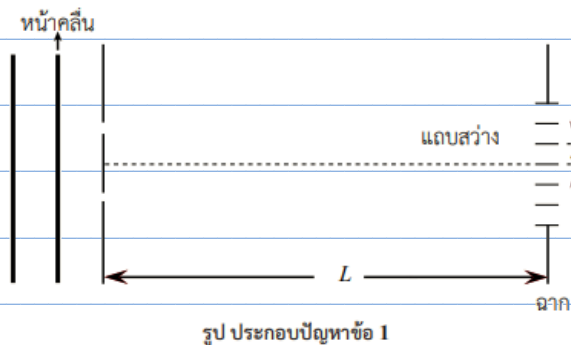
คำถามท้ายบทที่ 10 แสงเชิงคลื่น

1. เพราะเหตุใดการเลี้ยวเบนของแสงจึงพบเห็นได้ยาก แต่การเลี้ยวเบนของเสียงจึงพบได้ทั่วไป
2. คลื่นแสงจากสองแหล่งกำเนิดแสงต้องมีผลต่างระยะทางเป็นเท่าไรจึงจะทำให้การแทรกสอดที่เกิดขึ้นเป็นแบบ
ก. เสริมกัน
ข. หักล้างกัน
3. เราสามารถยกมือบังแสงแดดไม่ให้มาเข้าตาเราได้ ทำไมเราไม่สามารถใช้วิธีเดียวกันนี้ป้องกันไม่ให้เสียงมาเข้าหูเราได้
4. เมื่อฉายแสงผ่านสลิตเดี่ยว ถ้าความกว้างของช่องสลิตแคบลง ความกว้างของแถบสว่างกลางจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เพราะอะไร
5. วิธีการสังเกตการเลี้ยวเบนของแสงที่ง่ายที่สุดคือ การมองไปยังแหล่งกำเนิดแสงผ่านช่องระหว่าง นิ้วมือที่ชิดกัน วิธีดังกล่าวจะเกิดผลอย่างไร เพราะอะไร
6. เสียงสามารถเลี้ยวเบนผ่านขอบของมุมอาคารได้ ทำให้ผู้ฟังที่อยู่อีกด้านหนึ่งของอาคารสามารถ ได้ยินเสียงได้ เพราะเหตุใดแสงจึงไม่เกิดปรากฏการณ์เช่นนี้

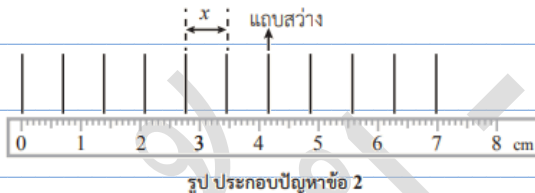


ปัญหาท้ายบทที่ 10 แสงเชิงคลื่น

1. แสงมีความยาวคลื่น 6.5×10^{-7} เมตร ตกกระทบบนตึกฉากในแนวสไลต์คู่ ถ้าสไลต์ทั้งสองอยู่ห่างกัน 2.5×10^{-4} เมตร ภาพการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างจากสไลต์คู่เป็นระยะ L ให้ x คือ ระยะที่แถบสว่างแรกอยู่ห่างจากแถบสว่างกลาง ถ้า L มีค่า 1 เมตร x จะมีค่าเท่าใด ($2.6 \times 10^{-3} \text{ m}$)



2. จากรูประยะห่างของแถบสว่างมีค่าเท่าใด (0.70 m)



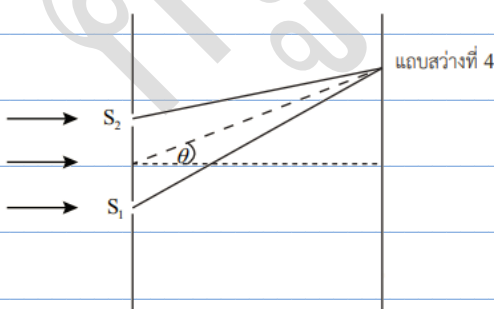
3. ในการทดลองหาความยาวคลื่นของแสงสีหนึ่ง โดยฉายแสงตั้งฉากกับแผ่นสไลต์คู่ ที่มีระยะห่างระหว่างสไลต์ 0.20 มิลลิเมตร เกิดการแทรกสอดของแสงบนฉาก ซึ่งห่างจากแผ่นสไลต์ 1.0 เมตร พบว่าแถบสว่างที่ 4 อยู่ห่างจากแนวกลาง 1.2 เซนติเมตร แสงนี้มีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร (600 nm)



4. แสงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ส่องตั้งฉากกับสลิตคู่ซึ่งมีระยะห่างระหว่างสลิต 0.5 มิลลิเมตร และอยู่ห่างจากฉาก 2 เมตร แถบสว่างติดกันที่ปรากฏบนฉากห่างกันเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร (2.0 mm)

5. ฉายแสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตรตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดของแสงบนฉาก ซึ่งห่างจากแผ่นสลิต 1.0 เมตร ถ้าวัดระยะห่างระหว่างแถบสว่าง 2 แถบติดกันได้ 5 มิลลิเมตร แผ่นสลิตนี้มีระยะห่างระหว่างสลิตเท่าใดในหน่วยไมโครเมตร (120 μm)

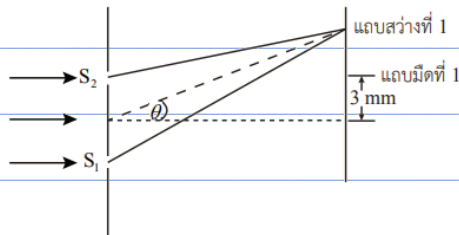
6. แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบบนสลิตคู่ที่ช่องสลิตอยู่ห่างกัน 200 ไมโครเมตร แถบสว่างที่ 4 บนฉากแถบสว่างกลางเป็นมุม 0.63 องศา ซึ่งมีค่า $\sin 0.63 = 0.011$ ดังรูป แสงมีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร (550 nm)



รูป ประกอบปัญหาข้อ 6



7. แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบบนสลิตคู่เกิดแถบสว่างแถบคู่ ดังรูป



รูปประกอบปัญหาข้อ 7

แถบมืดที่ 1 บนฉากเบนจากแนวเส้นกลางเป็นระยะ 3 มิลลิเมตร แถบสว่างที่ 1 บนฉากจะเบนจากแนวเส้นกลางเป็นระยะเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร (6 mm)

8. ในการเกิดการแทรกสอดของแสงที่มีความยาวคลื่น 6.5×10^{-7} เมตร โดยใช้ช่องขนาดเล็ก 2 ช่อง ให้เกิดบนฉากที่อยู่ห่างออกไป 1.0 เมตร ถ้าต้องการให้แถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันอยู่ห่างกัน 1.0×10^{-3} เมตร ช่องทั้งสองจะต้องอยู่ห่างกันเท่าใด (ให้ถือว่าตำแหน่งแถบสว่างเบนไปจากแนวกลางน้อยมาก) ($6.5 \times 10^4 m$)

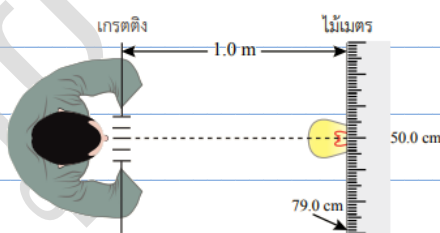
9. แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบบนสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 250 ไมโครเมตร ความกว้างของแถบสว่างกลางบนฉากมีขนาด 5 มิลลิเมตร ถ้าเปลี่ยนเป็นสลิตเดี่ยวที่มีความกว้าง 50 ไมโครเมตร แถบสว่างกลางบนฉากเดิมจะกว้างเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร (25 mm)



10. ฉายแสงความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ตกกระทบบนแผ่นสลิตเดี่ยวที่อยู่ห่างจากฉาก 1.20 เมตร พบว่าแถบมืดแรกห่างจากกึ่งกลางของแถบสว่างกลาง 0.02 เมตร จงหาความกว้างของสลิตในหน่วยไมโครเมตร (30 μm)

11. แสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร ตกกระทบบนแผ่นสลิตเดี่ยวที่กว้าง 200 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่อยู่ด้านข้างของแถบสว่างกลางที่ตกบนฉากห่างกัน 1.0 เซนติเมตร ฉากอยู่ห่างจากแผ่นสลิตเดี่ยวเป็นระยะเท่าใดในหน่วยเมตร (1.67 m)

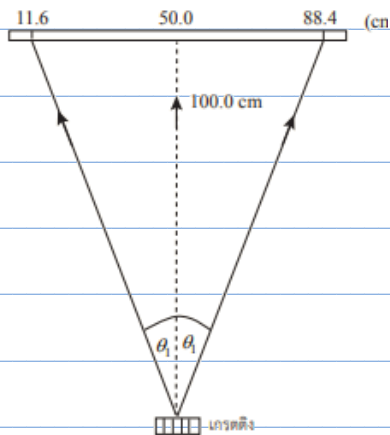
12. มองได้หลอดไฟที่ส่องสว่างผ่านเกรตติงที่มีจำนวน 5,000 ช่องต่อเซนติเมตร โดยให้เกรตติงอยู่ห่างจากไส้หลอดไฟ 1.0 เมตร และไส้หลอดอยู่ที่ตำแหน่ง 50.0 เซนติเมตรของไม้เมตร ดังรูป



