

[최고의 수험물리 전문가]

윤형철

변리사 탄탄물리

[개념+기출]

— 17장 광학 —

“물리는 외우는 과목이 아니라 생각하는 과목입니다.”

세 가지 강의 철학

목차

— 성장기반 물리

(Grow-based Physics)

— 취사선택 물리

(Cut-off Strategy Physics)

— 생각하는 물리

(Thinking Physics)



물리

윤형철 교수

물리 윤형철 교수입니다.

약력

전남과학고등학교 졸업
서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업

전 대치 미래탐구
전 대치 새움학원
현 대치 링크물리
현 변리사스쿨 물리 전문교수

개념 POINT

[광학 개관]

물리현상 (문제상황)	→ 물리량	물리법칙
광학현상		반사의 법칙 굴절의 법칙

I. 기하광학

1. 빛

2. 빛의 반사

1 광학적 소·밀

광속도가 큰 물질에 대하여 광속도가 작은 물질을 광학적으로 밀하다고 하고, 반대로 광속도가 큰 물질을 광학적으로 소하다고 한다. 즉, 상대적으로 굴절률이 큰 매질을 밀한 매질, 굴절률이 작은 매질을 소한 매질이라고 한다.

2 반사의 법칙

빛이 진행하다 다른 매질의 경계면에서 반사할 때,

① 입사 광선과 반사 광선은 법선의 양쪽에 있고 두 광선은 법선과 동일 평면 내에 있다.

② 입사각 i 와 반사각 i' 는 같다.

$$\angle i = \angle i'$$

이것을 반사의 법칙(law of reflection)

그림 5.2.6

이라고 한다. 우리가 모든 물체를 볼 수 있는 것은 물체에서 반사된 빛이 우리 눈으로 들어오기 때문이다.

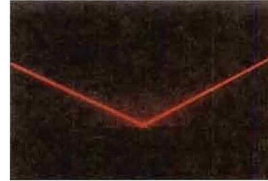
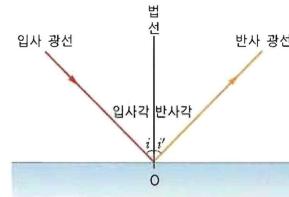


그림 5.2.7

거울에서 레이저 광선의 반사

3 빛의 반사와 위상 변화

빛이 진행하다가 다른 매질의 경계면에 도달하면 일부는 반사하고 일부는 굴절한다. 이때 굴절하는 빛은 위상이 변하지 않으나 반사하는 경우에는 위상이 변하지 않는 경우와 위상이 $180^\circ \left(\pi, \frac{\lambda}{2} \right)$ 만큼 변하는 경우가 있다.

빛이 광학적으로 소한 매질에서 밀한 매질로 입사하여 반사할 때(고정단 반사) 경계면에서 반사하는 빛의 위상은 입사하는 빛의 위상과 $180^\circ \left(\pi, \frac{\lambda}{2} \right)$ 변한다.

빛이 광학적으로 밀한 매질에서 소한 매질로 입사하여 반사할 때(자유단 반사) 경계면에서 반사하는 빛의 위상은 변하지 않고 항상 입사하는 빛의 위상과 같다.

파동의 진행에서 파장보다 작은 물체가 진로에 있으면 근처에서 약간 교란되지만, 그 뒤로는 물체가 없었던 것처럼 진행한다. 하지만 파장 정도의 물체가 있으면 파동은 사방으로 반사파를 낸다(산란).

개념 POINT

3. 평면 거울에 의한 상

개념 POINT



그림 5.2.10
거울에 의한 반사

5 평면 거울에 의한 상

그림 5.2.9와 같이 평면 거울 앞에 물체 AB가 있을 때 물체에서 나오는 빛이 반사의 법칙에 따라 반사하여 관측자의 눈에 도달하면 관측자에게는 반사된 빛이 마치 거울 뒤 A'B'에서 나오는 것처럼 보인다. 이때 A'B'를 상(image)이라고 한다.

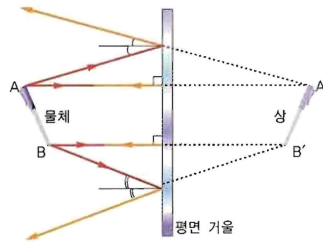


그림 5.2.9

[1] 평면 거울에 의한 상

물체와 대칭 위치에 항상 크기가 같고, 좌우가 반대인 정립 허상이 생긴다.

[2] 실상과 허상

빛이 반사 또는 굴절한 후 빛이 실제로 모여서 생기는 상을 실상(real image), 반사 광선 또는 굴절 광선의 연장선이 모여서 맺는 상을 허상(virtual image)이라고 한다.

[3] 두 개의 평면 거울에 의한 상

그림 5.2.11과 같이 두 개의 평면 거울을 각 θ 로 놓을 때 생기는 상의 수는 다음과 같다.

$$\frac{360^\circ}{\theta} = n(\text{정수})$$

n 이 짝수이면 상의 수는 $(n-1)$ 개, n 이 홀수이면 상의 수는 n 개, 물체가 이등분선 위에 있을 때 상은 각각 $(n-1)$ 개가 생긴다.

[4] 평면 거울의 이동과 물체의 상

- ① 평면 거울을 각 θ 만큼 회전시키면 반사 광선은 2θ 만큼 변한다.
- ② 평면 거울을 물체 쪽으로 거리 d 만큼 이동시키면 상은 $2d$ 만큼 이동한다. 즉, 물체가 속도 v 로 거울에 대해 운동하면 물체의 상은 $2v$ 의 속도로 운동한다.

[5] 전신을 볼 수 있는 거울의 크기

사람의 크기가 AB, 눈의 위치가 E이면 상 A'B'는 거울 MN에 대해 대칭의 위치에 생긴다.

그림 5.2.12에서 $\triangle EMN$ 과 $\triangle EA'B'$ 는 닮았으므로, $MN = \frac{1}{2}A'B' = \frac{1}{2}AB$ 이다. 따라서 전신을 보려면 거울의 최소 크기는 전신의 $\frac{1}{2}$ 이면 된다.

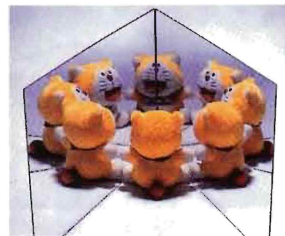


그림 5.2.11

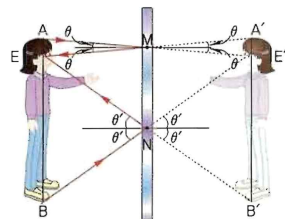


그림 5.2.12

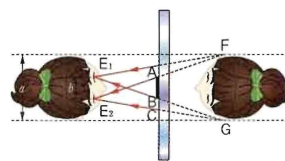


그림 5.2.13

[6] 얼굴의 가로 길이를 전부 보는 거울의 크기

사람의 얼굴 가로 크기를 a , 두 눈 사이 거리를 b 라고 하면, 그림 5.2.13과 같이 얼굴의 상은 대칭 거리에 생기고, 두 눈으로 거울 속 상의 양쪽 귀 부분을 보면 된다. 따라서 필요한 거울의 최소 크기는 AB가 된다.

그림에서 $\triangle E_2FG \sim \triangle E_2AC$ 이므로 $\overline{AC} = \frac{1}{2}\overline{FG} = \frac{1}{2}a$, 또 $\triangle E_1E_2G \sim \triangle GBC$

이므로 $\overline{BC} = \frac{1}{2}\overline{E_1E_2} = \frac{1}{2}b$ 이다. 따라서 필요한 거울의 최소 크기 $\overline{AB} = \overline{AC} + \overline{BC}$

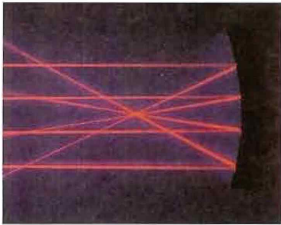
$\overline{AB} = \frac{1}{2}a + \frac{1}{2}b = \frac{1}{2}(a+b)$ 이다.

4. 구면 거울에 의한 상

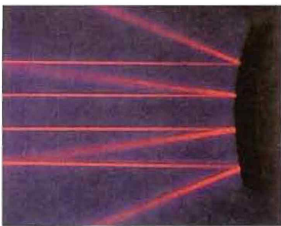
[1] 구면 거울

구면의 일부가 반사면으로 된 거울을 구면 거울이라 하며, 오목 거울과 볼록 거울이 있다.

그림 5.2.14와 같은 구면 거울에서 구의 중심 O를 구심, 거울면의 중심 M을 거울 중심, 구심 O와 중심 M을 지나는 직선을 거울축이라고 한다.

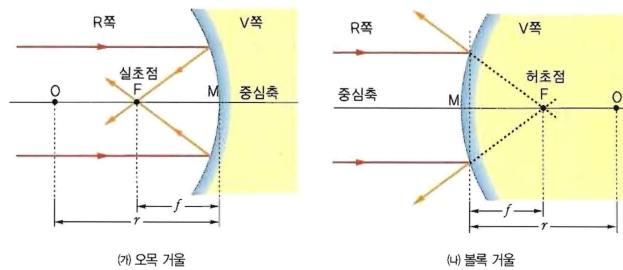


오목 거울



볼록 거울

○ 오목 거울과 볼록 거울



○ 그림 5.2.14

① 오목 거울 : 반사면이 오목하고 반사된 빛을 모으게 한다. 그림 5.2.14의 (가)와 같이 빛이 거울축에 나란하게 입사하면 반사 광선은 모두 한 점 F에 모인다. 이 점 F를 실초점(real focus)이라 하고, MF 사이의 거리를 초점 거리라고 한다.

② 볼록 거울 : 반사면이 볼록하고 거울에서 반사된 빛은 퍼져 나간다. 그림 5.2.14의 (나)와 같이 빛이 거울축에 나란하게 입사되면 반사 광선은 볼록 거울 뒤의 한 점 F에서 나온 것처럼 진행한다. 이 점을 볼록 거울의 허초점(virtual focus)이라고 한다.

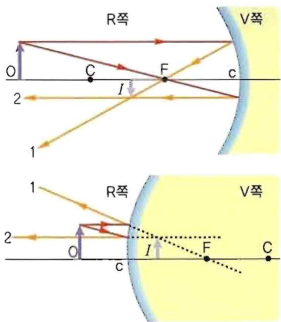
③ 오목 거울의 초점 거리 f 와 곡률 반지름 r 은 양수(+), 볼록 거울의 초점 거리와 곡률 반지름은 음수(-)이다. 또한 구면 거울에서 초점 거리와 곡률 반지름 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$f = \frac{1}{2}r$$

[2] 구면 거울에 의한 상의 작도

상의 작도는 다음 4가지 광선 중에서 임의의 2가지를 이용하여 할 수 있다.

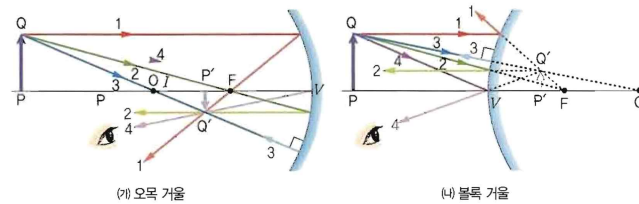
- ① 거울축에 나란한 입사 광선은 반사 후 초점을 지나거나(오목 거울), 또는 허초점에서 나온 것같이(볼록 거울) 진행한다.
 - ② 초점을 지나거나 향하는 입사 광선은 반사한 후 거울축에 나란하게 진행한다.
 - ③ 구심을 향하는 입사 광선은 반사 후 온 길을 되돌아간다.
 - ④ 거울 중심에 입사한 광선은 반사 후 거울축에 대하여 같은 각을 이루며 반사한다.
- 이상 4가지 입사 광선 중 보통 ①, ②를 활용하여 상을 작도한다.



- R쪽 : 실제(real) 쪽(거울 앞)
- V쪽 : 허상(virtual) 쪽(거울 속)

○ 그림 5.2.16

상의 작도 예



○ 그림 5.2.15

구면 거울에 의한 상의 작도

개념 POINT

[3] 구면 거울의 공식

곡률 반지름 r 인 오목 거울의 중심 M 에서 거리 a 인 곳에 놓여 있는 광원 O 로부터 나온 광선이 그림 5.2.17과 같이 P 점에서 반사되어 M 에서 거리 b 인 I 에 상을 맺는다. 입사 광선이 광축과 이루는 각을 α , 반사광이 광축과 이루는 각을 γ , P 점에 입사각을 θ , $\angle PCM$ 을 β 라고 하면, 삼각형의 외각은 대응하는 두 내각의 합과 같으므로

$$\beta = \alpha + \theta, \gamma = \alpha + 2\theta$$

이다. 두 식에서 θ 를 소거하면, $\alpha + \gamma = 2\beta$ ①이다.

각 α, β, γ 가 매우 작으므로 근사 계산 $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$ ($\theta \ll 1$ 일 때)의 관계에서

$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{PM}{a}, \beta \approx \tan \beta = \frac{PM}{r}, \gamma \approx \tan \gamma = \frac{PM}{b} \dots\dots ②$$

이다. ① 식에 ②를 대입하여 정리하면, $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r}$ 가 된다.

초점 거리 f 는 a 가 무한 원점에 있을 때 상까지의 거리이므로 $f = b = \frac{r}{2}$ 이 된다.

