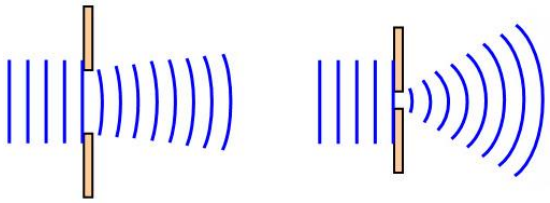
การทดลองที่ 15
เรื่องการเลี้ยวเบนแสงและเกรตติงเลี้ยวเบน

วัตถุประสงค์

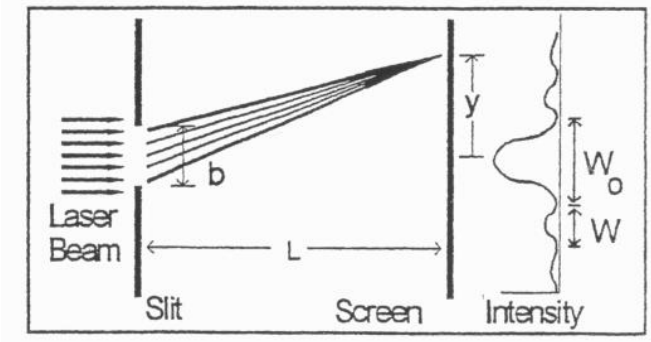
1. ศึกษาการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนแสงผ่านช่องสลิต
2. การประยุกต์เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อคำนวณขนาดของวัตถุ
3. การประยุกต์เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อหาค่าระยะห่างระหว่างร่องของแผ่น CD-ROM

ทฤษฎี

แสงจะมีการเลี้ยวเบน (diffraction) เมื่อถูกกีดขวางด้วยวัตถุเล็กๆ หรือช่องแคบเล็กๆ ดังรูปที่ 1 ตัวอย่างเช่น เมื่อแสงเลี้ยวเบนผ่านช่องเล็กยาวเดี่ยว (single slit) ผลของการเลี้ยวเบนจะปรากฏบนฉากเป็นลวดลายแถบมืดและแถบสว่าง ดังรูปที่ 2 ลวดลายโดยผลของการเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นชัดเจนมากถ้าวัตถุหรือช่องแคบมีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นแสง

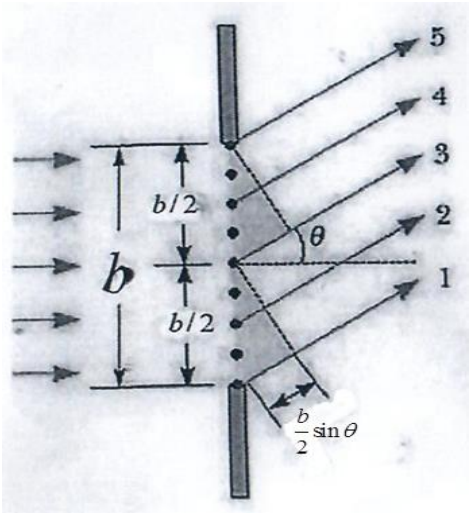


<u>รูปที่ 1</u> แสดงการเลี้ยวเบนแสงผ่านช่องแคบ



<u>รูปที่ 2</u> แสดงลวดลายของการเลี้ยวเบนแสงผ่านช่องเล็กยาวเดี่ยวที่มีความกว้าง = b

ในรูปที่ 3 ลำแสงเมื่อเคลื่อนที่ถึงช่องเล็กยาวเดี่ยวที่มีความกว้างเท่ากับ b ถ้าแบ่งช่องเล็กยาวเป็น 2 ส่วนที่มีความกว้างส่วนละ $\frac{b}{2}$



<u>รูปที่ 3</u> แสดงการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตเดี่ยว โดยแต่ละจุดตลอดแนวช่องสลิต จะทำหน้าที่เป็นจุดกำเนิดแสง