สำหรับแสงสีหนึ่งในแถบสเปกตรัมอันดับที่ 1 ปรากฏบนไม้เมตรที่ตำแหน่ง 79.0 เซนติเมตร แสงสีนี้มี
ความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร (556 nm)



13. ในการทดลองเพื่อหาความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ โดยใช้เกรตติงที่มี 5000 ช่องต่อเซนติเมตร พบว่า แถบสว่างอันดับที่ 1 ทางด้านซ้ายและขวา อยู่ที่ตำแหน่ง 11.6 และ 88.4 เซนติเมตร ของไม้เมตร ตามลำดับ ถ้าฉากอยู่ห่างเกรตติงเป็นระยะ 100.0 เซนติเมตร ดังรูป ความยาวของแสงเลเซอร์มีค่าเท่าใด (717 nm)



รูป ประกอบปัญหาข้อ 13

14. ฉายแสงขาวตั้งฉากกับเกรตติงที่มีจำนวนช่อง 10,000 ช่องต่อเซนติเมตร จะปรากฏแถบสเปกตรัมอันดับที่สองในช่วงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร ถึง 700 นาโนเมตร ได้ครบทุกความยาวคลื่นหรือไม่ แสดงเหตุผลประกอบคำตอบ



ปัญหาท้าทาย

1. แสงความยาวคลื่น λ_1 และ λ_2 ตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ พบว่าภาพการแทรกสอดที่ปรากฏบนฉากของแถบมืดอันดับที่ 3 ของแสง λ_1 เกิดที่เดียวกับแถบสว่างที่ 2 ของแสง λ_2 อัตราส่วนระหว่าง λ_1 กับ λ_2 เป็นเท่าใด (4:5)

2. แสงสีเขียวความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ถ้าที่ตำแหน่งการแทรกสอด ห่างจากจุดกึ่งกลางของแถบสว่างกลางเป็นระยะ 1.1 เซนติเมตร มีเฟสต่างกัน 4π เรเดียน ระยะห่างของสลิตคู่มีค่าเท่าใด ถ้าฉากอยู่ห่างออกไป 1.0 เมตร (100 μm)

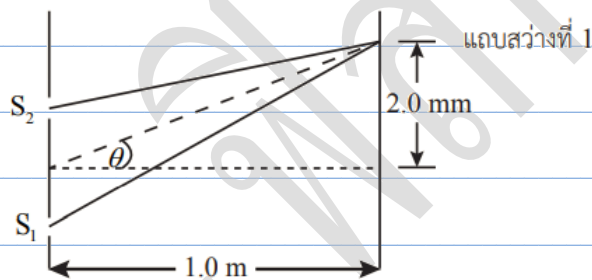
3. เมื่อใช้แสงสีเขียวที่มีความยาวคลื่น 5.2×10^{-7} เมตร ตกกระทบสลิตคู่ในแนวตั้งฉาก เกิดภาพแทรกสอดบนฉาก ถ้าแถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันอยู่ห่างกัน 0.2 มิลลิเมตร แต่ถ้าใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 6.5×10^{-7} เมตร แทนแถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันจะอยู่ห่างกันกี่มิลลิเมตร (0.20 mm)



4. สลิตคู่ที่อยู่ห่างกัน d และอยู่ห่างจากฉาก D เมื่อฉายแสงความยาวคลื่น λ ตั้งฉากกับสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดของแสง ปรากฏเป็นแถบสว่างและแถบมืดบนฉาก ระยะห่างระหว่างแถบมืดที่ 1 กับแถบมืดที่ 2 ของภาพบนฉาก จะเป็นเท่าใด ในเทอม λD และ d

$$\left(\frac{\lambda D}{d}\right)$$

5. แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบบนสลิตคู่ เกิดการแทรกสอดบนฉาก ดังรูป



แถบสว่างที่ 1 เบนไปจากแนวเส้นกลางเป็นระยะ 2.0 มิลลิเมตร เมื่อฉากอยู่ห่างจากสลิต 1.0 เมตร ถ้าต้องการให้แถบสว่างที่ 1 เบนไปจากแนวเส้นกลางเป็นระยะ 3 มิลลิเมตร ต้องให้ฉากอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะเท่าใดในหน่วยเมตร

$$(1.5 \text{ m})$$



6. ถ้าใช้เลเซอร์สีแดงฉายผ่านสลิตคู่ที่มีระยะระหว่างช่อง 25 ไมโครเมตร เกิดภาพการแทรกสอดบนกระดานที่อยู่ห่างจากสลิต 2.30 เมตร วัดระยะระหว่างแถบสว่างที่ 3 ทั้งสองข้างของแถบสว่างกลางได้ 35 เซนติเมตร แสงเลเซอร์ที่ใช้มีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร (634 nm)