따라서 구면 거울의 공식은 물체 및 상에서부터 중심까지의 거리를 각각 a, b , 초점 거리를 f 라 하고 상의 배율을 m 이라 하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}, m = \frac{b}{a}$$

a, b, f 의 부호 약속

a $\left\{ \begin{array}{l} (+): \text{실물체} \\ (-): \text{허물체} \end{array} \right.$ b $\left\{ \begin{array}{l} (+): \text{실상} \\ (-): \text{허상} \end{array} \right.$ f $\left\{ \begin{array}{l} (+): \text{오목 거울(실초점)} \\ (-): \text{볼록 거울(허초점)} \end{array} \right.$ m $\left\{ \begin{array}{l} (+): \text{도립상} \\ (-): \text{정립상} \end{array} \right.$

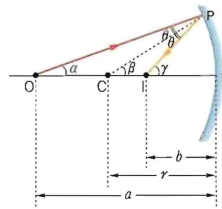


그림 5.2.17

$$* \frac{1}{\infty} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} \rightarrow b = \frac{r}{2} = f$$

● 실물, 실상, 실초점과 같이 실(real)이 붙은 (+), 허물체, 허상, 허초점과 같이 허(virtual)가 붙은 값은 (-)로 하고, 구하는 값(미지)의 값은 (+)로 놓는다.

[4] 구면 거울에 의한 상의 위치와 종류

① 오목 거울에 의한 상 : 물체의 위치에 따라 상의 크기와 종류가 다르다.

• 도립 실상($a > f$ 일 때)과 확대된 정립 허상($a < f$ 일 때)이 생긴다.

② 볼록 거울에 의한 상 : 물체의 위치에 관계없이 상은 거울 뒤 허초점과 거울 사이에 생긴다. ($-f < b < 0$)

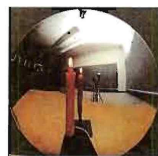
• 항상 물체보다 작은 정립 허상이 생긴다.



도립 실상



확대된 정립 허상



축소된 정립 허상

그림 5.2.19

(물체의 위치 a , 상의 위치 b , 거울 중심까지의 거리 $r(=2f)$, 초점 거리 f)

그림	$a = \infty$	$r < a < \infty$	$a = r$	$f < a < r$	$a = f$	$a < f$
오목 거울						
볼록 거울						

$$-f < b < 0$$

항상 축소된 정립 허상

실물체와 허물체, 실상과 허상

① 광학계(거울, 렌즈)로 들어 오는 빛이 발산 광속이면 실물체(real object), 수렴 광속이면 허물체(virtual object)이다.

② 광학계를 거친 후 나가는 빛이 수렴 광속이면 실상(real image), 발산 광속이면 허상(virtual image)이다.

③ 실물체, 실상 : 실제 빛이 지나고 빛에너지가 통과한다.

④ 허물체, 허상 : 그 점을 빛이 통과하지 않는다.

⑤ 실상의 경우 광선 역진의 원리가 성립된다. 따라서 실상의 위치에 물체를 놓으면 처음 물체 위치에 실상이 생긴다. 허물체와 허상 사이에는 광선 역진 원리가 성립하지 않는다.

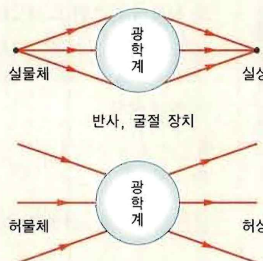


그림 5.2.20

개념 POINT

5. 빛의 굴절

1 빛의 굴절

빛은 서로 다른 매질의 경계면에서 다른 매질 속으로 진행할 때 광선의 경로가 꺾이는데, 이 현상을 빛의 굴절(refraction)이라고 한다. 빛의 굴절은 매질이 다른 그 속에서 빛의 속도가 다르기 때문에 일어난다. 빛이 다른 매질로 진행할 때 그 경계면에서 굴절하여도 빛의 진동수는 변하지 않는다.

2 굴절의 법칙(스넬의 법칙)

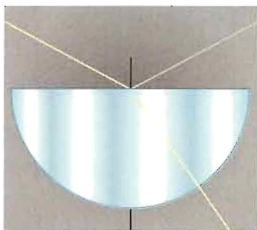
그림 5.229와 같이 다른 매질의 경계면에 입사한 빛의 일부는 반사의 법칙에 따라 반사하고 나머지 부분은 굴절하여 진행한다.

빛이 굴절할 때 다음의 관계가 항상 성립한다.

- ① 입사 광선과 굴절 광선은 입사점에서 세운 법선과 같은 평면 위에 있고 두 광선은 법선의 양쪽에 있다.
- ② 입사각 θ_1 과 굴절각 θ_2 의 사인값의 비는 일정하며, 이 값은 각 매질 속에서의 광속의 비와 같다.

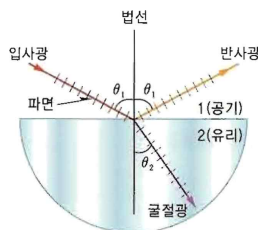
$$n_{12} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (= \text{일정})$$

여기서 n_{12} 은 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률이라 하고, 이 관계를 굴절의 법칙 또는 스넬의 법칙(Snell's law)이라고 한다. 1621년 네델란드의 스넬(Willeord Snell, 1591~1626)이 실험으로 알아내었다.



매질의 경계면에서 빛의 일부는 반사하고 일부는 굴절한다.

● 그림 5.229



공기에서 유리로 빛이 입사할 때 반사광은 반사 법칙에 따른다.



물속에 넣은 연필이 수면에서 꺾여 보이는 것은 빛의 굴절 때문이다.



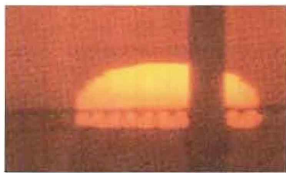
빛의 굴절에 의해 사람의 얼굴이 변하였다.

● 그림 5.228

3 굴절률

● 빛의 굴절에 의한 현상

- 떠보이기
- 별이 실제 위치보다 높게 보인다.
- 별빛의 반짝임
- 신기루 현상
- 아지랑이



● 그림 5.231

공기에 의한 빛의 굴절로 해가 뜰 때와 질 때 태양은 일그러진 모양으로 보인다.

물질의 굴절률은 서로 접하는 매질의 종류와 빛의 파장에 따라 다르다.

[1] 절대 굴절률

진공에 대한 어떤 매질의 굴절률을 그 물질의 절대 굴절률이라고 한다. 공기 중에서 어떤 매질로 빛이 굴절할 때의 굴절률은 절대 굴절률과 거의 같다.

[2] 상대 굴절률

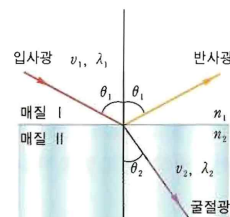
그림 5.230과 같이 매질 I에서의 빛의 속도를 v_1 , 파장을 λ_1 , 절대 굴절률을 n_1 , 매질 II에서의 빛의 속도를 v_2 , 파장을 λ_2 , 절대 굴절률을 n_2 라 하면, 빛이 굴절할 때 진동수 f 는 일정하므로 매질 I에 대한 매질 II의 상대 굴절률 n_{12} 는

$$n_{12} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

와 같이 표시된다.

따라서 굴절률이 다른 두 개 이상의 매질이 서로 평행한 경계면을 이루고 있을 때 굴절의 법칙은 다음과 같다.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3 = \dots$$



● 그림 5.230

[3] 여러 가지 물질의 절대 굴절률은 1보다 크지만 상대 굴절률은 1보다 클수도, 작을수도 있다.

○ 여러 가지 물질의 굴절률(20℃)

물 질	얼음(0℃)	물	석영 유리 (18℃)	에탄올	크라운 유리	프린트 유리	다이아몬드	벤젠
굴절률	1.31	1.33	1.46	1.36	1.52	1.55	2.42	1.50

* 파장 5893Å(황색의 빛에 대한 값으로 각각의 물질의 공기에 대한 상대 굴절률이다.

[4] 상대적으로 속도가 빠른 매질(소한 매질)에서 각 θ 와 파장 λ 는 더 크고 절대 굴절률은 작다.

[5] 물질의 밀도가 크다고 굴절률이 큰 것은 아니다.

상대적으로 절대 굴절률이 큰 물질을 광학적으로 밀한 매질이라고 하고, 상대적으로 절대 굴절률이 작은 물질을 소한 매질이라고 한다.

4 굴절률 사이의 관계

그림 5.233과 같이 매질 I, II, III, I이 평행한 경계면을 이루고 있고, 여기에 입사 광선이 차례로 굴절할 때 각 매질에서의 광속도를 v_1, v_2, v_3 라 하면, 세 개의 경계면에서의 굴절률 n_{12}, n_{23}, n_{31} 은 공식에 의하여 다음과 같다.

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$$

$$n_{23} = \frac{v_2}{v_3} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_3}$$

$$n_{31} = \frac{v_3}{v_1} = \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1}$$

따라서 굴절률 사이에는 다음의 관계식이 성립한다.

$$\therefore n_{12} \cdot n_{23} \cdot n_{31} = 1, \quad n_{23} = \frac{1}{n_{12}}, \quad n_{31} = \frac{1}{n_{13}} \quad \left(\because n_{13} = \frac{v_1}{v_3} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_3} \right)$$

5 겉보기 깊이

[1] 눈이 공기(소한 매질)에 있을 때

물속에 있는 물체를 공기 중에서 보면 실제의 깊이보다 더 보인다. 굴절률 n 인 액체 속에 있는 물체 P는 공기 속의 E에서 볼 때 깊이 h' 인 P'에 있는 것처럼 떠 보인다. 즉, P'는 P의 떠 보이는 상이다.

그림 5.234에서와 같이 B를 A에 가까이 가져갈 때,

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{PB}{P'B} = \frac{PA}{P'A} = \frac{h}{h'}$$

$$\therefore h' = \frac{h}{n}$$

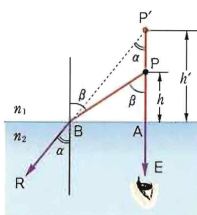


그림 5.235

[2] 눈이 물속(밀한 매질)에 있는 경우

그림 5.235와 같이 물속에서 공기 중 높이 h 인 곳에 있는 물체를 볼 때 실제 높이보다 더 멀리 있는 것처럼 보인다.

굴절의 법칙에서 $n_1 \sin \beta = n_2 \sin \alpha$ 의 관계가 성립하고,

$$\sin \beta = \frac{AB}{BP}, \quad \sin \alpha = \frac{AB}{P'B} \quad \text{를 이용하면 } n_1 \overline{P'B} = n_2 \overline{BP} \text{이다.}$$

물속의 눈을 B에서 A로 가져가면 $n_1 \overline{P'A} = n_2 \overline{AP}$, 즉 $n_1 h' = n_2 h$ 가 된다. 공기에 대한 물의 굴절률 $n = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 겉보기 깊이 h' 는 다음과 같다.

$$\therefore h' = nh$$

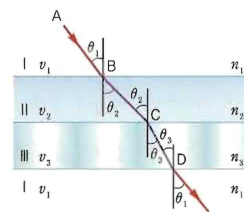


그림 5.233

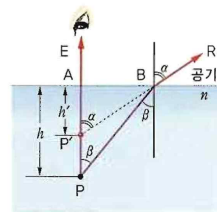


그림 5.234

6. 렌즈

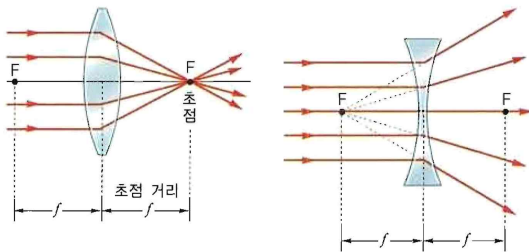
두 개의 구면 또는 구면과 평면으로 이루어진 투명체를 **렌즈(lens)**라고 한다.
그림 5.2.39와 같이 가장자리보다 중앙이 두꺼운 것을 볼록 렌즈(수렴 렌즈, converging lens), 중앙보다 양 끝 가장자리가 두꺼운 것을 오목 렌즈(발산 렌즈, diverging lens)라고 한다.

[1] 렌즈 속을 지나는 빛의 굴절

- ① 렌즈를 지나는 빛은 렌즈의 두꺼운 쪽으로 굴절한다.
- ② 볼록 렌즈를 지난 빛은 중앙 쪽으로 굴절하여 빛을 모은다.(집광, 수렴)
- ③ 오목 렌즈를 지난 빛은 양 끝 가장자리 쪽으로 굴절하여 빛을 퍼지게 한다.(발산)
- ④ 렌즈는 굴절면이 구면으로 되어 있고 두 번의 굴절 후 상을 맺게 된다. 그러나 그림으로 그릴 때 입사광과 굴절광의 연장선에서 한번 굴절한 것으로 그린다.

[2] 렌즈의 초점

- ① 볼록 렌즈 : 그림 5.2.40의 (가)와 같이 렌즈의 축에 평행하게 입사한 빛은 굴절한 후 축의 한 점 F에 모인다. 이 점을 초점이라고 하고, 렌즈 중심에서 초점까지의 거리가 초점 거리 f 이다. 볼록 렌즈는 양(+)의 초점 거리를 갖는다.
- ② 오목 렌즈 : 그림 5.2.40의 (나)와 같이 렌즈의 축에 평행하게 입사한 빛은 굴절한 후 축 위의 한 점 F에서 나온 것처럼 발산한다. 이 점을 오목 렌즈의 허초점이라고 하고, 초점 거리 f 는 음(-)의 값을 갖는다.
- ③ 렌즈의 초점은 렌즈의 양쪽에 같은 초점 거리로 하나씩 있다.