ให้พิจารณารังสีขนาน 1 กับรังสีขนาน 3 (หรือรังสีขนาน 3 กับรังสีขนาน 5) รังสีคู่ดังกล่าวจะมีผลต่างทางเดินแสง (optical path difference) เท่ากับ $\frac{b}{2}\sin\theta$ เงื่อนไขของการซ้อนทับแบบหักล้างแล้วทำให้เกิดแถบมืดอันดับที่ 1 (m = 1) จะสอดคล้องกับสมการ

$$\frac{b}{2}\sin\theta = \frac{\lambda}{2} \qquad (19.1)$$

$$b\sin\theta = \lambda \qquad (19.2)$$

ในทำนองเดียวกันถ้าแบ่งช่องเดี่ยวเป็น 4 ส่วน เงื่อนไขของการเกิดแถบมืดอันดับที่ 2 คือ

$$\frac{b}{4}\sin\theta = \frac{\lambda}{2} \qquad (19.3)$$

$$b\sin\theta = 2\lambda \qquad (19.4)$$

ดังนั้น สมการทั่วไปของการเกิดแถบมืดอันดับที่ m จะเขียนได้เป็น

$$b\sin\theta = m\lambda \qquad (19.5)$$

ถ้า y_1 และ y_2 เป็นระยะจากกึ่งกลางฉากไปยังแถบมืดอันดับที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ L เป็นระยะจากฉากถึงระนาบช่องสลิตเดี่ยว เนื่องจากมุม θ มีขนาดเล็กๆ ดังนั้น เราสามารถใช้ค่าประมาณ

$$\sin\theta \approx \tan\theta$$

จะได้ว่า สำหรับแถบมืดอันดับที่ 1

$$b\sin\theta \approx b\frac{y_1}{L} = (1)\lambda \qquad (19.6)$$

$$y_1 = (1)\frac{\lambda L}{b} \qquad (19.7)$$

สำหรับแถบมืดอันดับที่ m ตำแหน่งเชิงเส้นบนฉากหาได้จาก

$$y_m = m\frac{\lambda L}{b} \qquad (19.8)$$

สำหรับแถบมืดอันดับที่ m+1 ตำแหน่งเชิงเส้นบนฉากหาได้จาก

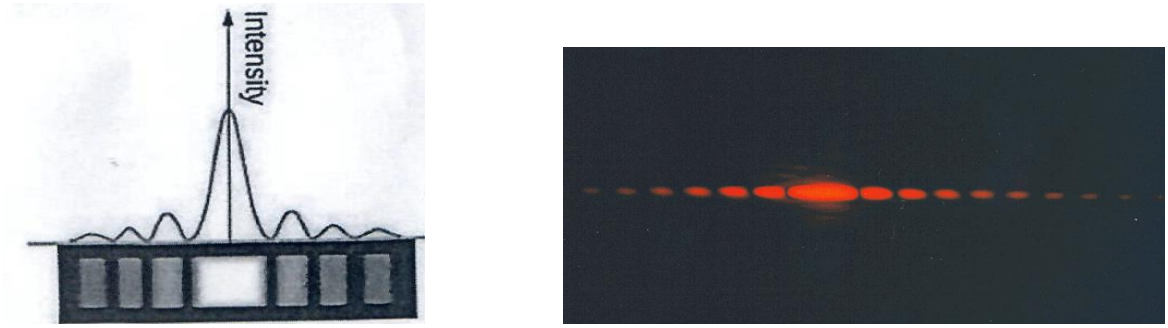
$$y_{m+1} = (m+1)\frac{\lambda L}{b} \qquad (19.9)$$

ระยะห่างระหว่างริ้วมืดของการเลี้ยวเบนที่ติดกันหาได้จากสมการ (19.9) – (19.8)

$$\mathrm{w} = \Delta y = y_{m+1} - y_m = \frac{\lambda L}{b} \qquad (19.10)$$

ความกว้างของแถบสว่างตรงกลางของลวดลายการเลี้ยวเบนจะเท่ากับ

$$\mathrm{w}_0 = 2\frac{\lambda L}{b} \qquad (19.11)$$



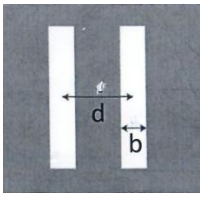
<u>รูปที่ 4</u> แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตเดี่ยว

