

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (24장) - by 송현석

1. 두 개의 백열전구로부터 나오는 빛의 세기가 각각 I 라면, 두 빛이 결합되었을 때 표면을 비추는 빛의 세기는 얼마인가?

$$I + I = 2I$$

< 백열전구로부터 나오는 빛은 결맞음이 좋지 않아 간섭효과를 일으키지 않음 >

2. 이중 슬릿의 간격이 0.100 cm 이고, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 60.0 cm 이다. 스크린 상에 밝은 무늬가 중심점에서 0.0480 cm 떨어진 곳에 생겼다면, 투과한 빛의 파장은?

$$d = 0.100\text{ cm} = 0.100 \times 10^{-2}\text{ m}, \quad L = 60.0\text{ cm} = 0.600\text{ m}$$

$$x_1 = 0.0480\text{ cm} = 4.80 \times 10^{-4}\text{ m}$$

$$\begin{cases} d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = m\lambda & (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \text{보강} \\ d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda & (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \text{상쇄} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \quad \lambda &\approx \frac{dx_1}{L} \quad (m = 1) \quad \text{보강} \\ &= \frac{(0.100 \times 10^{-2}\text{ m}) \times (4.80 \times 10^{-4}\text{ m})}{(0.600\text{ m})} = 0.8 \times 10^{-6}\text{ m} = 800 \times 10^{-9}\text{ m} = 800\text{ nm} \end{aligned}$$

3. 이중 슬릿 실험에서 파장이 546 nm 이고 슬릿 간격이 0.100 mm , 스크린까지의 거리가 20.0 cm 인 경우, 3번째의 밝은 무늬(최대점)에서 5번째의 어두운 무늬(최소점)까지의 거리를 구하여라.

$$\lambda = 546\text{ nm} = 546 \times 10^{-9}\text{ m}, \quad d = 0.100\text{ mm} = 0.100 \times 10^{-3}\text{ m}, \quad L = 20.0\text{ cm} = 0.200\text{ m}$$

$$\begin{cases} d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = m\lambda & (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \text{보강} \\ d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda & (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad \text{상쇄} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{보강} \quad x_{n=3} = \frac{L}{d} \times 3\lambda = \frac{0.200\text{ m}}{0.100 \times 10^{-3}\text{ m}} \times 3 \times (546 \times 10^{-9}\text{ m}) = 3.276 \times 10^{-3}\text{ m} \\ \hspace{15em} = 3.276\text{ mm} \\ \text{상쇄} \quad x_{n=4} = \frac{L}{d} \times \frac{9}{2}\lambda = \frac{0.200\text{ m}}{0.100 \times 10^{-3}\text{ m}} \times \frac{9}{2} \times (546 \times 10^{-9}\text{ m}) = 4.914 \times 10^{-3}\text{ m} \\ \hspace{15em} = 4.914\text{ mm} \end{cases}$$

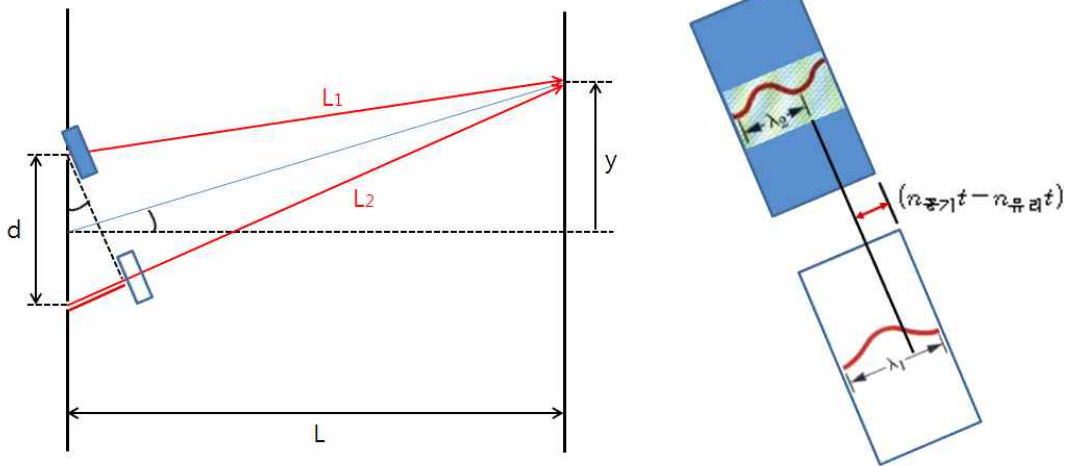
$$\Delta x = x_{n=4} \text{ 상쇄} - x_{n=3} \text{ 보강} = 4.914\text{ mm} - 3.276\text{ mm} = 1.638\text{ mm}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (24장) - by 송현석