(가) 볼록 렌즈의 초점

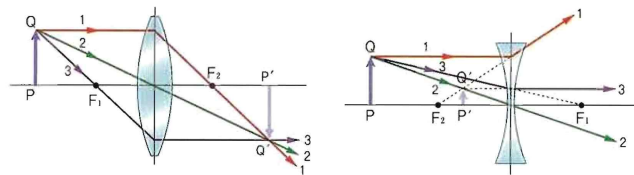
(나) 오목 렌즈의 초점

그림 5.2.40

[3] 렌즈에 의한 상의 작도

렌즈에 의한 상을 그릴 때에는 다음 세 가지 방법 중 두 가지 방법을 선택하여 그림을 그린다. 실제 빛이 만나서 상을 이루면 실상, 굴절 광선의 연장선이 만나서 상을 이루면 허상이 된다.

렌즈를 중심으로 물체와 같은 쪽에 맺힌 상은 허상, 물체 반대쪽에 맺힌 상은 실상이다.

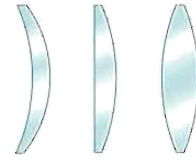


(가) 볼록 렌즈의 경우

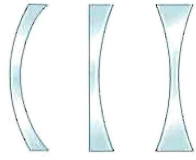
(나) 오목 렌즈의 경우

그림 5.2.41

- ① 렌즈의 축에 평행하게 입사한 빛은 굴절 후 초점 F를 지나거나(볼록 렌즈, 초점 F에서 빛이 나온 것처럼 굴절한다(오목 렌즈).
- ② 렌즈의 중심을 지나는 빛은 그대로 직진한다.
- ③ 렌즈의 초점을 지나는 빛(볼록 렌즈) 또는 반대쪽 초점을 향하여 입사한 빛(오목 렌즈)은 굴절 후 축에 평행하게 나아간다.



(가) 볼록 렌즈



(나) 오목 렌즈

그림 5.2.39

개념 POINT

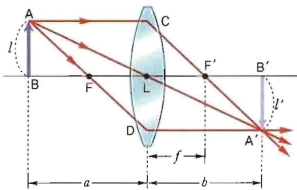


그림 5.2.42

[4] 렌즈의 공식

그림 5.2.42와 같이 렌즈의 중심에서부터 물체 및 상까지의 거리를 a, b , 초점 거리를 f , 배율을 m 이라 하면 다음의 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \text{ 배율 } m = \frac{b}{a}$$

$$a \begin{cases} (+): \text{실물체} \\ (-): \text{허물체} \end{cases} \quad b \begin{cases} (+): \text{실상} \\ (-): \text{허상} \end{cases} \quad f \begin{cases} (+): \text{볼록 렌즈} \\ (-): \text{오목 렌즈} \end{cases}$$

그림 5.2.42에서 $\triangle ABL \sim \triangle A'B'L$, 또 $\triangle ABF \sim \triangle FDL$ 이므로

$$\text{배율 } m = \frac{A'B'}{AB} = \frac{B'L}{BL} = \frac{b}{a} \dots\dots ①$$

$$\frac{LD}{AB} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{FL}{BF} = \frac{FL}{BL - FL} = \frac{f}{a - f} \dots\dots ②$$

①식과 ②식에서 $\frac{b}{a} = \frac{f}{a - f}$, 정리하면 $bf + af = ab$ 이고, 양변을 abf 로 나누면

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \text{이다.}$$

또, 배율 m 은 ①식에서 $m = \frac{b}{a} = \frac{f}{a - f} = \frac{b - f}{f}$ 이다.

[5] 물체의 위치와 상의 종류

볼록 렌즈에 의한 상은 오목 거울에 의한 상과 같고, 오목 렌즈에 의한 상은 볼록 거울에 의한 상과 같다.

(물체의 위치 a , 상의 위치 b , 초점 거리 f)

그림	$a = \infty$	$2f < a < \infty$	$a = 2f$	$f < a < 2f$	$a = f$	$a < f$
볼록 렌즈						
오목 렌즈		$-f < b < 0$ 항상 축소된 정립 허상				

7. 빛의 분산

1 빛의 분산

물질 속의 빛의 속도는 매질 속에서 파장에 따라 다르므로 굴절률도 파장에 따라 변한다. 태양 광선(백색광)을 프리즘을 통과시켜 스크린에 받아보면 그림 5.2.68과 같이 여러 가지의 색깔로 나누어진다. 이것을 빛의 분산(dispersion)이라고 한다.

빛의 파장이 짧을수록 굴절률은 크다. 또한 빛의 분산에 의해 생긴 색의 띠를 스펙트럼(spectrum)이라고 한다.

사람의 눈으로 볼 수 있는 빛을 가시광선(visible light, 파장 약 760nm~400nm)이라 하고, 빨간빛보다 파장이 긴 눈에 보이지 않는 빛을 적외선(infrared), 보라빛보다 파장이 짧아 눈에 보이지 않는 빛을 자외선(ultraviolet)이라 한다.

무지개는 자연 현상에서 볼 수 있는 빛의 분산의 예이다. 이때 공기 중에 떠 있는 작은 물방울이 프리즘의 역할을 한다.

1nm(나노미터) = 10^{-9} m

프리즘(prism)

투명한 삼각 기둥으로 단면이 직각이등변삼각형인 것은 전반사 프리즘이고, 단면이 정삼각형인 것은 빛의 분산에 이용하는 굴절 프리즘이다.

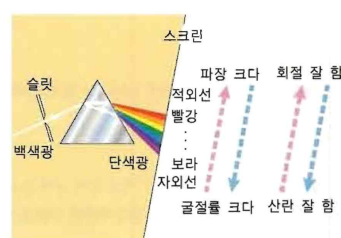
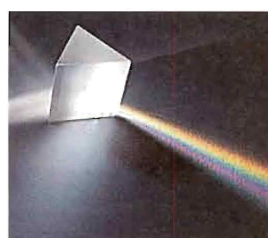


그림 5.2.68

개념 POINT

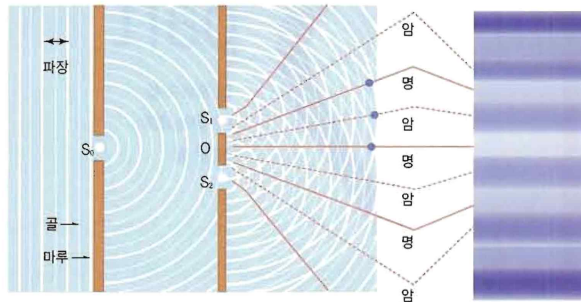
II. 파동광학

1. 빛의 간섭현상

1 영의 간섭 실험(이중 슬릿에 의한 빛의 간섭)

점광원에서 나온 파장과 위상이 같은 두 광파가 서로 다른 경로를 통하여 한 점에 도달하면 그 광로차에 의해 어둡게 보일 때와 밝게 보일 때가 있다. 이러한 현상을 빛의 간섭이라고 한다.

1801년 영(Young)은 그림 6.21과 같은 이중 슬릿(S_1, S_2)을 이용하여 스크린 상에 밝고(명), 어두운(암) 간섭 무늬를 얻는 데 성공하여 빛이 파동임을 입증하였다.



명 : 마루와 마루, 골과 골이 중첩되는 방향

암 : 마루와 골이 중첩되는 방향

그림 6.21

[1] 영의 실험에서 간섭 조건

그림 6.23에서와 같이 이중 슬릿 S_1 과 S_2 사이의 간격을 d , 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리를 l , 스크린 상의 O점에서 임의의 P점까지의 거리를 x 라 하고 중심각을 θ 라고 하자.

$\overline{S_1P} = \overline{Q'P}$ 가 되도록 Q점을 잡으면 빛이 적게 회절하므로 θ 가 작고 $\angle S_1QS_2$ 는 거의 직각이 되며, $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{x}{l}$ 가 된다.

두 빛의 광로차 Δ 는

$$\Delta = \overline{S_1P} - \overline{S_2P} = \overline{S_2Q} = d \sin\theta = d \frac{x}{l}$$

이고, 간섭 조건은 다음과 같다.



그림 6.22

영(Thomas Young, 1773~1829) : 영국의 물리학자이면서 의사였던 영은 2살 때 글을 읽고 14세 때 8개 국어를 할 정도로 천재였다. 그는 처음으로 이집트의 상형문자를 판독하였고, 유체, 일, 에너지, 탄성에 관해 연구하였다.

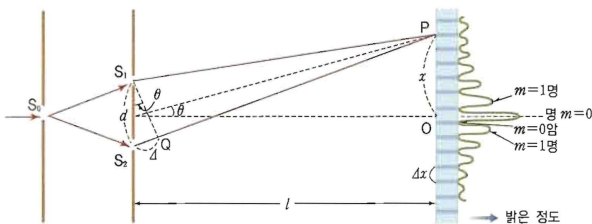


그림 6.23

$$\begin{aligned} \Delta &= d \sin\theta = \frac{dx}{l} = \frac{\lambda}{2} (2m) \cdots \cdots \text{밝다} \\ &= \frac{\lambda}{2} (2m+1) \cdots \cdots \text{어둡다} \quad (m=0, 1, 2, \cdots) \end{aligned}$$

[2] 영의 실험에서 무늬 간격(Δx)과 빛의 파장(λ)의 관계

밝은 무늬 사이의 간격(어두운 무늬 사이의 간격)을 Δx 라 하면 스크린의 중심 O에서 m 번째 밝은 무늬까지의 거리는

$$x_m = \frac{\lambda l}{2d}(2m) = \frac{m\lambda l}{d}$$

이므로 무늬폭 Δx 는 다음과 같다.

$$\Delta x = x_m - x_{m-1} = \frac{\lambda l}{d} (= \text{일정, 등간격})$$

$$\Delta x d = \lambda l$$

- ① 긴 파장의 빛을 사용하면 무늬폭 Δx 는 넓어진다. ($\Delta x \propto \lambda$)
- ② 중앙($m=0$)에는 가장 밝은 무늬(명)가 나타나며, 중앙에서 멀어질수록 빛의 밝기는 약해진다.
- ③ 광원으로 백색광을 사용하면 중앙은 백색의 밝은 무늬이지만 밝은 무늬 끝부분에서 중앙 쪽으로 파장이 짧은 빛(빨강→노랑→파랑...) 순으로 색의 띠가 생긴다.

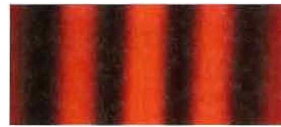
[3] 슬릿 S_0 뒤에 이중 슬릿 S_1, S_2 를 놓는 것은 S_0 에서 회절한 빛을 S_1, S_2 에서 동일한 위상으로 통과시키기 위해서이다. 동일한 위상의 빛을 발생시키는 레이저 광을 사용하면 슬릿 S_0 가 없어도 간섭 무늬가 생긴다.

[4] 매질(굴절률 n) 속에서 실험하면 빛의 파장 λ 대신에 $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$ 를 대입한다.

[5] 광선의 광로 부분을 박막(굴절률 n)으로 가릴 때

그림 6.25와 같이 두 슬릿 S_1, S_2 중 한쪽 슬릿 S_1 의 뒤에 두께 a , 굴절률 n 인 투명 한 박막을 놓으면 박막 속을 지나는 빛의 속력이 느려지므로 S_1 에서 회절한 빛의 광학적 거리가 길어진다.

● 영의 실험 간섭 무늬(슬릿에서 스크린까지의 거리 1.8m)



빨간 빛 $d = 0.2\text{mm}$



파란 빛 $d = 0.2\text{mm}$

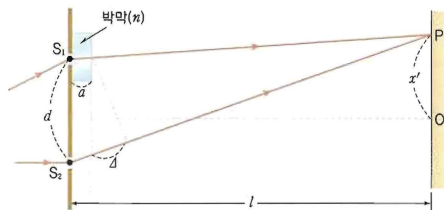


백색광 $d = 0.2\text{mm}$



빨간 빛 $d = 0.4\text{mm}$

● 그림 6.24



● 그림 6.25

- ① 중앙($m=0$, 광로차가 같은 위치)의 O점보다 박막을 가린 쪽, 즉 위쪽으로 중앙 위치가 x' 만큼 이동한다.
- ② 박막 두께 a 를 빛이 지나는 동안 공기 속의 빛은 na 의 거리를 이동하므로 광로 차 Δ 는 P점이 새로운 중앙점이라면 P점까지 광로차는 0이 된다. 따라서 OP의 거리 x' 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S_2P - S_1P - a(n-1) = 0$$

$$\therefore \Delta = S_2P - S_1P = a(n-1) = d \sin \theta = \frac{dx'}{l}$$

$$\therefore x' = \frac{al}{d}(n-1)$$

- ③ 무늬 간격은 박막에 관계없이 같고, 무늬는 전체적으로 위쪽으로 치우친다.