การเลี้ยวเบนแสงผ่านวัตถุทึบแสง

หลักการของบาบิเนต (Babinet) กล่าวว่า เมื่อแสงเดินทางผ่านวัตถุทึบแสง เช่น เส้นลวด เส้นผม ลวดลายของการเลี้ยวเบนจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีของการเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบยาว กล่าวคือ ถ้า b เป็นค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวด สำหรับแถบมืดอันดับที่ 1 จะเป็นไปตามสมการ (19.7) และความกว้างของแถบสว่างตรงกลางของลวดลายการเลี้ยวเบนจะเป็นไปตามสมการ (19.11)

การเลี้ยวเบนผ่านสลิตคู่

ถ้าส่องลำแสงเลเซอร์เข้าสู่สลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสลิต = d และแต่ละช่องสลิตกว้าง = b

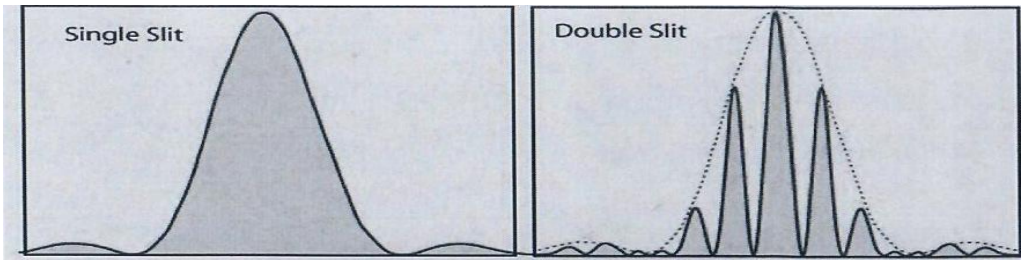


ลวดลายบนฉากจะประกอบด้วย

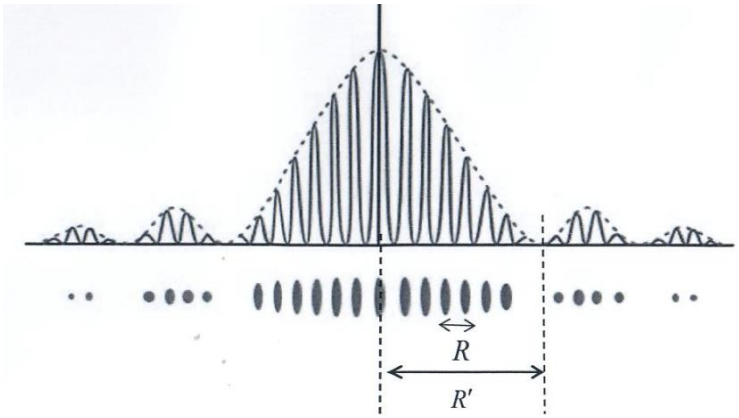
1. ริ้วการเลี้ยวเบนจากช่องสลิตเดี่ยวแต่ละอัน โดยมีสมการของริ้วมืดเป็น
$$b\sin\theta = m\lambda$$
2. ริ้วการแทรกสอดของแสงที่มาจากช่องสลิตทั้งสองช่อง โดยปรากฏเป็นริ้วสว่างของการแทรกสอด ตามเงื่อนไข (เช่นเดียวกับการทดลองการแทรกสอดผ่านสลิตคู่ของยัง)
$$d\sin\theta = m\lambda$$

จากการเปรียบเทียบลวดลายการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวและสลิตคู่ จะเป็นดังรูปที่ 5

ก) ข)



ค)



<u>รูปที่ 5</u> แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนแสงผ่าน ก) สลิตเดี่ยว ข) สลิตคู่ และ ค) แสดงระยะห่างระหว่างริ้วสว่างของการแทรกสอด (R) และระยะห่างของริ้วมืดแรกวัดจากตรงกลางของการเลี้ยวเบน (R')