7. ในการทดลองให้แสงความยาวคลื่นเดียวตกกระทบบนสลิตคู่และสลิตเดี่ยว ถ้าต้องการให้ตำแหน่งมืดที่ 2 ของการแทรกสอดของแสงบนฉากที่ผ่านสลิตคู่ ตรงกับตำแหน่งมืดที่ 2 ของการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว ต้องใช้สลิตคู่ที่มีระยะระหว่างสลิตเป็นกี่เท่าของความกว้างสลิตเดี่ยว ($\frac{3}{4}$ เท่า)

8. ฉายแสงความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ตกกระทบบนแผ่นสลิตเดี่ยวที่กว้าง 10 ไมโครเมตร แถบสว่างกลางรองรับมุมที่จุดกึ่งกลางของสลิตเดี่ยวกี่องศา (6 องศา)



9. ในการทดลองหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดโลหะเส้นหนึ่งโดยการเลี้ยวเบนของแสง พบว่าเลเซอร์สามารถเลี้ยวเบนผ่านหลอด แล้วเกิดบริเวณสว่าง-มืดที่ฉากรับ โดยที่ระยะทางระหว่างบริเวณมืดที่ 1, 2 และ 3 อยู่ห่างจากบริเวณสว่างกลางเท่ากับ 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ถ้าฉากรับอยู่ห่างจากหลอดเป็นระยะทาง 1.00 เมตร จงหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดโลหะ ถ้าใช้เลเซอร์ฮีเลียม-นีออน ที่มีความยาวคลื่น 632.8 นาโนเมตร (0.633 mm)

10. แสงความยาวคลื่น λ ตกกระทบบนสลิตเดี่ยวที่มีความกว้างของช่อง d ทำให้ความกว้างของแถบสว่างกลางบนฉากเป็น a ถ้าฉากรับภาพอยู่ห่างจากสลิตเป็นระยะ L และ $\frac{d}{\lambda}$ มีค่าเท่ากับ 200 ระยะ L เป็นกี่เท่าของความกว้าง a (100 เท่า)

11. เมื่อให้แสงที่เปลี่ยนจากหลอดบรรจุไฮโดรเจนตกกระทบบนแผ่นเกรตติงอันหนึ่ง ในแนวตั้งฉากปรากฏว่า เส้นสเปกตรัมอันดับที่ 2 ที่เกิดเนื่องจากแสงสีแดง ซึ่งมีความยาวคลื่น 656 นาโนเมตรซ้อนทับเส้นสเปกตรัมอันดับที่ 3 ของแสงสีอื่นอีกสีหนึ่ง แสงสีนี้มีมีความยาวคลื่นเท่าใด ในหน่วยนาโนเมตร (437 nm)



12. ถ้าใช้เกรตติงที่มีจำนวนช่อง 5,000 ช่องต่อเซนติเมตร และเกรตติงที่มีจำนวนช่อง 10,000 ช่องต่อเซนติเมตร รับแสงขาวที่มากกระทบตั้งฉาก ทำให้เกิดสเปกตรัมของแสงขาว ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรถึง 700 นาโนเมตร เกรตติงแต่ละแผ่นจะให้สเปกตรัมสูงสุดกี่อันดับ (2 และ 1 อันดับตามลำดับ)

13. ถ้าใช้เกรตติงที่มีจำนวนช่อง 8,000 ช่องต่อเซนติเมตร รับแสงขาวความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรถึง 700 นาโนเมตร ที่ตกกระทบตั้งฉากทำให้เกิดสเปกตรัมของแสงบนฉากที่อยู่ห่างจากเกรตติง 1.0 เมตร ความกว้างของแถบสเปกตรัมอันดับที่หนึ่งที่ปรากฏบนฉากเป็นเท่าใดในหน่วยเซนติเมตร (33.86 cm)

14. กระจายแสงความยาวคลื่น 450-600 นาโนเมตร ตกกระทบตั้งฉากกับเกรตติงที่มี 10,000 ช่องต่อเซนติเมตร จะเกิดชุดสเปกตรัมครบทุกความยาวคลื่นถึงอันดับที่เท่าใด (อันดับที่ 1)