무늬폭(Δx)과 파장(λ) ●

$$l \text{ ambda} \times l$$

$$\Delta x \cdot d = \lambda \cdot l$$

$$d \text{ elta} \times d$$

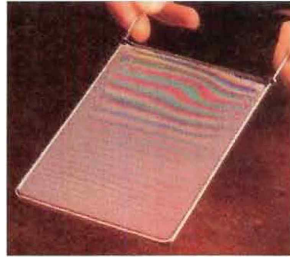
2 얇은 막에 의한 간섭

그림 6.2.11과 같이 물 위에 뜬 얇은 기름막이나 비눗방울의 막에 햇빛이 비치면 아름다운 무지개 색이 보이는 경우가 있다. 또 새의 깃털도 새가 움직일 때마다 색이 변하는 것을 볼 수 있다. 이 모든 색들은 얇은 막에서 여러 색의 빛이 간섭을 일으켜서 만들어지는 것이다. 또 어떤 종류의 조개에서 반사되어 나타나는 아름다운 색들은 조개의 얇고 투명한 막에서 빛이 간섭되어 나타나는 것이다. 접시를 잘 행구지 않아 세제가 남아 있을 때에도 그 막에서 간섭되어 나타난 색들을 볼 수 있다.

그림 6.2.11의 (나)와 같이 비누막이 공기 중에서 철사 고리에 만들어져 있을 때 연직으로 세우면 중력 때문에 물은 아래쪽으로 모이게 되어 연직으로 비누막의 두께가 달라진다. 비눗물의 윗부분은 아주 얇아서 반사된 두 빛은 상쇄 간섭을 일으켜 어둡고, 두꺼운 아랫부분에서는 여러 가지 색으로 된 간섭 무늬를 볼 수 있다.



(가) 백색광에 의한 기름막의 간섭 무늬



(나) 비누막에 의한 간섭 무늬

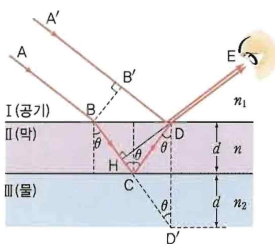
그림 6.2.11

비눗방울 같은 얇은 막은 간격이 아주 좁은 2개의 표면을 가지고 있다. 한 표면에서 나온 빛은 다른 표면에서 나온 빛에 의해 상쇄될 수 있다. 예를 들어 막의 어떤 곳의 두께가 파란 빛에 대해 상쇄 간섭을 일으키기에 알맞다고 할 때 그 막에 백색광을 비추면 막에서 반사되어 우리 눈에 들어오는 빛에는 파란 빛이 없다. 백색광에서 파란 빛이 빠지면 파란색의 보색인 노란색으로 보일 것이다. 또 막의 두꺼운 부분에서 초록 빛이 상쇄되면 비누막의 색은 자홍색을 띠게 된다.

얇은 막(10^{-5} m 이하)에 의해 빛의 간섭 현상이 일어나는 것은 얇은 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛이 서로 간섭하기 때문이다. 이때 비누막의 두께에 따라 두 빛의 간섭이 달라지므로 여러 가지 아름다운 빛의 무늬를 보여 준다.

[1] 광로차(Δ)

그림 6.2.12와 같이 빛이 공기 중에서 두께 d 인 얇은 막에 비스듬히 입사하여 B에서 일부는 반사하고 일부는 매질 II(얇은 막)로 굴절하여 들어갔다 C에서 반사하여 D에서 다시 만날 때 두 빛은 간섭한다.



$$HCD = HD' = 2d \cos \theta$$

그림 6.2.12

그림에서 파면 BB'이 막의 B면에 도달한 다음 B'이 D에 도달할 때까지 B는 H까지 진행하게 된다. 따라서 경로차(거리차)는 $\overline{HC} + \overline{CD}$ 가 된다. $CD = CD'$ 이므로

$$\overline{HC} + \overline{CD} = \overline{HC} + \overline{CD'} = \overline{HD'} = 2d \cos \theta \quad (\text{직각삼각형 DD'H에서})$$

이다.

굴절률 n 인 매질 속에서 빛이 이동한 거리 d 를 진공 또는 공기 속에서의 거리로 환산하면 $[d'] = [nd]$ 가 된다.

$$\text{광로차 } \Delta = 2nd \cos \theta$$

한편 반사 때의 위상 변화에 의한 광로차를 생각해 보면 두 가지 경우가 있다.

경우	D점 반사	C점 반사	총 위상 변화
(1) $n_1 < n < n_2$	$\frac{\lambda}{2}$	$\frac{\lambda}{2}$	λ , 파동의 간섭 조건에 영향을 주지 않는다.
(2) $n_1 < n > n_2$	$\frac{\lambda}{2}$	0	$\frac{\lambda}{2}$, 파동의 간섭 조건이 반대로 된다.

따라서 총 광로차는

$$\left. \begin{array}{l} \text{경우 (1): } 2nd \cos \theta = \Delta \\ \text{경우 (2): } 2nd \cos \theta + \frac{\lambda}{2} = \Delta \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\lambda}{2} (2m) \quad \dots\dots \text{보강 간섭(밝다)} \\ \hspace{10em} (m=1, 2, 3, \dots) \\ \frac{\lambda}{2} (2m+1) \quad \dots\dots \text{상쇄 간섭(어둡다)} \\ \hspace{10em} (m=0, 1, 2, \dots) \end{array} \right.$$

개념 POINT



그림 6.2.10
비누막에 생긴 간섭 무늬

개념 POINT

[2] 얇은 막에서의 간섭은 반사 간섭이므로 C점과 D점에서 반사할 때 고정단 반사를 한 곳에서 하는가 또는 두 곳에서 하는가 생각한다.

① 고정단 반사 : 빛이 소한 매질(n 이 작은 매질)에서 밀한 매질(n 이 큰 매질)로 입사하면서 반사할 때가 고정단 반사이고, 반사 광선의 위상은 $\frac{\lambda}{2}$ 만큼 변한다.

② 자유단 반사 : 빛이 밀한 매질에서 소한 매질로 입사하면서 반사할 때가 자유단 반사이고, 반사 광선의 위상은 변하지 않는다.

[3] 얇은 막에 의한 간섭 조건

① 고정단 반사 1회일 때 : 반사에 의한 광로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 이면 간섭 조건이 바뀐다.

• $n_1 < n > n_2$: C점이 자유단, D점은 고정단

• $n_1, n_2 > n$: C점이 고정단, D점은 자유단

$$2nd\cos\theta + \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad \dots\dots \text{보강 간섭(밝다)}$$

$$= \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad \dots\dots \text{상쇄 간섭(어둡다)}$$

위의 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta = 2nd\cos\theta = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad \dots\dots \text{보강 간섭(명)}$$

$$= \frac{\lambda}{2}(2m) \quad \dots\dots \text{상쇄 간섭(암)}$$

② 고정단 반사 2회일 때 : 반사에 의한 광로차가 0 또는 λ 이면 간섭 조건에 영향을 주지 않는다.

• $n_1 > n > n_2$: C와 D는 모두 자유단 \rightarrow 위상 변화 0

• $n_1 < n < n_2$: C와 D는 모두 고정단 \rightarrow 총 위상 변화 λ

$$\Delta = 2nd\cos\theta = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad \dots\dots \text{보강 간섭(명)}$$

$$= \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad \dots\dots \text{상쇄 간섭(암)} \quad (m=0, 1, 2, \dots)$$

[4] 투과 광선에 의한 간섭(수직 입사: $\theta=0^\circ$)

반사광의 간섭 조건과 반대가 된다. 예를 들어 그림 6.2.13에서 반사광과 투과광의 간섭 조건은 다음과 같다. $n_1 < n > n_2$ 이라면

① 반사광의 간섭 조건 : A점 고정단, B점 자유단

$$\Delta = 2nd = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad \dots\dots \text{상쇄 간섭(암)}$$

$$= \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad \dots\dots \text{보강 간섭(명)}$$

② 투과광의 간섭 조건 : A, B 모두 자유단

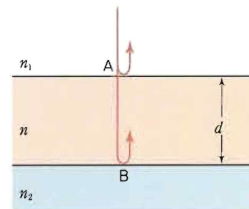
$$\Delta = 2nd = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad \dots\dots \text{보강 간섭(명)}$$

$$= \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad \dots\dots \text{상쇄 간섭(암)}$$

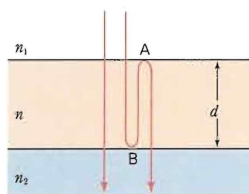
[5] 파장 λ 가 정해진 빛이 입사하면 [3]의 간섭 조건을 만족하는 방향으로 나오는 빛이 보강되고, 입사광이 백색광인 경우에는 1개의 입사각에 대하여 위의 식을 만족하는 파장 λ 가 결정된다. 따라서 입사각의 변화에 따라서 강해지는 파장이 변하여 착색된다.

[6] 반사 방지막

플루오르화마그네슘(MgF_2 , $n=1.38$), 또는 빙정석(Na_3AlF_6 , $n=1.36$) 등을 사용하여 카메라 렌즈의 유리 표면에 얇은 막을 입혀서 막의 윗면과 아랫면에서 반사광이 상쇄 간섭하도록 만들어 복합 렌즈에 의한 상을 깨끗하고 명확하게 만들어 준다. 이 경우는 $1 < n < n_2$ 이므로 상쇄 간섭 조건에 $m=0$ 을 대입하여 최소 두께 d 를 구할 수 있다.



(가) 반사광



(나) 투과광

● 그림 6.2.13

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \dots \dots \text{상쇄 간섭}$$

$$\text{최소 두께 } d = \frac{\lambda}{4n} \quad (m=0 \text{ 일 때})$$

[7] 막이 두꺼운 경우에는 착색이 되지 않는다. 이때에는 많은 광선이 동시에 반사되므로 간섭 현상이 일어나지 않는다.

$$\text{보강 간섭 조건 } d = 2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \Rightarrow \lambda = \frac{4nd}{2m+1}$$

가시광선의 파장은 $4 \times 10^{-7} \text{ m} < \lambda < 8 \times 10^{-7} \text{ m}$ 이므로

$$4 \times 10^{-7} < \frac{4nd}{2m+1} < 8 \times 10^{-7}$$

$$\frac{1}{2} \left[\frac{nd}{2} \times 10^7 - 1 \right] < m < \frac{1}{2} \left[nd \times 10^7 - 1 \right]$$

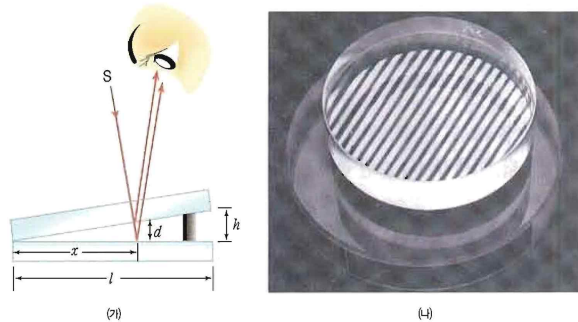
예를 들어 $n=1.5$, $d=10^{-3} \text{ m}$ 일 때 $3750 < m < 7500$ (많은 빛 반사),

$n=1.5$, $d=10^{-6} \text{ m}$ 일 때 $3.25 < m < 7.0$ (간섭 무늬 생김)이다.

[8] 막의 두께가 파장 λ 의 몇 배 정도일 때 간섭이 잘 되고, 파장 λ 에 비해 두께가 훨씬 얇으면(0.1 λ 이내) 경로차 d 는 무시되어 반사에 의해 $\frac{\lambda}{2}$ 만큼 위상차가 생겨 어둡게 보인다.

4 두 장의 평면 유리 사이에서의 간섭

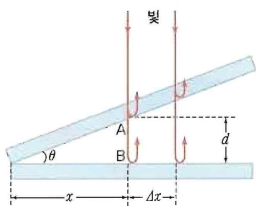
그림 6.2.18의 (가)와 같이 두 장의 유리를 포개고 끝부분에 머리카락이나 얇은 종이 조각을 끼워 넣으면 두 유리판 사이에 쉼기 모양의 공기층이 형성된다. 여기에 수직 위쪽에서 단색광을 비추어 주면 그림 6.2.18의 (나)에서와 같이 평행한 등간격의 밝고 어두운 간섭 무늬를 볼 수 있다.



● 그림 6.2.18

두 장의 평면 유리판으로 된 쉼기형 공기층에 의한 빛의 간섭 현상이다.

그림 6.2.19와 같이 위쪽 유리의 아랫면 A점에서 반사한 빛(자유단 반사, 밀 → 소에서 반사)과 아래쪽 유리판의 윗면 B점에서 반사한 빛(고정단 반사, 소 → 밀에서의 반사)이 간섭하여 밝고 어두운 무늬를 만든다. 이때 B점에서 반사한 빛은 $\frac{\lambda}{2}$ 의 위상 변화를 한다.



● 그림 6.2.19

[1] 위에서 볼 때 간섭 조건

공기층의 두께를 d 라 할 때 광로차는 $\Delta = 2d$ 이다.

$$\begin{aligned}\Delta &= 2d = \frac{\lambda}{2}(2m) \cdots \cdots \text{상쇄 간섭(어둡다)} \\ &= \frac{\lambda}{2}(2m+1) \cdots \cdots \text{보강 간섭(밝다)} \quad (m=0, 1, 2, \cdots) \\ d &= x \tan \theta\end{aligned}$$

[2] 아래에서 볼 때 간섭의 조건(투과광의 간섭)

반사하는 두 곳 모두 고정단 반사가 되어 전체 위상 변화는 λ 가 된다. 따라서 간섭 조건은 위의 조건과 반대로 된다.