จากรูปที่ 5 ระยะห่างระหว่างริ้วสว่าง(หรือริ้วมืด)ของการแทรกสอดที่อยู่ติดกัน

$$R = \Delta y = y_{m+1} - y_m = \frac{\lambda L}{d} \qquad (19.12)$$

และ ริ้วมืดอันดับที่หนึ่งที่เป็นผลจากการเลี้ยวเบนแสงจะห่างจากจุดกึ่งกลางของแถบสว่างตรงกลางเป็นระยะเท่ากับ

$$R' = \frac{\lambda L}{b} \qquad (19.13)$$

จากการวิเคราะห์เราจะพบว่า

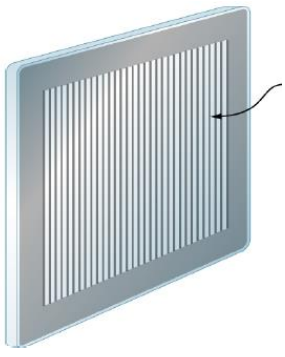
จำนวนริ้วสว่างที่แทรกในยอดคลื่นของการเลี้ยวเบนตรงกลาง $= 2\left(\frac{d}{b}\right) - 1$ (19.14)

<u>สรุป</u> การใช้ประโยชน์จากการเลี้ยวเบนของแสงเราสามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความยาวคลื่นแสง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องมือในการวัดขนาดของช่องแคบ และขนาดของวัตถุขนาดเล็ก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระยะห่างระหว่างริ้วจะมีค่าไม่มากนั้น บางครั้งก็ยากแก่การวัด ทำให้ค่าความยาวคลื่นที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน อุปกรณ์ที่เหมาะสมกว่าสำหรับการวิเคราะห์หาความยาวคลื่นแสงคือเกรตติง (grating)

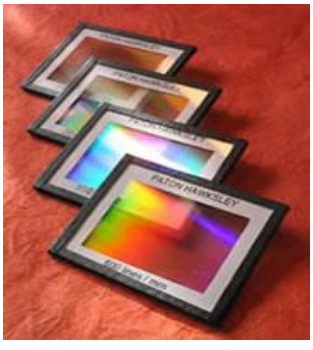
เกรตติงเลี้ยวเบน (diffraction grating)

สร้างจากการกรีดรอยลงบนวัสดุโปร่งใสหรือวัตถุทึบแสง โดยแผ่นวัสดุบางที่ถูกแบ่งออกเป็นช่องขนานซึ่งอยู่ชิดกันมากเพื่อให้แสงส่วนทะลุผ่านหรือส่วนสะท้อนรวมกัน เมื่อแสงขนานตกตั้งฉากกับเกรตติง จะเกิดการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดขึ้น

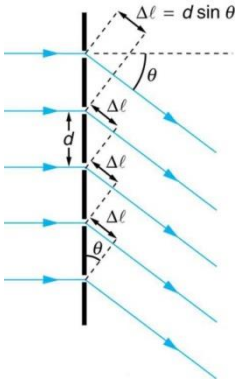
ก)



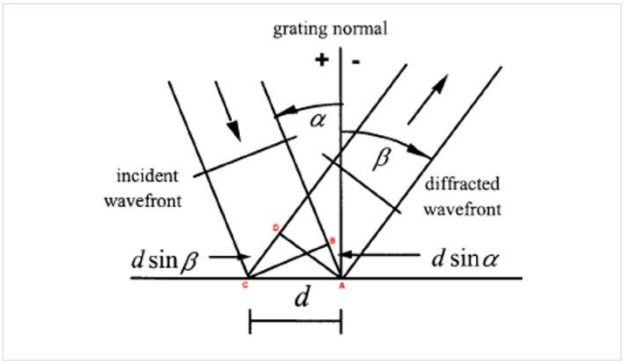
ข)



ค)



ง)



รูปที่ 6 ก) แสดงโครงสร้างของเกรตติง ข) รูปถ่ายเกรตติง ค) เกรตติงแบบส่งผ่าน และ ง) เกตตริงแบบสะท้อนแสง

