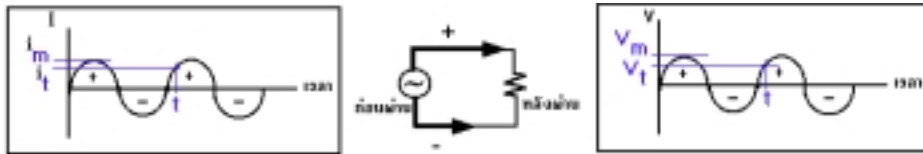


**บทที่ 17 ไฟฟ้ากระแสสลับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแสงเชิงกายภาพ**

**ตอนที่ 1 ลักษณะของไฟฟ้ากระแสสลับ**

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งหมุนขดลวดตัดสนามแม่เหล็กด้วยอัตราเร็วเชิงมุมขนาดหนึ่ง จะทำให้เกิดความต่างศักย์ (แรงเคลื่อนไฟฟ้า) และกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลา ด้วยอัตราเร็วเชิงมุมเดียวกับอัตราเร็วเชิงมุมการหมุนขดลวด



เราสามารถหาค่ากระแสสลับ ณ. จุดเวลาใด ๆ ได้จากสมการ

$$i_t = i_m \sin \omega t \quad \text{และ} \quad V_t = V_m \sin \omega t$$

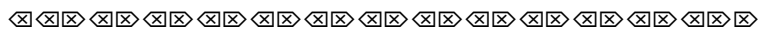
เมื่อ  $i_t, V_t$  = กระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้า ณ.เวลา  $t$  ใด ๆ

$i_m, V_m$  = กระแสไฟฟ้า, ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด

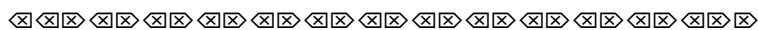
$\omega$  = อัตราเร็วเชิงมุมการหมุนขดลวด

$$\omega = 2\pi f$$

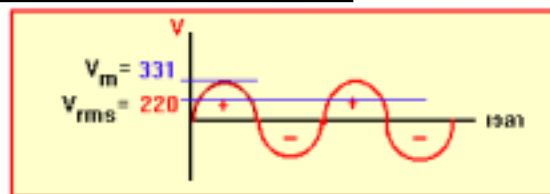
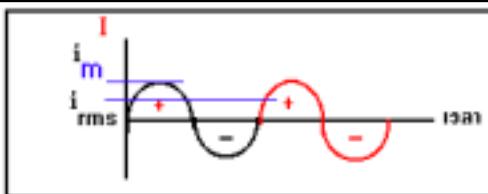
$f$  = ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ



1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับเครื่องหนึ่งผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 20 แอมแปร์ ความต่างศักย์สูงสุด 300 โวลต์ ความถี่กระแสไฟฟ้า 50 Hz จงหากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ ณ เวลา  $\frac{1}{600}$  วินาที หลังจากเปิดเครื่อง



**ค่ารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าสลับ (Root Mean Square)**



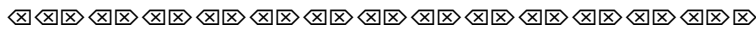
ค่า rms อาจหาได้จากการทดลอง และค่า rms ที่ได้จากการทดลองอาจเรียกว่า **ค่ายังผล**  
 อาจหาได้จากการใช้มิเตอร์วัด และค่า rms ที่ได้จากการใช้มิเตอร์วัดอาจเรียกว่า **ค่ามิเตอร์**

โดยทั่วไปมิเตอร์ที่ใช้วัดกระแสจะออกแบบมาเพื่อใช้วัดค่า  $rms$  โดยตรง ดังนั้นค่าที่ได้จากการใช้มิเตอร์วัด มักเป็นค่า  $rms$

**ความสัมพันธ์ ระหว่างค่า rms และค่าสูงสุด**

$$I_{rms} = \frac{i_m}{\sqrt{2}} \quad \text{และ} \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