[3] 무늬폭(Δx)

이웃한 어두운 줄무늬를 이루는 공기층의 두께를 각각 d_1, d_2 , 무늬폭을 Δx 라고

하면 간섭 조건 $2d = \frac{\lambda}{2}(2m) = m\lambda$ 에서

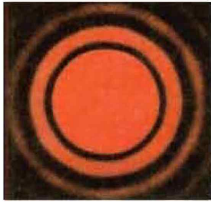
$$\begin{aligned}2(d_2 - d_1) &= \lambda \\ \therefore d_2 - d_1 &= \Delta x \tan \theta = \frac{\lambda}{2}\end{aligned}$$

무늬폭 Δx 는 일정하고 파장 λ 에 비례한다.

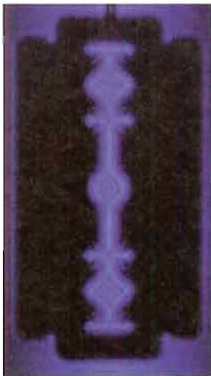
개념 POINT

2. 빛의 회절현상

(1) 개관



● 그림 6.2.21



● 그림 6.2.22

수면파나 소리는 장애물에 부딪히면 회절하여 장애물 뒤쪽까지 전파된다. 빛이 파동의 성질이 있다면 이와 같은 회절 현상이 일어날 것이다. 그러나 빛은 장애물 뒤쪽에 그림자를 만든다. 이것은 빛의 파장이 매우 짧기 때문에 직진성이 커서 일어나는 현상이다. 단색광을 좁은 슬릿이나 작은 구멍에 통과시키면 그림 6.2.21과 같은 회절에 의한 간섭 무늬를 볼 수 있다. 빛의 회절 효과는 빛의 파장이 길수록, 슬릿의 폭이 좁을수록 커지고, 무늬 간격도 넓어진다.

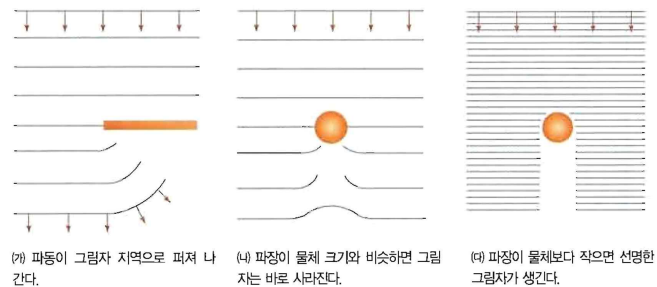
회절은 슬릿이나 구멍에서만 관측되는 것이 아니라 모든 그림자에서도 볼 수 있다. 그림 6.2.22와 같이 면도날에 빛을 비추면 면도날 둘레를 지나는 빛의 회절과 간섭에 의해 그림자 주위에서 밝고 어두운 띠 모양의 회절 무늬를 관찰할 수 있다. 또 공작의 깃털에서 볼 수 있는 찬란한 색도 빛의 회절에 의해 나타나는 무늬이다.

[1] 회절 무늬의 관찰

두 손가락을 가볍게 가까이 붙여서 두 손가락 사이의 좁은 틈을 통하여 형광등이나 전구의 불빛 또는 태양빛을 보면 틈 사이에서 여러 개의 줄무늬를 볼 수 있다. 카드나 종이에 면도칼로 가는 틈을 만들어 관찰하면 더욱 뚜렷한 회절 무늬를 볼 수 있다.

[2] 회절의 정도

회절이 많이 되거나 적게 되는 정도의 차는 빛의 파장과 그림자를 만드는 물체의 크기에 따라 다르다. 그림 6.2.23에서와 같이 빛의 파장보다 물체의 크기가 작을 때 회절은 더 심하게 일어난다.



● 그림 6.2.23

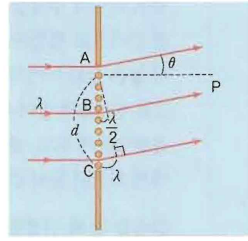
개념 POINT

(2) 단일슬릿회절

그림 6.2.24의 (가)와 같이 파장 λ 인 평행한 빛이 간격 d 인 단일 슬릿 AC를 지나 각 θ 방향으로 회절하는 경우를 생각해 보자.

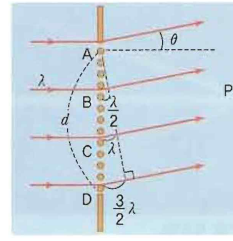
슬릿 간격 d 에 비해 슬릿에서 스크린까지의 거리 l 이 매우 크므로 광선 AP, BP, CP는 거의 평행하다고 볼 수 있다. 따라서 스크린 상의 중심에서 P까지의 거리를 x 라고 하면 광로차 Δ 는 다음과 같다.

$$\Delta = AP - CP = d \sin \theta = \frac{dx}{l}$$



(가) 어두운 회절 무늬를 만들 때

● 그림 6.2.24



(나) 밝은 회절 무늬를 만들 때

[1] 어두운 무늬가 생기는 경우

그림 6.2.24의 (가)와 같이 광로차 $\Delta = \frac{\lambda}{2}(2m) = m\lambda$ 인 경우에는 슬릿 간격 d 를 $2m$ 등분하여 생각한다. 즉, $\Delta = \frac{\lambda}{2}$ (2)인 경우, 슬릿 간격 d 를 2등분했을 때 AB부분과 BC부분에서 위로부터 차례대로 대응되는 점에 입사한 광선들은 회절하여 스크린에 도달하는 동안 광로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 로 되어 모두 상쇄되어 P점에 어두운 무늬가 나타난다.

[2] 밝은 무늬가 생기는 경우

그림 6.2.24의 (나)와 같이 광로차 $\Delta = \frac{\lambda}{2}(2m+1)$ 인 경우에는 슬릿 간격 d 를 $(2m+1)$ 등분하여 생각한다. 즉, $\Delta = \frac{3}{2}\lambda = \frac{\lambda}{2}(3)$ 인 경우, 슬릿 간격 d 를 3등분한다. 이때 스크린 상의 P점을 향하여 AB부분에서 나가는 빛과 BC부분에서 나가는 빛은 [1]에서와 같이 P점에 도달하여 모두 상쇄되지만 CD부분에서 회절한 빛은 P점에 도달하여 밝은 회절 무늬를 만든다.

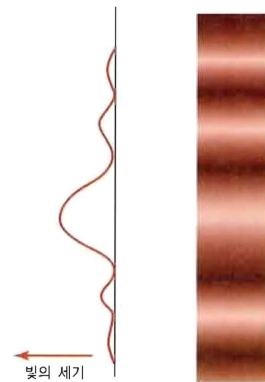
단일 슬릿에서 빛이 회절할 때에는 다음과 같은 조건에서 밝고 어두운 회절 간섭 무늬를 만든다.

$$\begin{aligned} \Delta = d \sin \theta = \frac{dx}{l} = \frac{\lambda}{2}(2m) & \quad \dots \text{어둡다} \\ & = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad \dots \text{밝다 } (m=1, 2, 3, \dots) \end{aligned}$$

스크린 상의 중앙($m=0$)에 무늬폭이 2배인 밝은 무늬를 만든다.

[3] 회절 무늬폭

무늬폭(Δx)은 영의 실험에서와 같이 $\Delta x d = \lambda l$ 의 관계가 있다.



● 그림 6.2.25

단일 슬릿에 의한 회절 간섭 무늬

개념 POINT

(3) 이중슬릿회절

개념 POINT

00 I

35장에서 이중슬릿 실험에 사용한 슬릿의 너비 a 는 빛의 파장에 비해 대단히 작다고 가정하였다. 즉, $a \ll \lambda$ 이다. 이와 같이 좁은 슬릿의 경우 각 슬릿이 만드는 에돌이무늬의 중앙극대 부분은 가리게 전체를 차지한다. 더욱이 두 슬릿에서 나오는 빛의 세기는 어림잡아서 서로 같으므로 밝은 간섭무늬를 만든다(그림 35-12 참조).

그러나 가시광선을 사용해서는 $a \ll \lambda$ 의 조건을 만들기가 어렵다. 비교적 너비가 넓은 슬릿의 경우 두 슬릿에서 나오는 빛의 간섭은 세기가 고르지 않은 간섭무늬를 만든다. 즉, 이중슬릿이 만드는 간섭무늬들의 (35장에 논의된) 밝기는 이 장에서 설명한 각 슬릿을 통과해 나오는 빛의 에돌이에 의해 영향을 받는다.

그림 36-15a는 슬릿의 너비가 매우 작은 경우($a \ll \lambda$)에 이중슬릿이 만드는 간섭무늬이다. 밝은 간섭무늬는 모두 같은 세기를 갖는다. 그림 36-15b는 단일슬릿이 만드는 에돌이무늬이다. 넓은 중앙극대와 $\pm 17^\circ$ 각도를 이루는 곳에서 약한 2차극대를 볼 수 있다. 그림 36-15c는 두 슬릿이 만드는 최종적인 간섭무늬이다. 이 무늬는 그림 36-15a의 세기곡선에 그림 36-15b의 세기곡선을 곱한 형태이다. 결국 각 무늬의 위치는 변하지 않고 단지 세기만 변한다.

그림 36-16a는 이중슬릿의 간섭과 에돌이무늬의 실제 사진이다. 한쪽 슬릿을 막는다면 그림 36-16b와 같은 단일슬릿 에돌이무늬가 생긴다. 그림 36-16a와 36-15c 그리고 그림 36-16b와 36-15b의 대응 관계를 주목하여야. 그림을 비교할 때, 그림 36-16은 밝기가 희미한 중앙극대 이외의 극대가 나타나도록 과다노출시킨 것이다.

에돌이 효과를 고려하여 이중슬릿이 만드는 간섭무늬의 세기를 식으로 표기하면

$$I(\theta) = I_m (\cos^2 \beta) \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (\text{이중슬릿}) \quad (36-19)$$

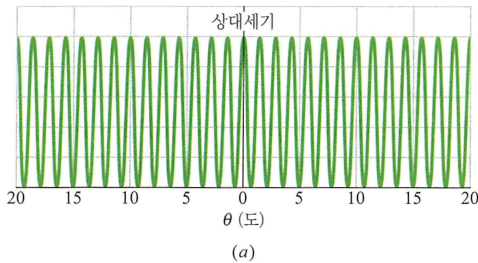
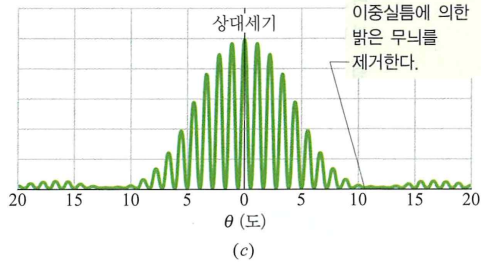
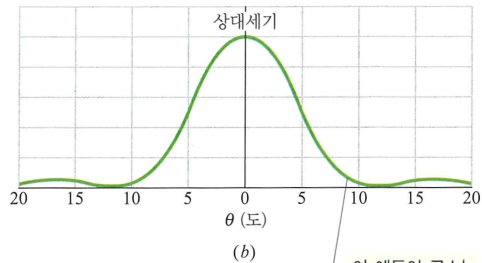


그림 36-15 (a) 너비가 매우 좁은 이중슬릿 간섭실험에서 예상되는 균일한 세기분포. (b) 너비 a 의 단일슬릿이 만드는 에돌이의 세기분포. (c) 너비 a 의 이중슬릿이 만드는 세기분포. (b)의 곡선은 이중슬릿 무늬의 세기를 제한하는 싸개선이다. 예를 들어 12° 근처에서 나타나는 첫 번째 극소는 그 곳의 이중슬릿 무늬를 없애버린다.



이고, α 와 β 는 다음과 같이 주어진다.

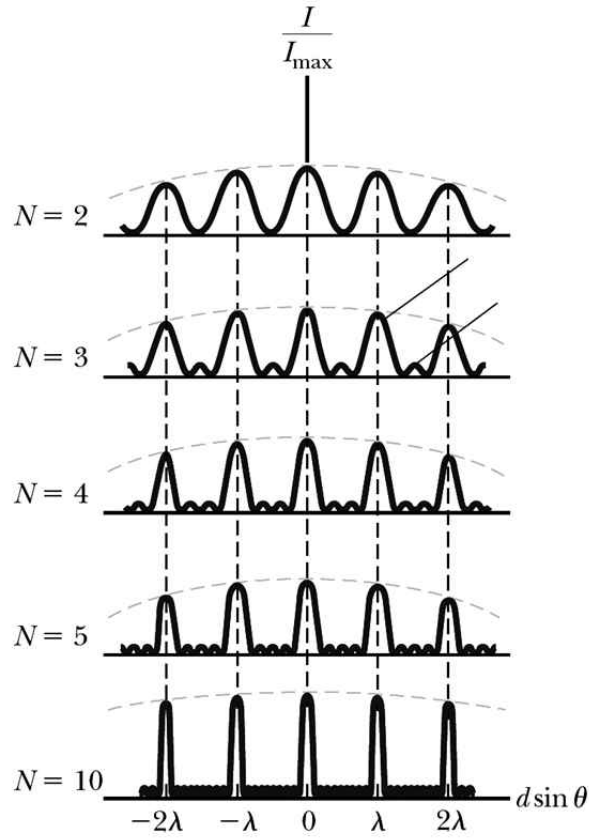
$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta \quad (36-20)$$

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta. \quad (36-21)$$

여기서 d 는 두 슬릿의 중심 사이의 거리이고 a 는 슬릿의 너비이다. 식 36-19의 우변은 I_m 과 두 인자의 곱이다. (1) 간섭인자 $\cos^2 \beta$ 는 간격 d 의 두 슬릿이 만드는 간섭에 의한 것이다(식 35-22 및 식 35-23 참조). (2) 에돌이 인자 $[\sin \alpha / \alpha]^2$ 은 너비 a 의 단일슬릿이 만드는 에돌이에 의한 것이다(식 36-5 및 식 36-6 참조).