เนื่องจากความกว้าง (b) ของแต่ละช่องมีค่าน้อยมาก จึงมีผลทำให้ความกว้างของแถบสว่างตรงกลางจะใหญ่มาก ภายในของแถบสว่างตรงกลางของการเลี้ยวเบนจะถูกแทรกด้วยแถบแถบมืดและแถบสว่างของการแทรกสอดที่เกิดจากช่องเล็กยาวที่ติดกัน(ระยะห่างระหว่างช่องเล็กยาว = d)

สำหรับเกรตติงแบบส่งผ่าน (รูปที่ 6 ค) โดยเงื่อนไขของริ้วสว่างอันดับที่ m จะเป็นตามสมการ

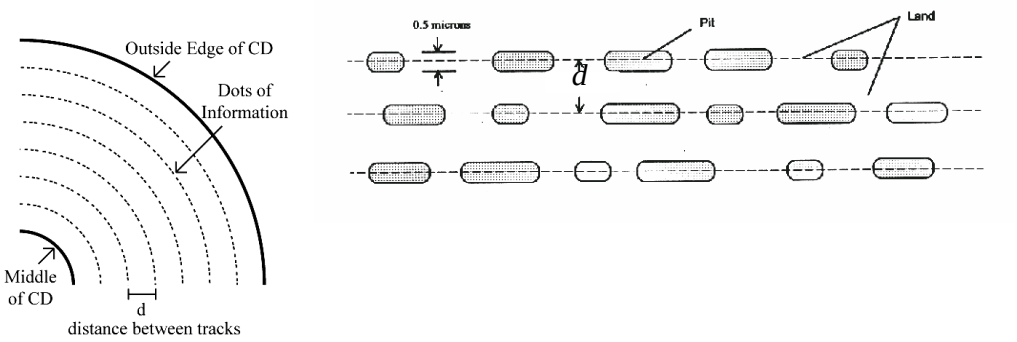
$$d \sin\theta = m\lambda \qquad (19.15)$$

สำหรับเกรตติงแบบสะท้อน(รูปที่ 6 ง) โดยเงื่อนไขของริ้วสว่างอันดับที่ m จะเป็นตามสมการ

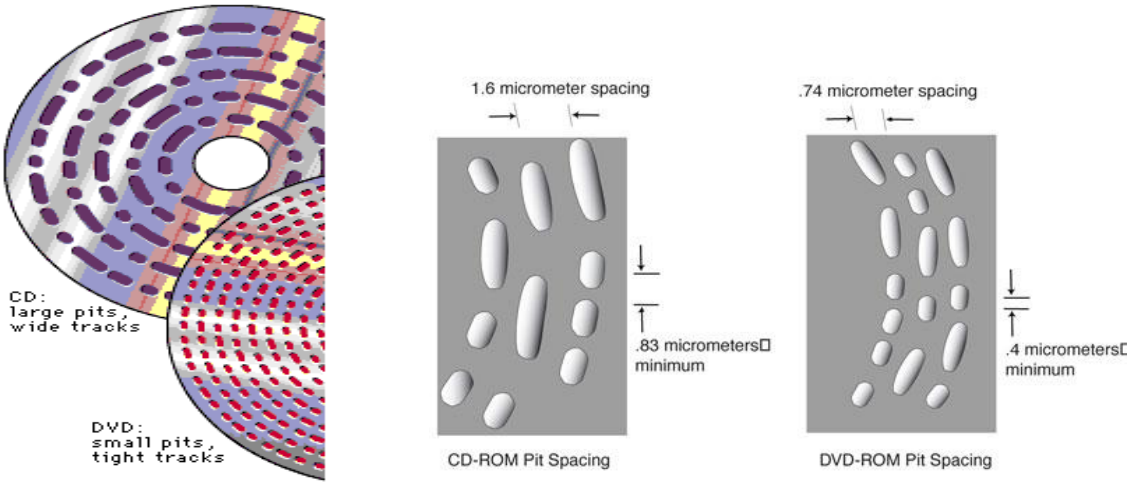
$$d(\sin\beta - \sin\alpha) = m\lambda \qquad (19.16)$$