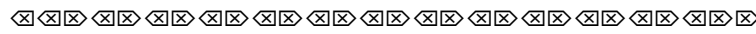
- เมื่อ  $i_{rms}$  = กระแสไฟฟารากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย  
 $i_m$  = กระแสไฟฟ้าสูงสุดของกระแสสลับ  
 $V_{rms}$  = ความต่างศักย์รากที่สองของกำลังสองเฉลี่ย  
 $v_m$  = ความต่างศักย์สูงสุดของกระแสสลับ



2(มข 40) ถ้ากล่าวไฟฟ้าในบ้านมีความต่างศักย์ 220 โวลต์ หมายความว่าความต่างศักย์สูงสุดมีค่ากี่โวลต์

- 1. 110
- 2. 220
- 3.  $0.707 \times 220$
- 4.  $220\sqrt{2}$

3. แอมมิเตอร์กระแสไฟฟ้าสลับต่ออนุกรมกับหลอดไฟอ่านค่าได้ 0.25 แอมแปร์ และ โวลต์มิเตอร์ไฟสลับต่อคร่อมหลอดไฟอ่านความต่างศักย์ 110 โวลต์ จงหากระแสสูงสุด ( $i_0$ ) ที่ไหลผ่านหลอดไฟและความต่างศักย์มากที่สุด ( $v_0$ ) คร่อมหลอดไฟ

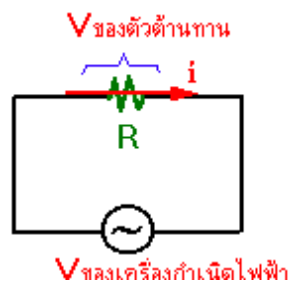


**ตัวต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ**

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านตัวต้านทาน จะเกิดความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานนั้น เราสามารถหาค่าความต่างศักย์ที่เกิดได้จาก

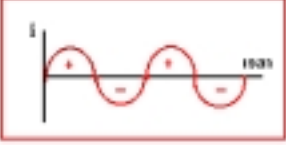
$$V = i \cdot R$$

- เมื่อ  $V$  คือ ความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทาน  
 $i$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  
 $R$  คือ ค่าความต้านทาน ( $\Omega$ )



$$V_m = i_m \cdot R$$

$$V_{rms} = i_{rms} R$$

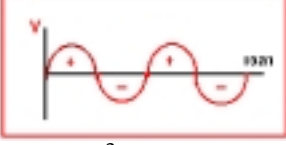


และค่ากระแส ณ เวลาใดๆ หาค่าได้จาก

$$i_R = i_m \sin \omega t$$

และ

$$v_R = v_m \sin \omega t$$



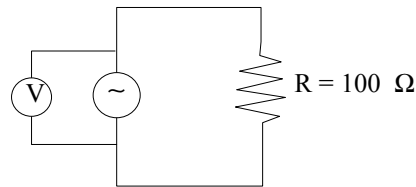
เมื่อ  $i_R, v_R$  = กระแสที่ไหล และความต่างศักย์ของตัวต้านทาน ณ เวลา  $t$  ใดๆ

$i_m, V_m$  = กระแสที่ไหล และความต่างศักย์สูงสุดของตัวต้านทาน

☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒

4(En 41/2) ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับคังรูป ถ้าโวลต์มิเตอร์ V อ่านค่าความต่างศักย์ได้ 200 โวลต์ จงหากระแสสูงสุดที่ผ่านความต้านทาน R

1. 0.70 A
2. 1.41 A
3. 2.0 A
4. 4.8 A



☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒ ☒☒☒

**ตัวเก็บประจุในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ**

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านตัวเก็บประจุ จะเกิดความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุนั้น เราสามารถหาค่าความต่างศักย์ที่เกิดได้จาก

$$V = i \cdot X_C$$

และ

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

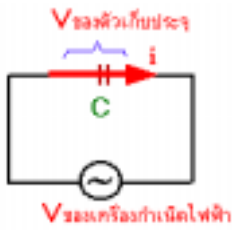
เมื่อ V คือ ความต่างศักย์คร่อมตัวเก็บประจุ

i คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

$X_C$  คือ ค่าความต้านทานเชิงความจุ ( $\Omega$ )