(4) 다중슬릿회절

개념 POINT



다중 슬릿에 의한 간섭 무늬 모양. 슬릿의 수 N 이 증가함에 따라 주극대(각 그림에서 가장 높은 봉우리)의 너비는 점점 좁아지지만, 위치는 변하지 않고 2차 극대수가 증가한다.

■ 변리사 기출문제

개념 POINT

1. [2002년 변리사] (중) - 분산

다음 중 비가 온 후 발생하는 무지개가 나타나는 현상과 관련이 가장 깊은 것은?¹⁾

- ① 굴절률이 다른 매질로 빛이 진행할 때 생기는 전반사 현상
- ② 빛의 경로차에 의한 간섭 현상
- ③ 빛이 작은 틈을 진행할 때 생기는 회절 현상
- ④ 편광현상
- ⑤ 빛의 진동수에 따른 굴절률의 차이

2. [2003년 변리사] (하)

평면거울 앞 $1m$ 인 위치에서 어떤 사람이 거울을 보고 있다. 이 사람 뒤 $1m$ 인 곳에 높이가 $3m$ 인 가로등이 있다면, 이 사람이 한쪽 눈으로 거울을 통하여 가로등 전체를 동시에 보기 위한 거울의 상하 방향 최소 길이는?²⁾

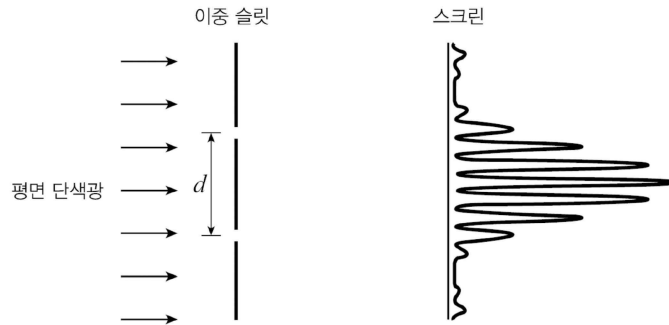
- ① $50cm$ ② $1m$ ③ $1.5m$ ④ $2m$ ⑤ $3m$

개념 POINT

3. [2003년 변리사] (하)

아래 그림은 영의 이중슬릿 실험을 나타낸 것이다. 밝은 무늬의 간격(Δx)을 늘리는 방법으로 맞는 것은?³⁾

개념 POINT



- ① 슬릿의 간격(d)을 크게 한다.
- ② 스크린과 슬릿 사이의 거리(L)을 짧게 한다.
- ③ 파장이 긴 빛을 사용한다.
- ④ 빛의 세기가 강한 빛을 사용한다.
- ⑤ 진동수가 큰 빛을 사용한다.

4. [2004년 변리사] (중)

다중 슬릿에 빛이 입사되어 회절무늬가 형성될 때 나타나는 현상에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고르면?⁴⁾

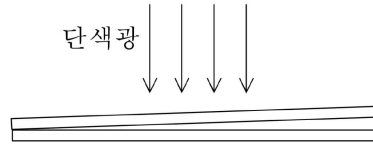
- ㄱ. 파장이 커지면 회절무늬의 일차 극대와 이차 극대의 간격이 더 커진다.
- ㄴ. 슬릿 사이의 간격이 작을수록 회절무늬의 일차 극대와 이차 극대 사이의 간격이 작아진다.
- ㄷ. 입사한 빛의 반경이 클수록 더 많은 수의 슬릿을 지나가므로 다중 슬릿의 분해능은 감소한다.
- ㄹ. 다중 슬릿의 분해능은 빛의 직경 내에 포함된 전체 슬릿 수가 많을수록 증가한다.

- ① ㄱ, ㄴ ② ㄴ, ㄷ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄷ, ㄹ ⑤ ㄱ, ㄹ

개념 POINT

5. [2005년 변리사] (하)

굴절률이 $3/2$ 인 두 유리판을 그림과 같이 왼쪽 끝은 맞닿게 하고 오른쪽 끝은 조금 떨어뜨려 비스듬하게 겹쳐 놓았다. 단색광을 위에서 수직으로 비추면 두 유리판을 반사한 빛들 사이의 간섭에 의해 일정한 간격의 밝고 어두운 띠가 보인다. 유리판 사이의 공간에 공기 대신 굴절률이 $4/3$ 인 액체를 채우면 어두운 띠 사이의 간격은 어떻게 변화되는가?⁵⁾



- ① 원래 간격의 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. ② 원래 간격의 $\frac{3}{4}$ 배가 된다. ③ 변화 없다.
 ④ 원래 간격의 $\frac{4}{3}$ 배가 된다. ⑤ 원래 간격의 2배가 된다.

개념 POINT

6. [2006년 변리사] (하)

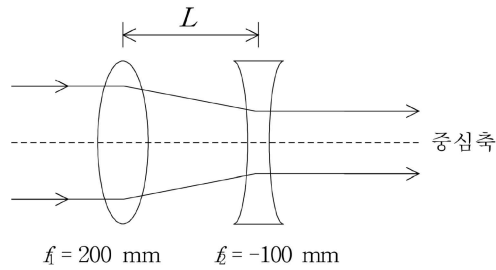
슬릿 두 개가 $0.40mm$ 간격으로 뚫린 평면에 파장이 $600nm$ 인 레이저 빛을 조사하였다. 슬릿이 뚫린 평면으로부터 $80cm$ 떨어진 스크린 상에서 중앙의 가장 밝은 무늬를 첫 번째 무늬라고 할 때, 두 번째와 세 번째 밝은 무늬 사이의 간격은 얼마인가? (단, 개별 슬릿의 폭은 두 슬릿의 간격보다 충분히 작으며, 레이저 빛은 두 개의 슬릿을 완전히 동시에 비춘다고 한다.)⁶⁾

- ① $0.6mm$ ② $1.2mm$ ③ $1.8mm$ ④ $2.0mm$ ⑤ $3.6mm$

개념 POINT

7. [2007년 변리사] (중)

초점거리(f_1)가 200mm 인 볼록렌즈와 초점거리(f_2)가 -100mm 인 오목렌즈를 이용하여 그림과 같이 중심축에 평행하게 입사한 빛살을 다시 평행하게 나가게 하는 광학기구를 만들려고 한다. 두 렌즈 간의 거리 L 은 얼마가 되어야 하는가? (단, 두 렌즈의 중심축은 일치한다.)

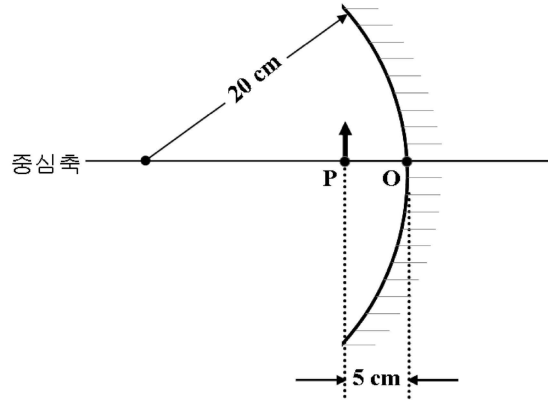


- ① 100mm ② 200mm ③ 300mm ④ 400mm ⑤ 500mm

개념 POINT

8. [2008년 변리사] (중)

그림과 같이 곡률반지름이 20cm 인 오목거울과 중심축이 만나는 점 O 에서 왼쪽으로 5cm 떨어진 중심축 상의 지점 P 에 물체를 둘 때 물체의 상이 맺히는 중심축 상의 위치와 상의 배율로 옳은 것은?8)

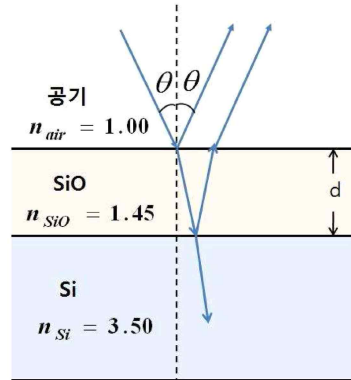


	O 로부터의 위치	배율
①	왼쪽으로 15cm 인 지점	$-\frac{1}{3}$
②	오른쪽으로 15cm 인 지점	3
③	왼쪽으로 10cm 인 지점	$-\frac{1}{2}$
④	오른쪽으로 10cm 인 지점	2
⑤	왼쪽으로 5cm 인 지점	-1

개념 POINT

9. [2013년 변리사] (하) - 박막간섭 - 2025년 기출유사

그림은 실리콘(Si) 결정의 표면 위에 일산화실리콘(SiO) 박막을 코팅하여 제작한 태양전지에 입사각이 θ 로 태양광이 입사되고 반사되는 것을 보인 것이다. Si와 SiO의 굴절률은 각각 $n_{Si} = 3.50$, $n_{SiO} = 1.45$ 이다.



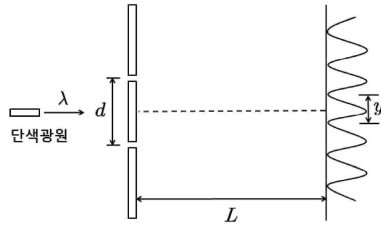
입사되는 빛의 중심파장이 $580nm$ 일 때, 입사각이 $\theta = 0^\circ$ 로 입사되는 빛의 반사가 최소로 되는 박막의 최소 두께 $d(nm)$ 는? (단, 공기의 굴절률 $n_{air} = 1.00$ 이다.)⁹⁾

- ① 25.0 ② 50.0 ③ 60.0 ④ 80.0 ⑤ 100

개념 POINT

10. [2016년 변리사] (하)

그림은 파장 λ 인 단색광을 이용한 영의 이중슬릿 실험 장치와 스크린에 나타나는 간섭무늬의 세기를 모식적으로 나타낸 것이다. 슬릿 사이의 거리는 d , 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L , 간섭무늬의 어두운 부분 사이의 거리는 y 이다. 표의 ㄱ~ㄷ과 같이 실험 조건을 변화시켰을 때, y 가 작아지는 경우만을 있는 대로 고른 것은?¹⁰⁾



	파장	슬릿 사이 거리	슬릿과 스크린 사이 거리
ㄱ	$\frac{1}{2}\lambda$	d	L
ㄴ	λ	$2d$	L
ㄷ	λ	d	$2L$

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄷ

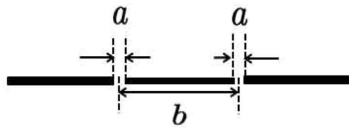
④ ㄱ, ㄴ

⑤ ㄱ, ㄷ

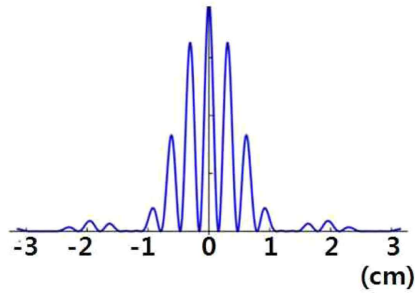
개념 POINT

11. [2017년 변리사] (중)

그림 (가)는 폭 a , 간격 b 인 이중슬릿을 나타낸 것이고, 그림 (나)는 단색광이 (가)의 이중슬릿으로 수직입사할 때 스크린에 생긴 회절무늬의 세기 분포를 나타낸 것이다. 다른 조건들은 그대로 유지한 채 슬릿의 간격만 $\frac{b}{2}$ 로 줄일 경우, 스크린에 보이는 회절무늬의 세기 분포를 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, 스크린은 슬릿으로부터 수 미터 떨어져 있다.)¹¹⁾

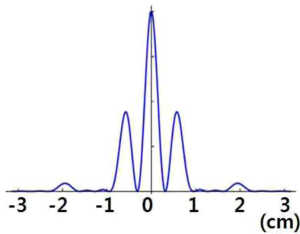


(가)

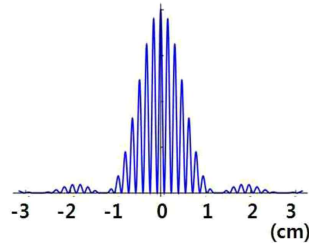


(나)

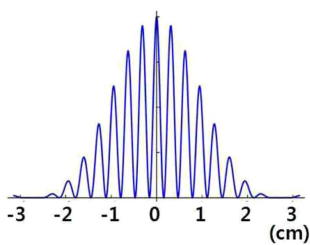
①



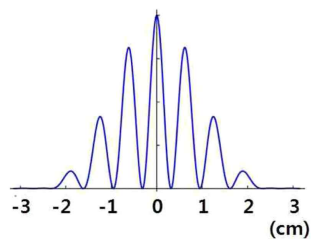
②



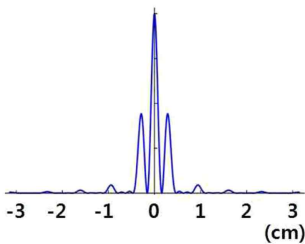
③



④



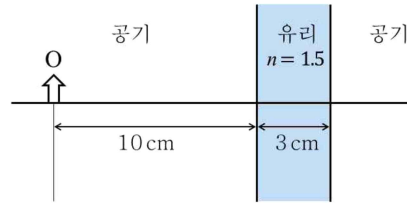
⑤



개념 POINT

12. [2023년 변리사] (상)