แผ่น CD-ROM และแผ่น DVD

พื้นผิวของแผ่น CD และแผ่น DVD จะมีระยะระหว่างร่องข้อมูลที่มีขนาดระดับไมโครเมตร ดังนั้นแผ่น CD และ DVD จึงมีคุณสมบัติคล้ายกับเกรตติง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างของแผ่น CD



รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของแผ่น CD-ROM และแผ่น DVD-ROM

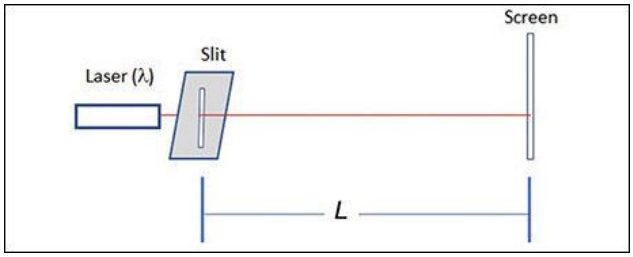
อุปกรณ์ที่ให้

1. เลเซอร์สีแดง
2. รางเลื่อนและตัวเลื่อน
3. ขาตั้งและอุปกรณ์จับยึดฉาก
4. แผ่นสลิตเดี่ยว
5. แผ่นสลิตคู่
6. แผ่น CD
7. เฟรมสำหรับติดเส้นผม
8. ที่หนีบกระดาษ
9. คลิปบอร์ด
10. แพลตฟอร์มลิฟท์ยก (lab jack)
11. เทปติดกระดาษ
12. ไม้บรรทัด

วิธีการทดลอง

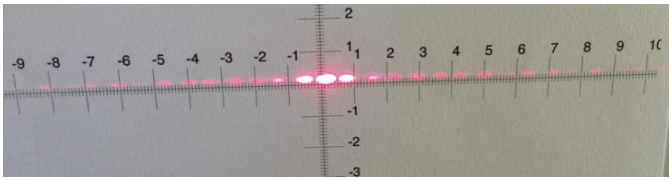
ตอนที่ 1 หาค่าความยาวคลื่นแสงโดยใช้การเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวที่บอกค่าความกว้างช่องสลิต (b)

1.โดยการจัดอุปกรณ์ ดังรูปที่ 9 ให้นักศึกษาจัดตำแหน่งของเลเซอร์และแผ่นสลิตเดี่ยวให้เหมาะสม โดยระยะจากฉากถึงระนาบช่องสลิตเดี่ยว L ประมาณ 1 - 1.5 เมตร



รูปที่ 9 แผนภาพแสดงการจัดชุดทดลองการเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยว

2 บนฉาก ให้วัดความกว้าง w_0 ของแถบสว่างตรงกลางของลวดลายการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ช่องสลิตเดี่ยว



รูปที่ 10 ภาพถ่ายแสดงลวดลายการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตเดี่ยว

3. เปลี่ยนขนาดความกว้าง b ขนาดต่างๆ วัดความกว้าง w_0 สำหรับแต่ละค่าของ b
4. ให้พล็อตกราฟระหว่าง w_0 กับค่า 1/b
5. จากกราฟที่ได้ ให้วิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่นแสง λ ของเลเซอร์สีแดง

ตอนที่ 2 ทดลองเรื่องการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตคู่

1. โดยการจัดอุปกรณ์ คล้ายกับตอนที่ 1 แต่ให้เปลี่ยนจากแผ่นสลิตเดี่ยวเป็นแผ่นสลิตคู่ ให้นักศึกษาจัดตำแหน่งของเลเซอร์และแผ่นสลิตคู่ ให้เหมาะสม โดยระยะจากฉากถึงระนาบช่องสลิตคู่ L ประมาณ 1 - 1.5 เมตร