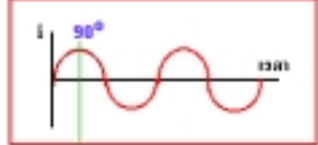
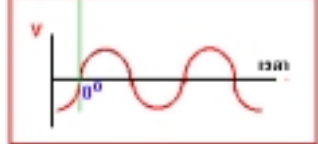
C คือ ค่าความจุประจุ (ฟารัด)

f คือ ความถี่กระแสไฟฟ้า (Hz)



$$V_m = i_m \cdot X_C$$

$$V_{rms} = i_{rms} \cdot X_C$$









50 เฮิรตซ์ จะเกิดกระแสไหลในวงจรเท่าไร

1. 4 A
2.  $\sqrt{17}$  A
3. 5 A
4. 7 A



17. เมื่อนำตัวต้านทานและตัวเก็บประจุอย่างละ 1 ตัวมาต่อขนานกันแล้วต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าสลับที่จ่ายกระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา  $i = 10 \sin(2000t)$  เมื่อนำแอมมิเตอร์มาวัดกระแสที่ผ่านตัวต้านทานอ่านค่าได้ 7 แอมแปร์ อยากทราบว่า ถ้านำแอมมิเตอร์ไปวัดกระแสที่ผ่านตัวเก็บประจุ จะอ่านได้เท่าไร

☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒

**การหาค่ากำลังไฟฟ้ากระแสสลับ**

$P = i V \cos \phi$

เมื่อ  $P =$  กำลังไฟฟ้าของวงจร (วัตต์)  
 $i =$  กระแสรวมในวงจร (แอมแปร์)  
 $V =$  ความต่างศักย์รวมในวงจร (โวลต์)  
 $\cos \phi =$  ตัวประกอบกำลัง

$\cos \phi = \frac{R}{Z}$

**ลองพิจารณา**

$P = i V \frac{R}{Z}$

$P = i i Z \frac{R}{Z}$

$P = i^2 R$

$P = \left(\frac{V}{Z}\right)^2 R$

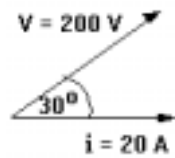
$P = \frac{V^2 R}{Z^2}$

เนื่องจาก  $V = i Z$

เนื่องจาก  $i = \frac{V}{Z}$

☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒ ☒☒☒☒

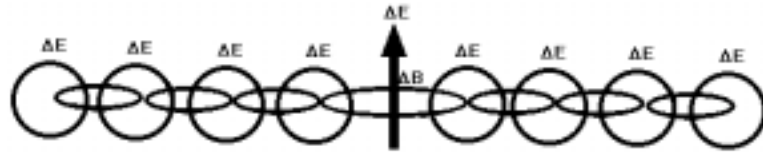
18(En 44/2) ถ้าเฟสของกระแสวิงผลและความต่างศักย์ยังผลของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเป็นดังรูป กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่สูญเสียในวงจรนี้มีค่ากี่กิโลวัตต์



1. 1.8 kW
2. 2.4 kW
3. 3.0 kW
4. 3.5 kW

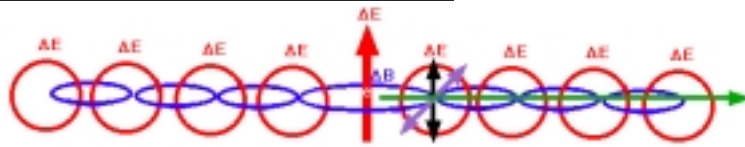
**ตอนที่ 3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**

