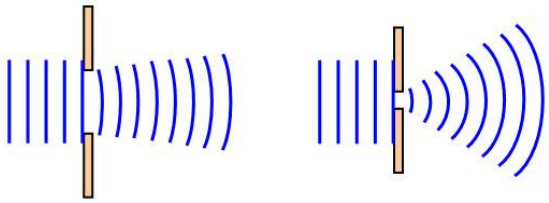
# การทดลองที่ 19
# เรื่องการเลี้ยวเบนแสงและเกรตติงเลี้ยวเบน

## วัตถุประสงค์

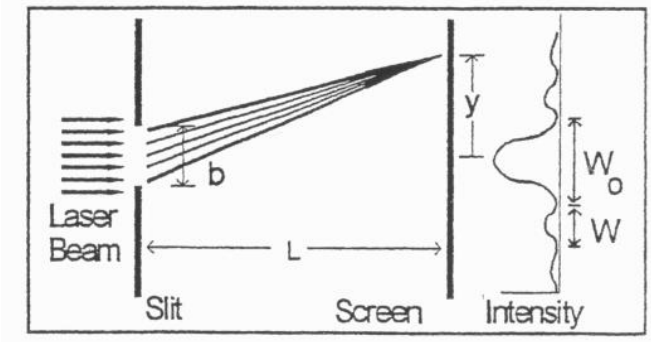
1. ศึกษาการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนแสงผ่านช่องสลิต
2. การประยุกต์เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อคำนวณขนาดของวัตถุ
3. การประยุกต์เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อหาค่าระยะห่างระหว่างร่องของแผ่น CD-ROM

## ทฤษฎี

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

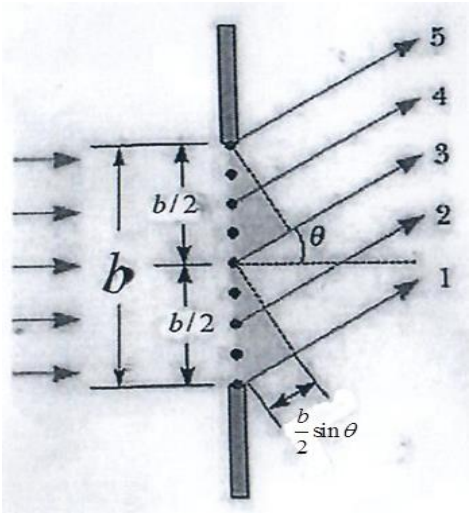


**<u>รูปที่ 1</u>** แสดงการเลี้ยวเบนแสงผ่านช่องแคบ




<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 $\theta$ 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

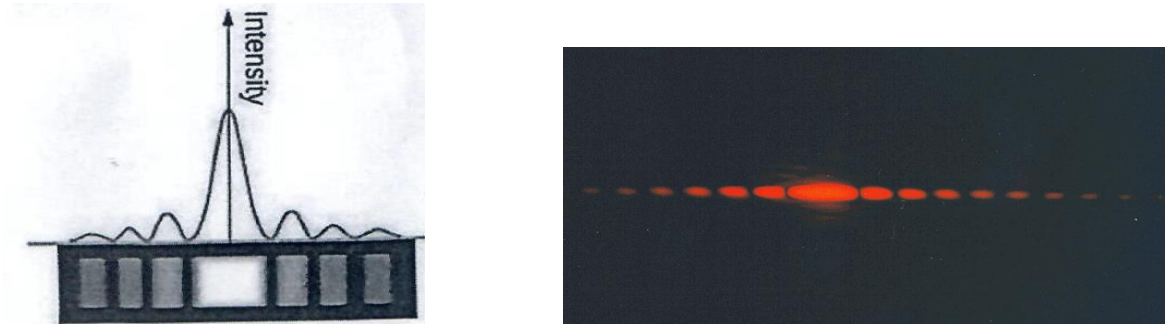
$$y_{m+1} = (m+1)\frac{\lambda L}{b} \qquad (19.9)$$

ระยะห่างระหว่างริ้วมืดของการเลี้ยวเบนที่ติดกันหาได้จากสมการ (19.9) – (19.8)

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

ความกว้างของแถบสว่างตรงกลางของลวดลายการเลี้ยวเบนจะเท่ากับ

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



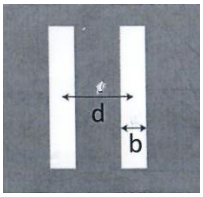

รูปที่ 4 แสดงลวดลายการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตเดี่ยว