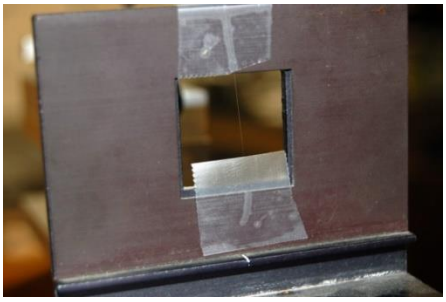
2. บนฉาก ให้วัดระยะห่างระหว่างริ้วสว่าง(หรือริ้วมืด)ของการแทรกสอดที่อยู่ติดกัน เมื่อใช้ช่องสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสลิต d ขนาดต่างๆ

3 ให้พล็อตกราฟระยะห่างระหว่างริ้วสว่าง(หรือริ้วมืด)ของการแทรกสอดที่อยู่ติดกัน Δy กับค่า 1/d

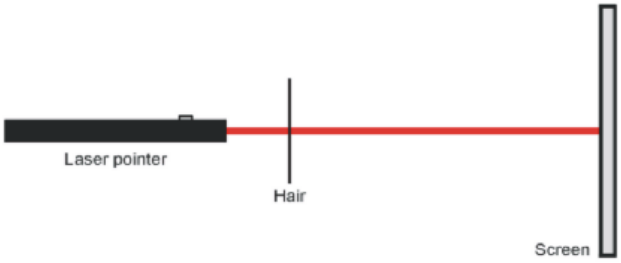
4 จากกราฟที่ได้ ให้วิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่นแสง λ ของเลเซอร์สีแดง

ตอนที่ 3 การประยุกต์ความรู้เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อวัดความหนาของเส้นผมหรือเส้นลวด

1. โดยการจัดอุปกรณ์ คล้ายกับตอนที่ 1 แต่ให้เปลี่ยนจากแผ่นสลิตเดี่ยวเป็นเฟรมที่แปะเส้นผม ดังรูปที่ 11 ให้นักศึกษาจัดตำแหน่งของเลเซอร์และเฟรมให้เหมาะสม ดังรูปที่ 12 โดยระยะจากฉากถึงระนาบเฟรม L ประมาณ 1 - 1.5 เมตร

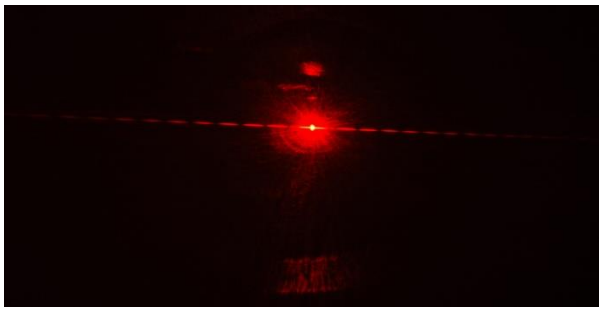


รูปที่ 11 ภาพถ่ายแสดงการแปะเส้นผมลงบนเฟรม



รูปที่ 12 แผนภาพแสดงการจัดชุดทดลองการเลี้ยวเบนแสงผ่านเส้นผม

2. บนฉาก ให้วัดความกว้าง w_0 ของแถบสว่างตรงกลางของลวดลายการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ภาพถ่ายแสดงลวดลายการเลี้ยวเบนแสงผ่านเส้นผมหรือเส้นลวด

3. วิเคราะห์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผม โดยใช้ความสัมพันธ์ $w_0 = 2\frac{\lambda L}{b}$ โดยในกรณีนี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นผมจะเท่ากับ b

ตอนที่ 4 การประยุกต์เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อหาค่าระยะห่างระหว่างร่องของแผ่น CD-ROM

1. จากอุปกรณ์ที่มีอยู่บนโต๊ะ ให้นักศึกษาออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระยะห่างระหว่างร่องของแผ่น CD-ROM ดังตัวอย่าง โดยให้เลือกระยะห่างของการวางอุปกรณ์ต่างๆ ด้วยตนเอง

2. จากผลการทดลองที่ได้ ให้แสดงการคำนวณหาค่าระยะห่าง (d) ระหว่างร่องของแผ่น CD-ROM