4. Young의 이중 슬릿 실험에서 슬릿 간격은 d 이고 슬릿과 스크린 사이 거리는 D 이다.
이 이중 슬릿에 파장이 λ 인 빛이 입사하는 경우, 단위길이당 간섭무늬 수는?

$$d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = m\lambda \quad \Rightarrow \quad \frac{m}{x} = \frac{d}{\lambda L}$$

5. 이중 슬릿에서 한 슬릿을 두께가 0.300 mm 이고 굴절률이 1.50 인 얇은 유리판으로 덮었다. 이때, 유리판을 덮기 전 중앙 극대였던 지점은 스크린에서 얼마만큼 이동하겠는가?
단, 슬릿에서 스크린까지의 거리는 2.00 m 이고 슬릿 사이의 간격은 0.400 mm 이다.



$$t = 0.300 \text{ mm} = 0.300 \times 10^{-3} \text{ m}, \quad n = 1.50, \quad L = 2.00 \text{ m}$$

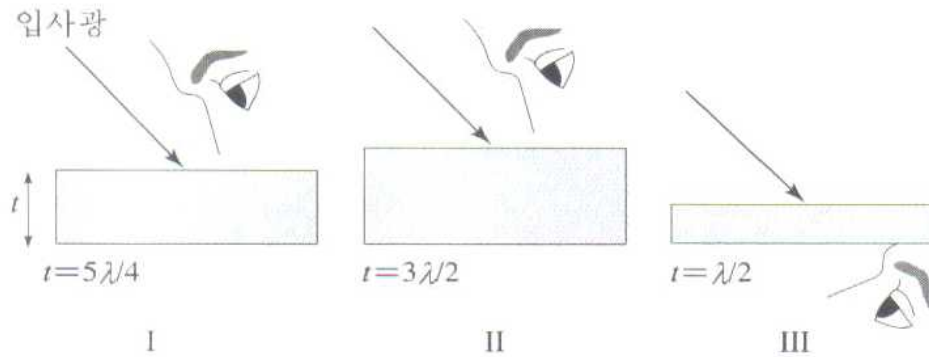
$$d = 0.400 \text{ mm} = 0.400 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{경로차} &= L_2 - L_1 = d \sin \theta + (n_{\text{공기}} t - n_{\text{유리}} t) = m\lambda \\ \Rightarrow d \sin \theta + (n_{\text{공기}} - n_{\text{유리}}) t &= m\lambda \\ \Rightarrow \sin \theta &= \frac{m\lambda + (n_{\text{유리}} - n_{\text{공기}}) t}{d} \end{aligned}$$

$$\langle \tan \theta \approx \sin \theta \approx \frac{y}{L} \rangle \quad \Rightarrow \quad y = L \sin \theta = L \frac{m\lambda + (n_{\text{유리}} - n_{\text{공기}}) t}{d}$$

$$\begin{aligned} \langle \text{중앙극대 } m = 0 \rangle \quad \Rightarrow \quad y &= L \frac{(n_{\text{유리}} - n_{\text{공기}}) t}{d} \\ &= 2.00 \text{ m} \times \frac{(1.50 - 1.00) \times (0.300 \times 10^{-3} \text{ m})}{(0.400 \times 10^{-3} \text{ m})} \\ &= 0.750 \text{ m} \end{aligned}$$