그림과 같이 물체 O로부터 10cm 떨어진 곳에 두께 3cm, 굴절률 1.5인 평면 유리가 놓여 있다. 평면 유리에 의한 상의 위치로 옳은 것은? (단, 중심축과 이루는 각도 θ 가 작을 때 $\sin \theta \simeq \tan \theta \simeq \theta$ 이다.)¹²⁾

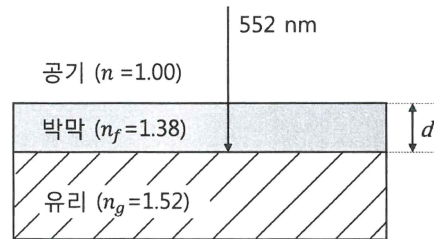


- ① O에서 평면 유리 반대쪽으로 2cm ② O에서 평면 유리 반대쪽으로 1m
- ③ O에서 평면 유리 쪽으로 1cm ④ O에서 평면 유리 쪽으로 2cm
- ⑤ O에서 평면 유리 쪽으로 3cm

개념 POINT

13. [2025년 변리사] (하) - 박막간섭 - 2013년 기출유사

그림과 같이 파장이 $552nm$ 인 빛이 공기 중에서 박막과 유리를 수직으로 입사한다. 박막의 굴절률 n_f 는 1.38이고, 유리의 굴절률 n_g 는 1.52이다. 공기와 박막 경계면에서 반사된 빛과 박막과 유리 경계면에서 반사된 빛이 소멸간섭을 일으키기 위한 박막의 최소 두께 d 는? (단, 공기의 굴절률은 1.00이다.)¹³⁾



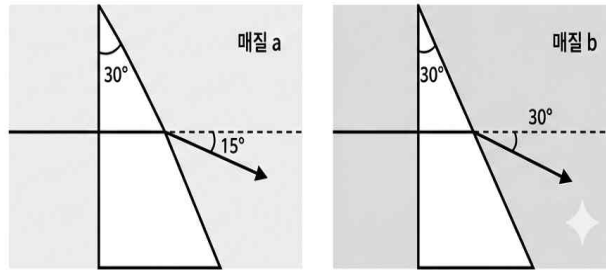
- ① $100nm$ ② $138nm$ ③ $150nm$ ④ $200nm$ ⑤ $276nm$

개념 POINT

14. [2026년 변리사] (중) - 굴절의 법칙(스넬의 법칙)

그림 (가)와 (나)는 동일한 삼각 프리즘을 통과한 단색광이 각각 매질 a와 매질 b로 진행하는 경로를 나타낸 것이다. 매질 a와 b에서 단색광의 파장을 각각 λ_a 와 λ_b 라고 할 때, $\frac{\lambda_a}{\lambda_b}$ 는? ¹⁴⁾

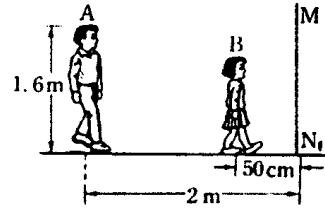
개념 POINT



- ① $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ② $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ③ $\sqrt{\frac{2}{3}}$ ④ $\sqrt{\frac{3}{2}}$ ⑤ $\sqrt{3}$

■ 개념확인문제

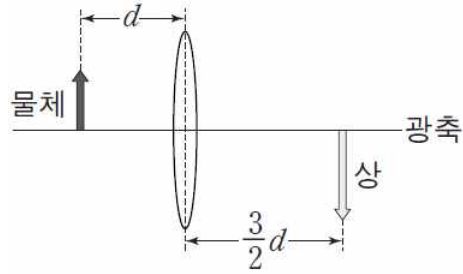
15. 그림과 같이 평면 거울 MN의 앞쪽 2m 되는 곳에 키가 1.6m인 사람 A가 서 있다. 거울의 앞쪽 50cm 되는 곳에 서 있는 사람 B가 A의 전체 모습을 보려면, 거울의 길이 MN은 최소한 몇 cm가 되어야 하는가?¹⁵⁾



개념 POINT

개념 POINT

16. 그림과 같이 볼록 렌즈의 중심으로부터 d 만큼 떨어진 지점에 물체를 놓았더니, 렌즈의 중심으로부터 $\frac{3}{2}d$ 만큼 떨어진 지점에 상이 생겼다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?¹⁶⁾

<보 기>

- ㄱ. 상은 허상이다.
- ㄴ. 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄷ. 렌즈의 초점 거리는 $\frac{3}{5}d$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

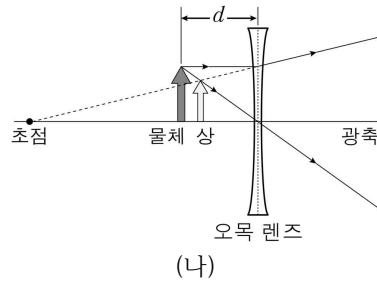
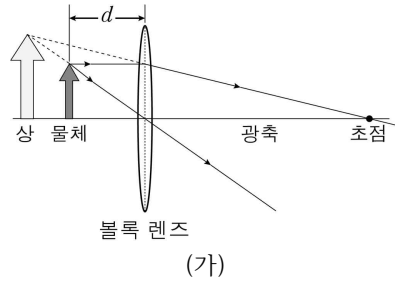
17. 초점 거리가 30cm인 얇은 오목 렌즈의 왼쪽 20cm 되는 곳에 물체가 있다.¹⁷⁾

(1) 이 물체의 상은 어디에 생기는가?

(2) 상의 크기는 물체의 몇 배인가?

개념 POINT

18. 그림 (가), (나)는 각각 볼록 렌즈와 오목 렌즈로부터 d 만큼 떨어진 지점에 동일한 물체를 놓았을 때 상이 생긴 모습을 나타낸 것이다. 볼록 렌즈와 오목 렌즈의 초점 거리는 각각 $+f$, $-f$ 이고, 상의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.¹⁸⁾



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

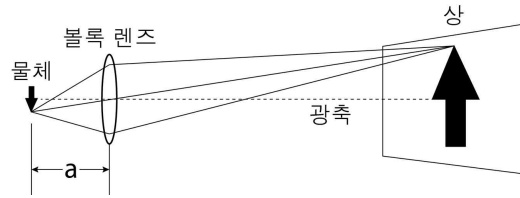
< 보 기 >

ㄱ. (가)의 상은 허상이다.
 ㄴ. $f = 3.5d$ 이다.
 ㄷ. (나)에서 상의 크기는 물체의 크기의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 POINT

19. 그림은 물체에서 나온 빛이 볼록 렌즈를 통과하여 확대된 상이 생기는 모습을 나타낸 것이다. a 는 볼록 렌즈에서 물체까지의 거리이다.



이에 대한 옳은 설명만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?¹⁹⁾

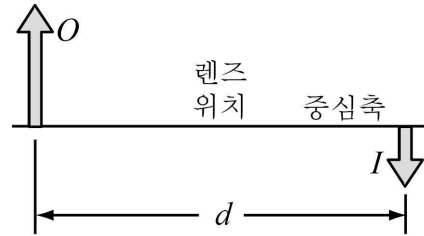
- ㄱ. 이 상은 실상이다.
 ㄴ. 볼록 렌즈의 초점 거리는 a 보다 짧다.
 ㄷ. a 를 크게 하면 상의 크기가 커진다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 POINT

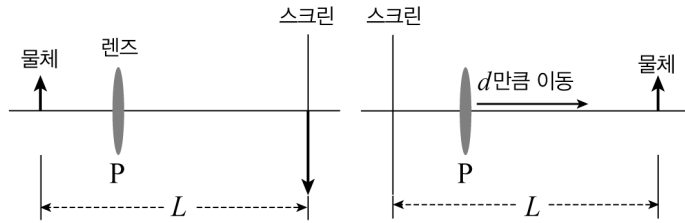
20. 그림은 어떤 렌즈에 의해 물체 O 의 거꾸로 선 실상 I 가 O 로부터 $d = 40.0\text{cm}$ 떨어진 곳에 생긴다는 것을 보여준다. 상의 크기는 물체의 크기의 절반이다.²⁰⁾

개념 POINT



- (a) 어떤 렌즈를 써야 하는가?
- (b) 물체로부터 얼마나 떨어진 곳에 렌즈를 놓아야 하는가?
- (c) 렌즈의 초점거리는 얼마인가?

21. 그림 (가)와 같이 얇은 볼록렌즈를 작은 물체와 스크린 사이의 위치 P 에 놓았더니 스크린에 상이 맺혔다. 이 상태에서, 그림 (나)와 같이 스크린과 물체의 위치를 맞바꾸고 렌즈를 처음 위치 P 에서 오른쪽으로 거리 d 만큼 옮겼더니 스크린에 다시 상이 맺혔다. 물체와 스크린 사이의 거리는 L 이다.²¹⁾



이 렌즈의 초점거리는?

- ① $\frac{L^2 - d^2}{4L}$ ② $\frac{\sqrt{L^2 - d^2}}{4}$ ③ $\frac{L - d}{4}$
 ④ $\sqrt{L^2 - d^2}$ ⑤ $\frac{L^2 - d^2}{4d}$

개념 POINT

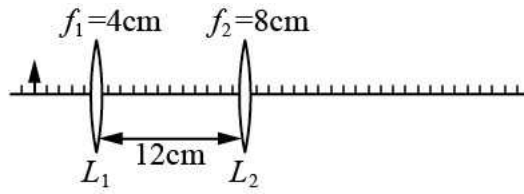
22. 어떤 사람 A와 B가 커다란 평면거울 앞에 함께 서 있다. A는 제자리에 그대로 서 있고, B는 거울을 향해 똑바로 v 의 일정한 속력으로 다가가고 있다.²²⁾

개념 POINT

(1) B가 볼 때 거울에 비친 자신의 상은 얼마의 속력으로 다가오고 있는가?

(2) A가 볼 때 거울에 비친 B의 상은 얼마의 속력으로 다가오고 있는가?

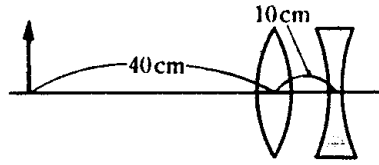
23. 초점거리 4cm인 볼록렌즈 L_1 이 초점거리 8cm인 두 번째 볼록렌즈 L_2 앞 12cm에 있다.
작은 물체가 첫 번째 렌즈 L_1 앞 5cm에 있을 때 최종 상의 위치와 배율을 구하시오.²³⁾



개념 POINT

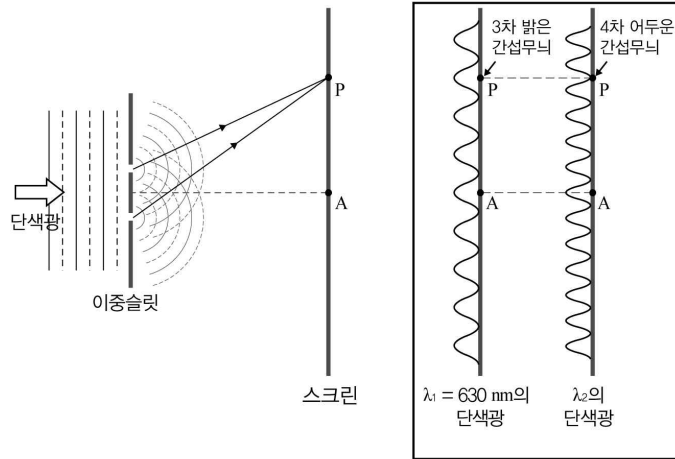
24. 초점 거리 20cm인 볼록 렌즈가 초점 거리 15cm인 오목 렌즈의 왼쪽 10cm 되는 곳에 놓여 있고, 볼록 렌즈의 왼쪽 40cm되는 곳에는 물체가 놓여 있다.²⁴⁾

개념 POINT



- (1) 이 물체의 상은 어디에 생기겠는가?
- (2) 이 때 생긴 상의 종류는 다음 중 어느 것인가?
- ① 정립 실상 ② 도립 실상 ③ 정립 허상
④ 도립 허상 ⑤ 상이 안 생긴다

25. 그림 (가)와 같이 이중슬릿에 단색광을 비추어 생긴 간섭무늬를 스크린에서 관찰한다. 그림 (나)는 $\lambda_1 = 630\text{nm}$ 인 단색광을 비추었을 때 스크린에 생긴 3차 밝은 간섭무늬와, 파장이 λ_2 인 단색광을 비추었을 때 스크린에 생긴 4차(5번째) 어두운 간섭무늬가 스크린에서 같은 위치 P에 생긴 것을 나타낸 것이다. 점 A는 이중슬릿의 두 슬릿으로부터 거리가 같은 스크린상의 한 점이다.