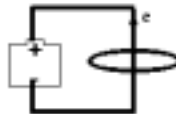
ทฤษฎี ของแมกซ์เวลล์ กล่าวว่า “สนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้า และสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง สามารถทำให้เกิดสนามแม่เหล็กได้”



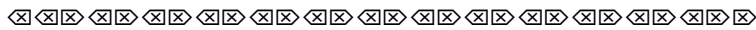
ตามทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ เมื่อมีสนามแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลง จะเกิดการเหนี่ยวนำระหว่างสนามแม่เหล็กกับไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง สุดท้ายจะก่อเกิดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

**ข้อควรทราบเพิ่มเติมเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**



- 1) สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น จะอยู่ในทิศที่ตั้งฉากกันตลอดเวลา จึงถือว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง
  - 2) อิเล็กตรอนที่สั่นสะเทือน จะเหนี่ยวนำทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารอบแนวการสั่นได้ ตัวอย่างเช่นอิเล็กตรอนในเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่าน หรือ อิเล็กตรอนในวัตถุที่มีอุณหภูมิสูง ๆ หรืออิเล็กตรอนที่เปลี่ยนวงโคจรรอบ ๆ อะตอม
  - 3) อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง จะเหนี่ยวนำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้เช่นกัน
  - 4) อิเล็กตรอนที่สั่นสะเทือน จะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารอบแนวการสั่นทุกทิศทาง ยกเว้นแนวที่ตรงกับทิศการสั่นสะเทือน จะไม่มีคลื่นแผ่ออกมา
- 

Electromagnetic wave ΔE
- 5) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิด จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน คือ  $3 \times 10^8$  เมตร/วินาที
  - 6) สนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าทุกสนามในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ถือว่าเกิดพร้อมกันหมด



**19. ข้อความต่อไปนี้ข้อใดกล่าวถูกต้องตามทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**

1. ขณะประจุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วง จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
2. เมื่อสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามไฟฟ้าโดยรอบยกเว้นบริเวณนั้นเป็นฉนวน

3. บริเวณรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าจะเกิดสนามแม่เหล็ก

ก. 1, 2 และ 3

ข. 1 และ 3

ค. 3 เท่านั้น

ง. ตอบเป็นอย่างอื่น

20(มข 38) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดจาก

1. กระแสไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ไหลจากแบตเตอรี่ผ่านตัวนำไฟฟ้าวงจรไฟฟ้า

2. การเคลื่อนที่ของนิวตรอนด้วยความเร่ง

3. วัตถุที่มีอุณหภูมิสูง

4. การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าด้วยความเร็วคงที่

21(มข 31) ข้อใด ไม่ใช่ แหล่งกำเนิดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ก. วัตถุที่มีอุณหภูมิสูง

ข. อะตอมปลดปล่อยพลังงาน

ค. อิเล็กตรอนปลดปล่อยพลังงาน

ง. อิเล็กตรอนในกระแสไฟฟ้าตรงปลดปล่อยพลังงาน

22(En 33) จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้

ก. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ข. กลุ่มอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในตัวนำ

ค. อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความหน่วง

เหตุการณ์ที่จะทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือ

1. ก และ ข

2. ข และ ค

3. ข

4. ค

23(มข 32) หากมีประจุเคลื่อนกลับไปมาคู่หนึ่งดังรูปตาม

ทฤษฎีแมกซ์เวลล์ ประจุนี้จะแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

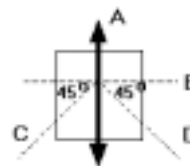
ออกมา แต่มีแนวหนึ่งที่ไม่มีการแผ่ออกมาเลยแนวนั้นคือ