6. 그림은 세 가지 박막 실험을 보여 준다. t 는 박막의 두께이고 λ 는 박막 내에서의 빛의 파장이다. 세 실험 중에서 보강간섭무늬를 볼 수 있는 것을 모두 골라 보아라.



$$\begin{cases} 2t = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \\ 2t = m\lambda \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I & 2t = 2 \times \frac{5}{4}\lambda = \frac{5}{2}\lambda = \left(2 + \frac{1}{2}\right)\lambda & \text{보강} \\ II & 2t = 2 \times \frac{3}{2}\lambda = 3\lambda & \text{상쇄} \\ III & 2t = 2 \times \frac{1}{2}\lambda = 1\lambda & \text{보강} \end{cases}$$

7. 유리 표면에 MgF_2 로 된 박막을 입혀서 반사를 줄이고자 한다(유리의 굴절률은 1.60, MgF_2 의 굴절률은 1.38이다). 파장이 500 nm 인 빛이 수직으로 입사할 때, 반사를 최소화시키는 데 필요한 박막의 최소두께는 얼마인가?

$$\begin{cases} 2nt = m\lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) & \text{보강} \\ 2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) & \text{소멸} \end{cases}$$

$$\Rightarrow 2nt = \left(0 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{1}{2}\lambda \quad (m = 0) \quad \text{소멸}$$

$$\Rightarrow t = \frac{\lambda}{4n} = \frac{(500\text{ nm})}{4 \times 1.38} \approx 90.58\text{ nm}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (24장) - by 송현석

8. 굴절률이 3.50인 기관 위에 굴절률이 2.50인 물질로 박막을 만들었다.

이 박막에 수직으로 빛을 비추었을 때, 반사된 빛의 파장이 6000 \AA 일 때 소멸간섭이 일어나고 7000 \AA 일 때 보강간섭이 일어났다. 이 박막의 최소 두께를 구하여라.

$$\begin{cases} 2nt = m\lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 보강} \\ 2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 소멸} \end{cases}$$

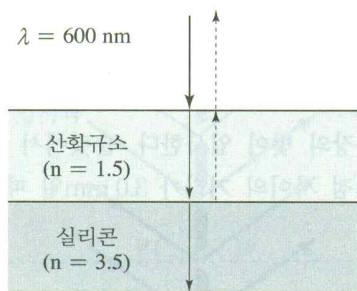
$$\begin{cases} t = \frac{m\lambda}{2n} = \frac{m \times (7000 \text{ \AA})}{2 \times (2.50)} & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 보강} \\ t = \left(\frac{m}{2n} + \frac{1}{4n}\right) \lambda = \left(\frac{m}{2 \times (2.50)} + \frac{1}{4 \times (2.50)}\right) \times (6000 \text{ \AA}) & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 소멸} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{m \times (7000 \text{ \AA})}{2 \times (2.50)} = \left(\frac{m}{2 \times (2.50)} + \frac{1}{4 \times (2.50)}\right) \times (6000 \text{ \AA})$$

$$\Rightarrow \frac{7000 \text{ \AA}}{5.00} \times m = \frac{6000 \text{ \AA}}{5.00} \times m + \frac{6000 \text{ \AA}}{10.0} \Rightarrow \frac{1000 \text{ \AA}}{5.00} \times m = \frac{3000 \text{ \AA}}{5.00} \Rightarrow m = 3$$

$$\begin{cases} t = \frac{m\lambda}{2n} = \frac{3 \times (7000 \text{ \AA})}{2 \times (2.5)} = 4200 \text{ \AA} & (m = 3) \text{ 보강} \\ t = \left(\frac{m}{2n} + \frac{1}{4n}\right) \lambda = \left(\frac{3}{2 \times (2.5)} + \frac{1}{4 \times (2.5)}\right) \times (6000 \text{ \AA}) = 4200 \text{ \AA} & (m = 3) \text{ 소멸} \end{cases}$$