## 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

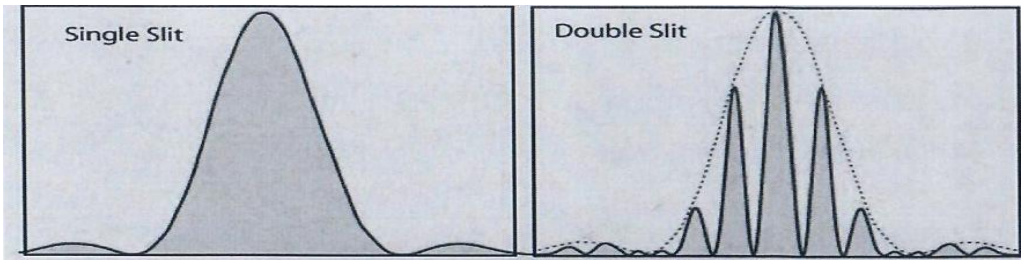
$$b\sin\theta = m\lambda$$

2. ริ้วการแทรกสอดของแสงที่มาจากช่องสลิตทั้งสองช่อง โดยปรากฏเป็นริ้วสว่างของการแทรกสอด ตามเงื่อนไข (เช่นเดียวกับการทดลองการแทรกสอดผ่านสลิตคู่ของยัง)

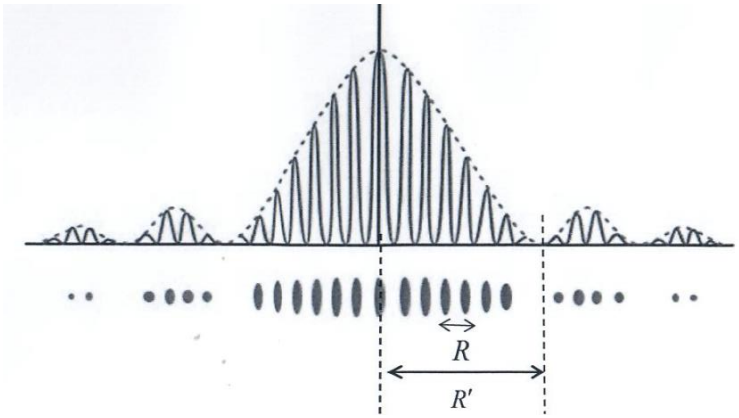
$$d\sin\theta = m\lambda$$

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

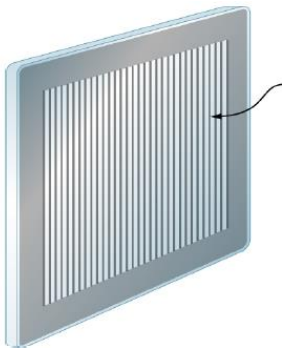
จำนวนริ้วสว่างที่แทรกในยอดคลื่นของการเลี้ยวเบนตรงกลาง $= 2\left(\frac{d}{b}\right) - 1$ (19.14)

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

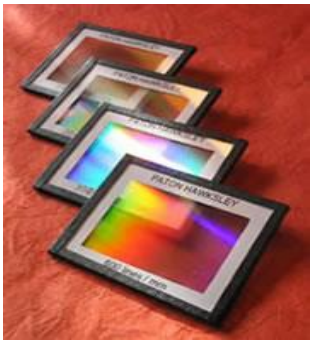
## เกรตติงเลี้ยวเบน (diffraction grating)

สร้างจากการกรีดรอยลงบนวัสดุโปร่งใสหรือวัตถุทึบแสง โดยแผ่นวัสดุบางที่ถูกแบ่งออกเป็นช่องขนานซึ่งอยู่ชิดกันมากเพื่อให้แสงส่วนทะลุผ่านหรือส่วนสะท้อนรวมกัน เมื่อแสงขนานตกตั้งฉากกับเกรตติง จะเกิดการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดขึ้น

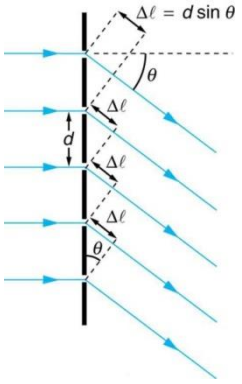
ก)