ก. A

ข. B

ค. C

ง. D



24(มข 33) สนามแม่เหล็กที่มาพร้อมกับการเคลื่อนที่ของแสงนั้นจะมีทิศทาง

ก. ขนานกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของแสง

- ข. ขนานกับสนามไฟฟ้าแต่เฟสต่างกัน 90 องศา
- ค. ตั้งฉากกับทั้งสนามไฟฟ้าและทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง
- ง. ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้า แต่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแสง

25(มข 33) จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดไม่ถูกต้อง

- ก. การเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสนามไฟฟ้า
- ข. สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฟสต่างกัน  $90^\circ$
- ค. สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สนามไฟฟ้า และ สนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากซึ่งกันและกัน และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย
- ง. ในตัวกลางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกความถี่มีความเร็วเท่ากันหมด

☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒

**สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า**

แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในจักรวาลนี้ คือ ดวงอาทิตย์  
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกมาจากดวงอาทิตย์ จะแบ่งแยกได้ 8 ชนิด ดังตารางต่อไปนี้

สเปกตรัม	การเรียงลำดับความถี่	การเรียงลำดับความยาวคลื่น	การเรียงลำดับพลังงาน
รังสีแกมมา	↓	↑	↓
รังสีเอ็กซ์			
รังสีอัลตราไวโอเล็ต			
แสงขาว			
รังสีอินฟราเรด			
คลื่นไมโครเวฟ			
คลื่นวิทยุ			
ไฟฟ้ากระแสลัดล้น			

**อย่าลืม** คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกสเปกตรัม จะมีความเร็วเท่ากันหมด คือ  $3 \times 10^8$  m/s

☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒ ☒





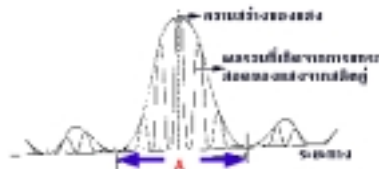
34(มข 32) ในการทดลองโดยใช้สลิตคู่ ( double slit ) บริเวณที่ปรากฏเป็นแถบสว่างแถบแรก ทั้งสองข้างของแถบสว่างกลางบนฉาก จะเป็นบริเวณที่คลื่นเดินทางมาจากสลิตทั้งสองเส้น ทางเดินที่มีระยะทางต่างกันเท่ากับ

- ก.  $\frac{\lambda}{4}$                       ข.  $\frac{2}{\lambda}$                       ค.  $\lambda$                       ง.  $2\lambda$

35. เมื่อฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 700 nm ตกตั้งฉากบนช่องแคบคู่หนึ่งซึ่งห่างกัน 0.2 mm จงหาว่าแถบสว่างลำดับที่ 10 ทั้งสองด้านจะทำมุมกันกี่องศา ( $\sin 2^\circ = 0.035$ )

36. ช่องแคบคู่หนึ่งห่างกัน 0.1 mm เมื่อฉายแสงความยาวคลื่น 600 nm ตกตั้งฉากบนช่องแคบ แถบสว่างลำดับที่ 4 บนฉากที่ห่างออกไป 80 cm จะอยู่ห่างจากแนวกลางเท่าใด

37. รูปข้างขวาแสดงความสว่างซึ่งเป็นผลจากการเลี้ยวเบนและแทรกสอดของแสงที่ผ่านสลิตคู่ เมื่อแสงมีความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร ระยะห่างระหว่างช่องสลิตทั้งสองเท่ากับ 0.10 mm ความกว้างของแต่ละสลิตเท่ากับ 0.02 mm และฉากอยู่ห่างจากสลิต 50 cm จงหาระยะ A ในหน่วยของเซนติเมตร



38(En 42/1) เมื่อใช้แสงที่มีความยาวคลื่น  $5.0 \times 10^{-7}$  เมตร ตกตั้งฉากกับสลิตคู่เกิดภาพการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างออกไป 1.2 เมตร ถ้าระยะห่างระหว่างสลิตคู่เท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร แถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันอยู่ห่างกันกี่มิลลิเมตร