9. 아래 그림과 같이 실리콘 태양전지 표면에서 빛의 반사를 줄이기 위해 산화규소와 같은 투명한 박막을 코팅한다. 이 태양전지에 파장이 600 nm 인 빛을 수직으로 입사시켰을 때 반사를 최소화하기 위한 박막의 최소 두께는 얼마인가? (실리콘과 산화규소의 굴절률은 각각 3.50와 1.50이다.)



$$\begin{cases} 2nt = m\lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 보강} \\ 2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 소멸} \end{cases}$$

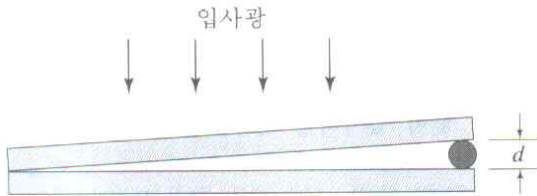
$$\Rightarrow t = \left(\frac{m}{2n} + \frac{1}{4n}\right) \lambda \quad (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \text{ 소멸}$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{4n} \lambda \quad (m = 0)$$

$$\Rightarrow t = \frac{1}{4n} \lambda = \frac{1}{4 \times (1.50)} \times 600 \text{ nm} = \frac{1}{6.00} \times 600 \text{ nm} = 100 \text{ nm}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (24장) - by 송현석

10. 길이가 20.0 mm 인 두 개의 슬라이드글라스(현미경에서 쓰이는 평평하고 얇은 유리판)를 겹쳐 놓고 한쪽 끝에는 두 유리 사이에 지름 0.0500 mm 인 머리카락을 끼워 놓았다. 파장이 630 nm 인 빛이 유리판에 수직으로 입사하면 윗면에 간섭에 의해 간섭무늬가 생긴다. 간섭무늬 사이의 간격을 구하여라.



$$x = 20.0\text{ mm} = 20.0 \times 10^{-3}\text{ m}, \quad d = 0.0500\text{ mm} = 0.0500 \times 10^{-3}\text{ m}$$

$$\lambda = 630\text{ nm} = 630 \times 10^{-9}\text{ m}$$

$$2d = m\lambda \quad \Rightarrow \quad m = \frac{2d}{\lambda}$$

$$\text{간격} = \frac{x}{m} = \frac{\lambda x}{2d} = \frac{(630 \times 10^{-9}\text{ m}) \times (20.0 \times 10^{-3}\text{ m})}{2 \times (0.0500 \times 10^{-3}\text{ m})} = 0.126 \times 10^{-3}\text{ m} = 0.126\text{ mm}$$

11. 라디오파가 건물 모서리에서 가시광선에 비해 잘 회절되는 이유는 무엇인가?

가시광선 보다 라디오파의 파장이 더 크기 때문에

12. 단일 슬릿에서 600 nm 파장의 빛이 입사한다. 슬릿에서 1.00 m 떨어져 있는 스크린에 첫 번째와 세 번째 어두운 지점 사이의 거리가 3.00 mm 일 때 슬릿의 폭은 얼마인가?

$$\lambda = 600\text{ nm}, \quad L = 1.00\text{ m}$$

$$\sin\theta \approx \theta = \frac{y}{L} = \frac{m\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad \text{상쇄}$$

$$\Rightarrow y = \frac{m\lambda L}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad \text{상쇄}$$

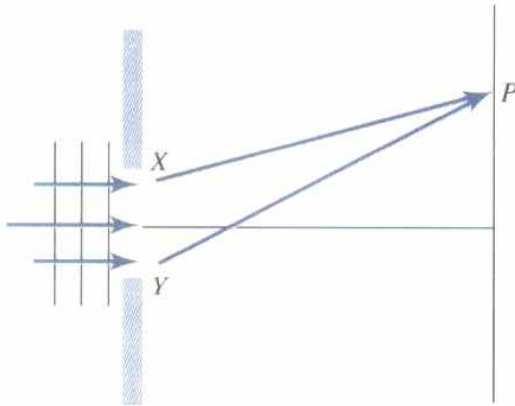
$$\Rightarrow \Delta y = \frac{(3-1)\lambda L}{a} = 3.00 \times 10^{-3}\text{ m} \quad (m = 1 \text{ and } 3)$$