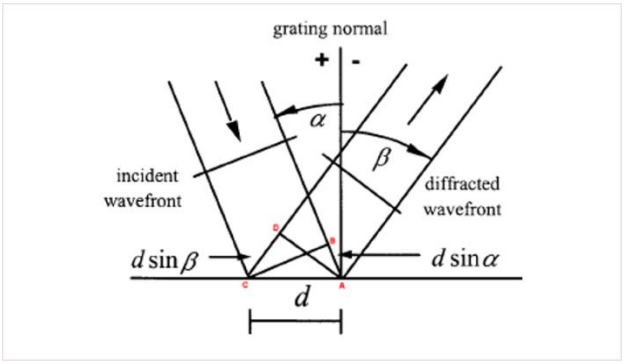
ข)



ค )




ง )




<u>รูปที่ 6</u> ก) แสดงโครงสร้างของเกรตติง ข) รูปถ่ายเกรตติง ค) เกรตติงแบบส่งผ่าน และ ง) เกตตริงแบบสะท้อนแสง

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

สำหรับเกรตติงแบบส่งผ่าน (รูปที่ 6 ค) โดยเงื่อนไขของริ้วสว่างอันดับที่ m จะเป็นตามสมการ

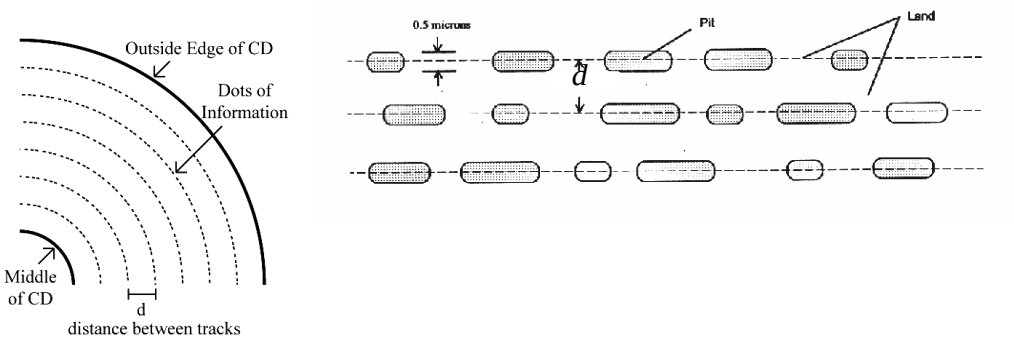
$$d \sin\theta = m\lambda \qquad (19.15)$$

สำหรับเกรตติงแบบสะท้อน(รูปที่ 6 ง) โดยเงื่อนไขของริ้วสว่างอันดับที่ m จะเป็นตามสมการ

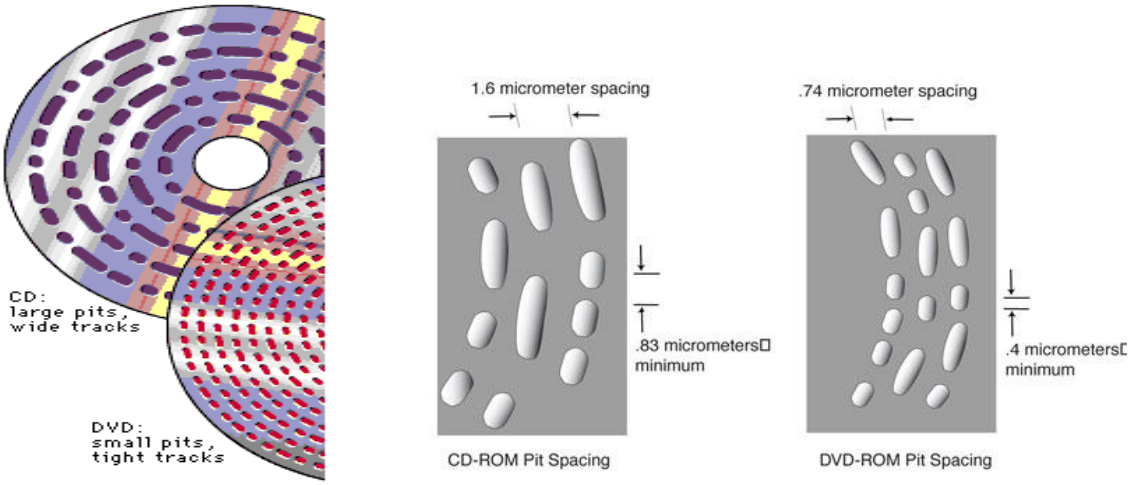
$$d(\sin\beta - \sin\alpha) = m\lambda \qquad (19.16)$$