39(En 43/2) เมื่อให้แสงที่มีค่าความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ผ่านสลิตคู่ที่มีระยะระหว่างช่องทั้งสอง 200 ไมโครเมตร จะเกิดการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างออกไป 1.20 เมตร จงหาระยะระหว่างแถบสว่างที่อยู่ติดกันในหน่วยมิลลิเมตร

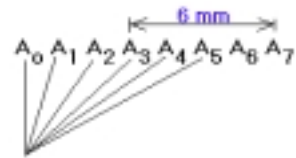
40(En 43/1) ให้แสงที่มีความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ผ่านสลิตคู่ในแนวตั้งฉาก เกิดลวดลายการแทรกสอดบนฉากที่อยู่ห่างจากสลิต 1.5 เมตร วัดระยะระหว่างกึ่งกลางของแถบสว่าง 2 แถบที่ติดกันได้ 5 มิลลิเมตร สลิตคู่นี้มีระยะห่างระหว่างช่องสลิตเท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร

41(มข 43) แสงสีเหลืองความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร

ตกตั้งฉากผ่านสลิตคู่อันหนึ่ง พบว่าบนฉากที่ห่างออกไป

1.5 เมตร แถบสว่างลำดับที่ 3 และลำดับที่ 7 อยู่ห่างกัน

6 มิลลิเมตร ช่องทั้งสองของสลิตคู่นี้ อยู่ห่างกันกี่ไมโครเมตร



42(En 44/1) จากการทดลองหาความยาวคลื่นของแสงสีหนึ่ง โดยวางฉากรับรีวิการแทรกสอด

ไว้ห่างจากแผ่นสลิตคู่ เป็นระยะทาง 120 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างสลิตทั้งสอง

เป็น 0.03 มิลลิเมตร พบว่ามีแถบสว่าง-มืด เกิดขึ้นบนฉากหลายแถบ ถ้าวัดจากแถบสว่าง

ที่หนึ่งไปยังแถบสว่างที่ห้า พบว่ามีระยะห่างกัน 9.0 เซนติเมตร แสงสีนี้มีความยาวคลื่น

เท่าไร ในหน่วยนาโนเมตร

43(En 41) แสงขาวตกตั้งฉากกับเกรตติง สเปกตรัมลำดับที่ 3 ของแสงสีม่วงตรงกับสเปกตรัม

ลำดับที่ 2 ของแสงสีแดง ถ้าความยาวคลื่นของแสงสีม่วงเป็น 440 นาโนเมตร ความยาว

คลื่นของแสงสีแดงเป็นกี่นาโนเมตร

44(มข 31) เกรตติงมี 2,000 เส้นต่อเซนติเมตร ถ้าฉายแสงความยาวคลื่นขนาดหนึ่งไปยัง

เกรตติงนี้ แถบสว่างที่เกิดขึ้นแถบแรกบนจอจะอยู่ห่างจากแนวกลางเป็นมุม 30 องศา

แสงนั้นมีความยาวคลื่นเท่าใดในหน่วยนาโนเมตร

ก.  $1.5 \times 10^{-6}$

ข.  $2.5 \times 10^{-6}$

ค.  $1.5 \times 10^3$

ง.  $2.5 \times 10^3$

45(En 36) จากการทดลองเพื่อศึกษาสเปกตรัมของก๊าซไฮโดรเจน โดยใช้เกรตติง ซึ่งมีจำนวน

ช่อง/เซนติเมตร เท่ากับ 4,500 ดังรูป พบว่าเมื่อระยะ D เท่ากับ 1 เมตร จะมีแถบสว่าง

สีเดียวกันบนไม้เมตรห่างจากจุด O ทั้งทางด้านซ้ายและขวาเท่ากันคือ 0.3 เมตร จงหาว่า

แถบสว่างนั้นมีความยาวคลื่นประมาณ

1. 464 nm

2. 565 nm

3. 632 nm

4. 667 nm