$$\Rightarrow a = \frac{(3-1)\lambda L}{\Delta y} = \frac{(3-1) \times (600 \times 10^{-9}\text{ m}) \times (1.00\text{ m})}{3.00 \times 10^{-3}\text{ m}}$$

$$= 0.400 \times 10^{-3}\text{ m}$$

$$= 0.400\text{ mm}$$

13. 아래 그림은 단일 슬릿에 입사하는 평행광을 나타낸 것이다. 점 P 에서 두 번째 극소가 나타났다면 두 광의 경로차 $PX - PY$ 는 파장의 몇 배인가?



2배

$$\text{경로차} = PX - PY = a \sin \theta \approx \frac{ay}{L} = m\lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

14. 슬릿 크기가 0.0200 mm 이고 슬릿 간 간격이 0.0500 mm 인 이중 슬릿에 단일 파장의 빛이 입사하는 경우, 중앙 회절무늬 안에 들어가는 간섭무늬 수는?

$$a = 0.0200 \text{ mm} = 0.0200 \times 10^{-3} \text{ m}, \quad d = 0.0500 \text{ mm} = 0.0500 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\begin{cases} d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = m\lambda \Rightarrow x = \frac{L}{d} \lambda \\ a \sin \theta \approx \frac{ay}{L} = m\lambda \Rightarrow y = \frac{L}{a} \lambda \end{cases} \Rightarrow \frac{2y}{x} = \frac{2 \frac{L}{a} \lambda}{\frac{L}{d} \lambda} = \frac{2d}{a} = \frac{2 \times 0.0500 \text{ mm}}{0.0200 \text{ mm}} = 5 \text{개}$$

15. 파장이 480 nm 인 빛을 슬릿의 폭이 0.0200 mm 이고 슬릿 사이의 간격이 0.100 mm 인 이중슬릿을 통해 회절 시켰을 때 50 cm 떨어진 곳에 있는 스크린에 나타나는 회절무늬에서 간섭무늬의 간격을 구하고, 또 회절에 의한 싸개선(envelope)의 최대점에서 첫 번째 최소점까지의 거리를 구하여라.

$$\begin{aligned} \lambda &= 480 \text{ nm} = 480 \times 10^{-9} \text{ m}, & a &= 0.0200 \text{ mm} = 0.0200 \times 10^{-3} \text{ m}, \\ d &= 0.100 \text{ mm} = 0.100 \times 10^{-3} \text{ m}, & L &= 50 \text{ cm} = 0.50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$d \sin \theta \approx \frac{dx}{L} = m\lambda \Rightarrow x = \frac{L}{d} \lambda = \frac{0.50 \text{ m}}{(0.100 \times 10^{-3} \text{ m})} \times (480 \times 10^{-9} \text{ m}) = 2.40 \text{ mm}$$

$$a \sin \theta \approx \frac{ay}{L} = m\lambda \Rightarrow y = \frac{L}{a} \lambda = \frac{0.50 \text{ m}}{(0.0200 \times 10^{-3} \text{ m})} \times (480 \times 10^{-9} \text{ m}) = 12.0 \text{ mm}$$

대학물리학 (제4판) 연습문제 풀이 (24장) - by 송현석

16. 파장이 650 nm 인 레이저를 회절격자에 수직으로 입사하였다. 회절격자에는 1.00 cm 당 6000개의 선이 그어져 있다. 밝은 무늬가 관찰되는 각 차수에 대한 각도를 구하여라. 몇 차의 밝은 무늬까지 관찰되는가?