**แผ่น CD-ROM และแผ่น DVD**

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




<u>รูปที่ 7</u> แสดงโครงสร้างของแผ่น CD




รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างของแผ่น CD-ROM และแผ่น DVD-ROM

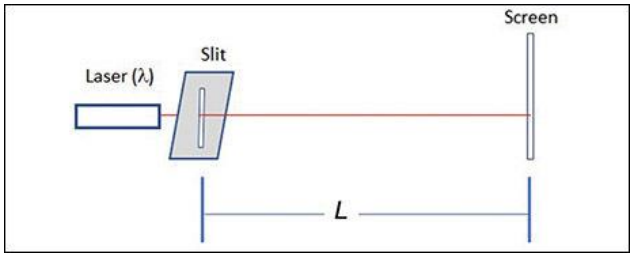
**อุปกรณ์ที่ให้**

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**

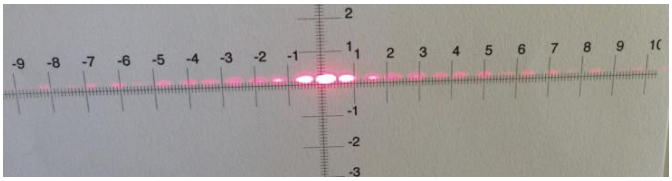
ตอนที่ 1 หาค่าความยาวคลื่นแสงโดยใช้การเลี้ยวเบนผ่านสลิตเดี่ยวที่บอกค่าความกว้างช่องสลิต (b)

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 $\lambda$ ของเลเซอร์สีแดง

## ตอนที่ 2 ทดลองเรื่องการเลี้ยวเบนแสงผ่านสลิตคู่

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

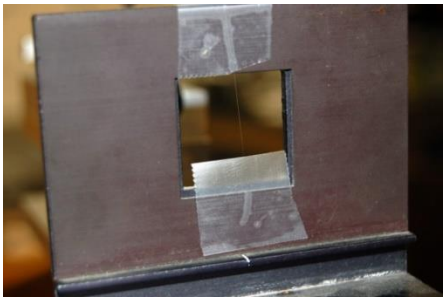
2. บนฉาก ให้วัดระยะห่างระหว่างริ้วสว่าง(หรือริ้วมืด)ของการแทรกสอดที่อยู่ติดกัน เมื่อใช้ช่องสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสลิต d ขนาดต่างๆ

3 ให้พล็อตกราฟระยะห่างระหว่างริ้วสว่าง(หรือริ้วมืด)ของการแทรกสอดที่อยู่ติดกัน $\Delta y$ กับค่า 1/d

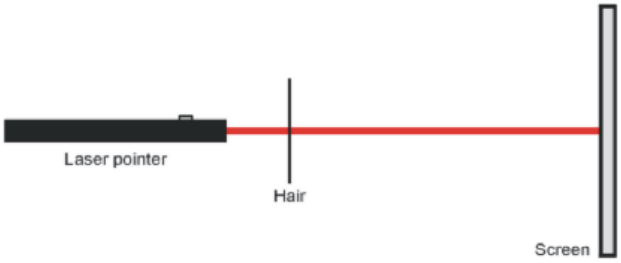
4 จากกราฟที่ได้ ให้วิเคราะห์หาค่าความยาวคลื่นแสง $\lambda$ ของเลเซอร์สีแดง

## ตอนที่ 3 การประยุกต์ความรู้เรื่องการเลี้ยวเบนเพื่อวัดความหนาของเส้นผมหรือเส้นลวด

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

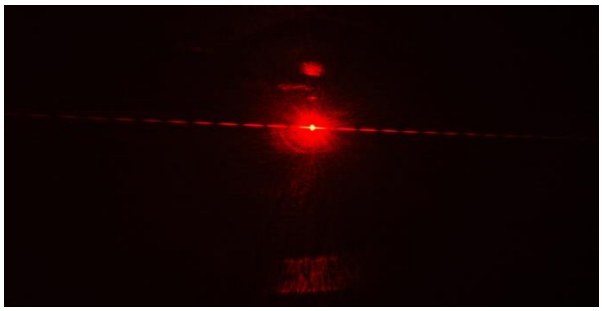


รูปที่ 11 ภาพถ่ายแสดงการแปะเส้นผมลงบนเฟรม




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