$$\lambda = 650\text{ nm} = 650 \times 10^{-9}\text{ m}, \quad d = \frac{0.0100\text{ m}}{6000} = \frac{1.00 \times 10^{-2}\text{ m}}{6 \times 10^3} = \frac{1}{6} \times 10^{-5}\text{ m}$$

$$d \sin \theta = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad \text{보강}$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0\text{차} & \sin \theta_0 = \frac{0 \times \lambda}{d} = \frac{0 \times 650 \times 10^{-9}\text{ m}}{\frac{1}{6} \times 10^{-5}\text{ m}} = 0 \Rightarrow \sin \theta_0 \approx 0^\circ \quad \text{가능} \\ 1\text{차} & \sin \theta_1 = \frac{1 \times \lambda}{d} = \frac{1 \times 650 \times 10^{-9}\text{ m}}{\frac{1}{6} \times 10^{-5}\text{ m}} = 0.39 \Rightarrow \sin \theta_1 \approx 22.95^\circ \quad \text{가능} \\ 2\text{차} & \sin \theta_2 = \frac{2 \times \lambda}{d} = \frac{2 \times 650 \times 10^{-9}\text{ m}}{\frac{1}{6} \times 10^{-5}\text{ m}} = 0.78 \Rightarrow \sin \theta_2 \approx 51.26^\circ \quad \text{가능} \\ 3\text{차} & \sin \theta_3 = \frac{3 \times \lambda}{d} = \frac{3 \times 650 \times 10^{-9}\text{ m}}{\frac{1}{6} \times 10^{-5}\text{ m}} = 1.17 \Rightarrow \sin \theta_3 > 90^\circ \quad \text{불가능} \end{array} \right.$$

- 17*. 격자층 간격이 0.282 nm 인 결정에 의해 회절될 수 있는 X-선의 최대파장은 얼마인가?

$$d = 0.282\text{ nm}$$

$$2d \sin \theta = m\lambda$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2d \sin \theta}{m} = \frac{2 \times (0.282\text{ nm}) \times \sin 90^\circ}{1} = \frac{2 \times (0.282\text{ nm}) \times 1}{1} = 0.564\text{ nm}$$

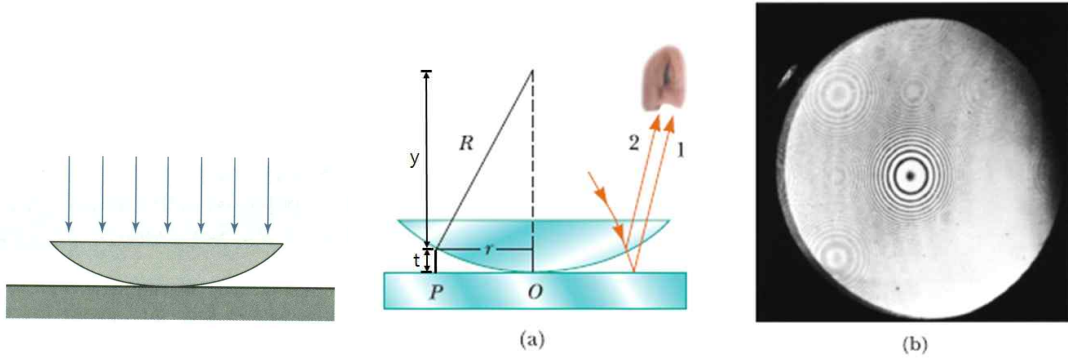
- 18*. 단일 파장의 X-선이 소금결정(격자 상수 = 0.300 nm)에 입사한다. X-선이 소금결정면의 수직 방향에서 60° 돌아간 경우 첫 번째의 브래그 반사가 관측되었다. X-선의 파장은 얼마인가?

$$d = 0.300\text{ nm}, \quad \theta = 60^\circ, \quad m = 1$$

$$2d \sin \theta = m\lambda$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \lambda &= 2d \sin \theta = 2 \times (0.300\text{ nm}) \times \sin 60^\circ = 2 \times (0.300\text{ nm}) \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.5196\text{ nm} \\ &= 5.196 \text{ \AA} \end{aligned}$$

19. 그림과 같이 뉴턴의 원 무늬 장치에 파장이 600nm 인 단색광을 수직하게 위에서 입사시켰더니 동심원의 간섭무늬가 관측되었다. 렌즈의 구면 반지름이 10.0m 일 때, 중심에서 두 번째 밝은 무늬의 반지름은 얼마인가?



$$y = \sqrt{R^2 - r^2} = (R^2 - r^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\begin{aligned} t = R - y \quad \Rightarrow \quad t = R - (R^2 - r^2)^{\frac{1}{2}} &= R - R\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^{\frac{1}{2}} \approx R - R\left(1 - \frac{1}{2} \frac{r^2}{R^2} \dots\dots\right) \\ &= R - R + \frac{1}{2} \frac{r^2}{R} \dots\dots = \frac{1}{2} \frac{r^2}{R} \dots\dots \end{aligned}$$

$$\Rightarrow r^2 \approx 2Rt \quad \Rightarrow \quad r \approx \sqrt{2Rt}$$

$$\lambda = 600\text{nm}, \quad R = 10.0\text{m}, \quad n = 1$$

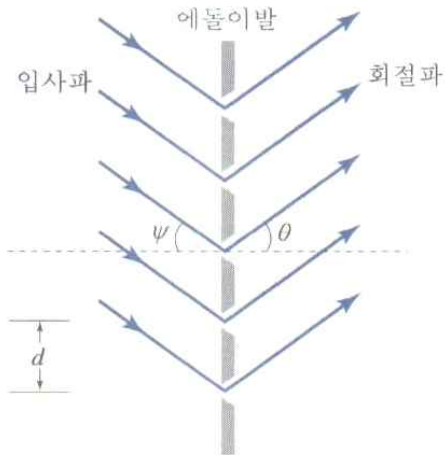
$$\begin{cases} 2nt = m\lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad \text{소멸} \quad \Rightarrow \quad t = \frac{m\lambda}{2n} \\ 2nt = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad \text{보강} \quad \Rightarrow \quad t = \frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda}{2n} \end{cases}$$

$$\begin{cases} r \approx \sqrt{2Rt} = \sqrt{\frac{m\lambda R}{n}} & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad \text{소멸} \\ r \approx \sqrt{2Rt} = \sqrt{\frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda R}{n}} & (m = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad \text{보강} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow r &= \sqrt{\frac{\left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda R}{n}} = \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{1}{2}\right) \times (600 \times 10^{-9}\text{m}) \times (10.0\text{m})}{1}} \quad (m = 1) \quad \text{보강} \\ &= 3.00 \times 10^{-3}\text{m} \\ &= 3.00\text{mm} \end{aligned}$$

20. 회절격자에 대한 일반적인 조건 - 그림에서처럼 회절격자에 빛이 입사하는 경우 밝은 무늬가 나타나는 조건은 아래 식과 같이 결정됨을 증명하라.

$d(\sin\psi + \sin\theta) = m\lambda$ ($m = 0, 1, 2, \dots$) 본문에서는 $\psi = 0$ 인 경우만 다룬 것이다.



$$\text{경로차} = d(\sin\psi + \sin\theta) = m\lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

21*. 파장과 위상이 같은 두 레이저빔이 자유 공간을 지나 한 점에서 만날 때 서로 보강 간섭과 상쇄간섭을 일으키기 위한 두 파동의 진행 경로차는 각각 얼마가 되어야 하는가?

22*. 단일 슬릿에 의한 간섭무늬의 가운데 중앙 띠는 밝은 띠인가 아니면 어두운 띠인가? 그리고 그 띠의 넓이는 슬릿의 크기가 작아지면 어떻게 변하는가?

23*. 진공중착으로 유리판 위에 박막을 형성하는 동안 백색광을 비추면서 일정한 각도에서 관찰을 하면 색깔의 변화가 어떠한 순서로 일어나는가?

24*. 일반 광원보다 레이저 광원이 슬릿을 이용한 간섭 실험을 수행하는 데 훨씬 더 유리하다. 그 이유를 설명해 보라.

25*. 담 너머에 있는 사람을 볼 수는 없지만 그 사람이 하는 이야기는 들을 수 있다. 그 이유는 무엇일까?