이때 단색광의 파장 λ_2 는? (단, 두 단색광은 평면파이고, 이중슬릿에 수직으로 입사한다.)²⁵⁾

- ① 420 nm ② 440 nm ③ 470 nm ④ 500 nm ⑤ 520 nm

개념 POINT

26. 수렴 렌즈($f=10\text{cm}$)가 발산 렌즈($f=-5\text{cm}$)의 앞 30cm에 있다. 물체가 수렴 렌즈로부터 20cm에 있을 때 최종 상의 위치와 횡배율은 얼마인가?²⁶⁾

개념 POINT

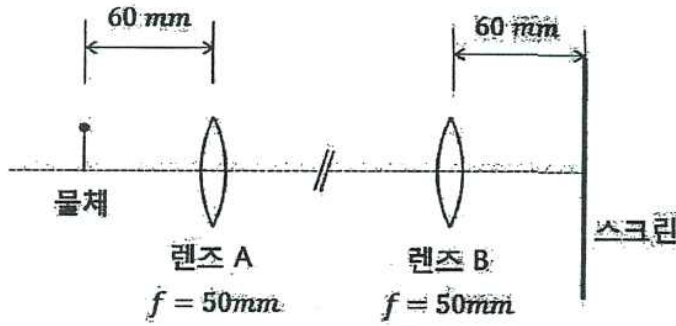
27. 발산 렌즈($f = -15\text{cm}$)가 수렴 렌즈($f = 14\text{cm}$)의 앞(왼쪽) 12cm에 있다. 물체가 발산 렌즈로부터 25cm에 있을 때 ²⁷⁾

개념 POINT

- (1) 최종 상의 위치와
- (2) 확대율은 얼마인가?

28. 그림은 초점거리가 50mm로 같은 두 개의 얇은 볼록렌즈 A, B가 같은 광축으로 놓여 있는 것을 나타낸 것이다. 렌즈 A로부터 거리가 60mm만큼 떨어진 곳의 물체의 상이 렌즈 B로부터 같은 거리 60mm만큼 떨어진 스크린에 맺힐 때, 두 렌즈 사이의 거리는? ²⁸⁾

개념 POINT



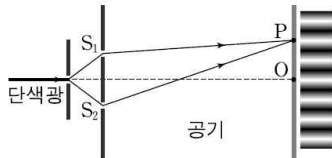
- ① 300mm ② 400mm ③ 500mm ④ 600mm ⑤ 800mm

29. Young의 이중 슬릿 실험에서 파장이 500nm 인 빛이 1mm 만큼 떨어진 두 슬릿에 비추어진다. 슬릿으로부터 5m 떨어진 스크린에서 서로 이웃한 밝은 무늬 사이의 거리는 얼마인가?²⁹⁾

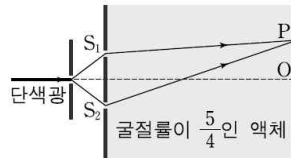
- ① 0.10 cm
- ② 0.25 cm
- ③ 0.50 cm
- ④ 1.0 cm
- ⑤ 위에 답이 없다.

개념 POINT

30. 그림 (가)는 공기 중에서 파장이 λ 인 단색광이 이중 슬릿을 통과한 후 스크린에 간격이 일정한 간섭 무늬를 만드는 것을 모식적으로 나타낸 것이다. 두 슬릿 S_1 , S_2 로부터 같은 거리에 있는 스크린 상의 점 O 에서 보강 간섭이 일어나고, 스크린 상의 고정된 점 P 에서는 O 로부터 두 번째 보강 간섭이 일어난다. 그림 (나)는 (가)에서 다른 조건은 그대로 두고 이중슬릿과 스크린 사이를 공기 대신 굴절률이 $\frac{5}{4}$ 인 액체로 채운 것을 나타낸 것이다.



(가)



(나)

(나)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공기의 굴절률은 1이다.)³⁰⁾

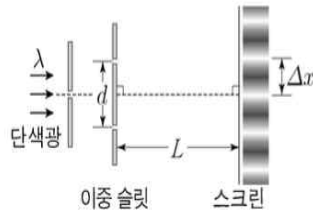
<보 기>

- ㄱ. 액체 속에서 단색광의 파장은 $\frac{5}{4}\lambda$ 이다.
- ㄴ. S_1 , S_2 를 지나 O 에 도달한 두 빛의 위상은 같다.
- ㄷ. P 에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

개념 POINT

31. 그림과 같이 간격이 d 인 이중 슬릿에 파장이 λ 인 단색광을 비추었더니 슬릿으로부터 L 만큼 떨어진 스크린에 이웃한 밝은 무늬의 거리가 Δx 인 간섭무늬가 생겼다. 표는 Δx 가 같게 나온 실험 I, II, III에서 λ , d , L 을 나타낸 것이다.



	$\lambda(\text{nm})$	$d(\text{mm})$	$L(\text{m})$
I	600	0.20	1.0
II	600	㉠	2.0
III	㉡	0.50	3.0

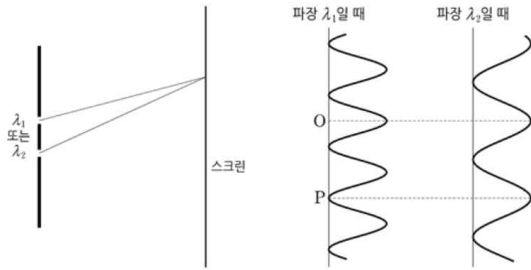
㉠, ㉡으로 가장 적절한 것은?³¹⁾

- | | | | | | |
|---|------|-----|---|------|-----|
| | ㉠ | ㉡ | | ㉠ | ㉡ |
| ① | 0.10 | 500 | ② | 0.10 | 600 |
| ③ | 0.10 | 700 | ④ | 0.40 | 500 |
| ⑤ | 0.40 | 700 | | | |

개념 POINT

32. 그림과 같이 파장이 각각 λ_1 과 λ_2 인 두 단색광을 사용하여 영의 이중슬릿 실험을 한다. 다른 조건은 그대로 두고 단색광의 파장만 바꾸며 실험한다. λ_1 일 때 중심 O로부터 두 번째 무늬가 나타난 위치 P에서, λ_2 일 때는 첫 번째 밝은 무늬가 나타난다. $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ 은?³²⁾

개념 POINT



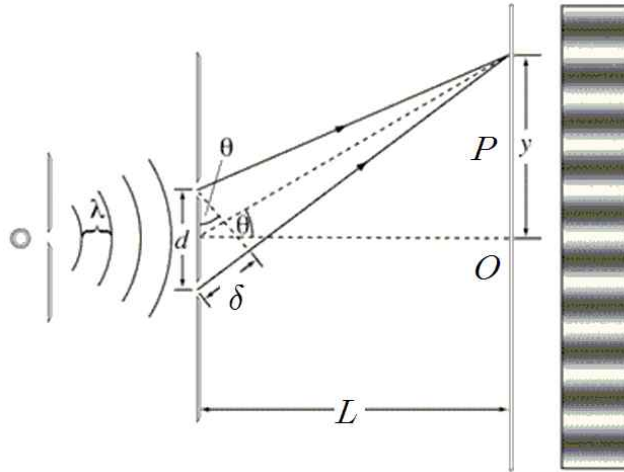
- ① $\frac{1}{2}$ ② $\frac{5}{2}$ ③ $\frac{3}{2}$ ④ 2 ⑤ $\frac{2}{5}$

33. 영의 간섭 실험에서 두 슬릿은 0.3 mm 떨어져 있고, 입사광은 $\lambda_1 = 540 \text{ nm}$ (초록색)과 $\lambda_2 = 450 \text{ nm}$ (파란색)의 두 파장을 가지고 있다. 슬릿으로부터 1.0 m 떨어진 스크린에 겹쳐진 간섭 무늬들이 나타난다. 스크린의 중심에서부터 초록색 빛의 밝은 무늬가 파란색 빛의 밝은 무늬와 처음으로 일치하는 점까지의 거리를 구하시오.³³⁾

개념 POINT

- ① 0.3 mm ② 1 mm ③ 3 mm ④ 9 mm ⑤ 30 mm

34. 그림과 같이 걸맞는 홀파장 빛이 이중 실험(slit)을 통과해 스크린에 간섭무늬를 만들고 있다. 빛의 파장 λ 가 500 nm, 실험의 간격 d 가 0.5 mm, 실험에서 스크린까지 거리 L 이 1m 일 때 스크린의 중심점 O 로부터 두 번째 상쇄 간섭무늬의 중간까지의 거리는? (단, 각 θ 가 작을 경우 $\tan\theta \approx \sin\theta \approx \theta$ 이다.)³⁴⁾

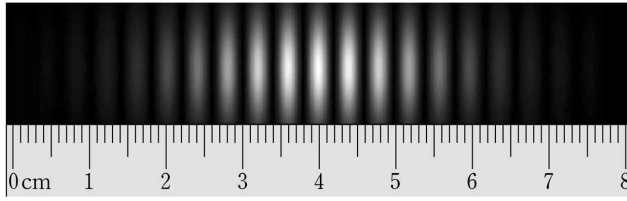


- ① 0.10 mm
- ② 0.15 mm
- ③ 0.50 mm
- ④ 1.00 mm
- ⑤ 1.50 mm

개념 POINT

35. 그림은 영의 이중슬릿 실험장치에서 광원으로 사용하는 단색광의 파장이 400nm 일 때 눈금이 있는 스크린에 나타난 간섭무늬이다.

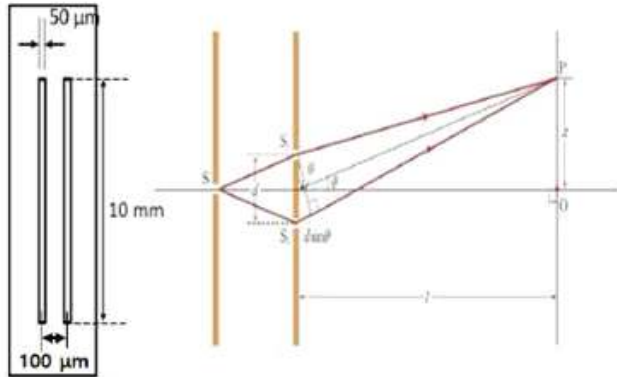
개념 POINT



다른 조건은 동일하게 하고 단색광의 파장을 500nm 로 바꾸었을 때, 관측되는 이웃한 두 밝은 간섭무늬의 중심 사이의 거리로 가장 적절한 것은?³⁵⁾

- ① 3.2mm ② 4.0mm ③ 5.0mm ④ 6.4mm ⑤ 8.0mm

36. 다음은 영의 간섭 실험에 대한 슬릿 평태와 이중슬릿 장치의 모식도이다. 사용한 레이저는 600nm 파장을 가지고 있다. 다음은 영의 간섭 실험에 대한 슬릿 평태와 이중슬릿 장치의 모식도이다. 사용한 레이저는 600nm 파장을 가지고 있다.³⁶⁾



(가) 600nm 파장을 가진 레이저를 사용하여 간섭 실험을 할 경우 $l=1\text{m}$ 떨어진 스크린에서 중심으로부터 세 번째 보강 간섭을 하는 위치는 중심으로부터 얼마만큼 거리에 있는가? (이중 슬릿 간격은 0.1mm)

(나) 레이저 파장을 길게 또는 또는 짧게 바꾸면 (가)의 답은 어떻게 달라지는가?

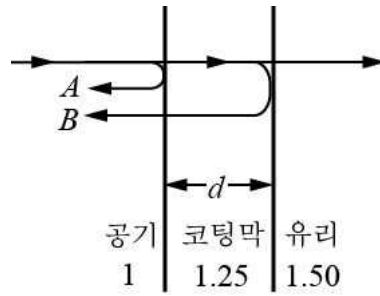
(다) 이중 슬릿의 슬릿 폭이 커지거나 슬릿간 간격이 커지면 스크린의 무늬는 어떻게 달라지는가?

(라) 레이저에서 나오는 전자기파의 편광상태에 따라서 간섭무늬 패턴은 어떻게 될지 설명해 보시오.

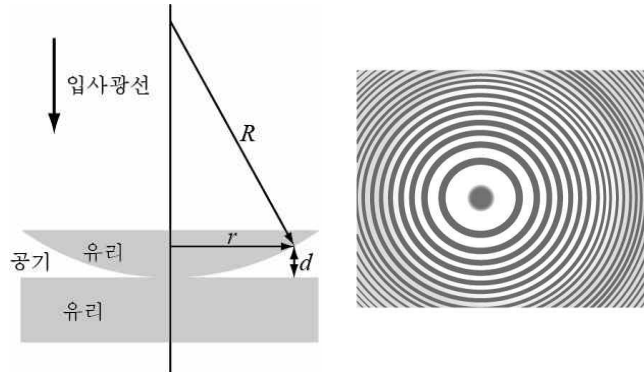
개념 POINT

37. 유리(굴절률 1.50)판에 굴절률 $n = 1.25$ 인 얇은 코팅막을 입혀서 수직하게 입사하는 파장 600nm 의 빛이 반사되지 않도록 하려고 한다. 코팅막의 최소 두께는 얼마가 되어야 하는가?³⁷⁾

개념 POINT



38. 아래 그림은 반지름이 R 인 구면의 일부와 평면으로 구성된 렌즈가 평평한 거울 위에 있을 때 파장이 λ 인 단색광이 렌즈의 평면에 수직으로 입사하는 모습을 나타낸 것이고, 오른쪽의 그림은 렌즈의 아래 면에서 반사되는 빛과 유리의 위 면에서 반사되는 빛의 경로 차에 의해 생성되는 간섭 링을 나타낸 것이다.



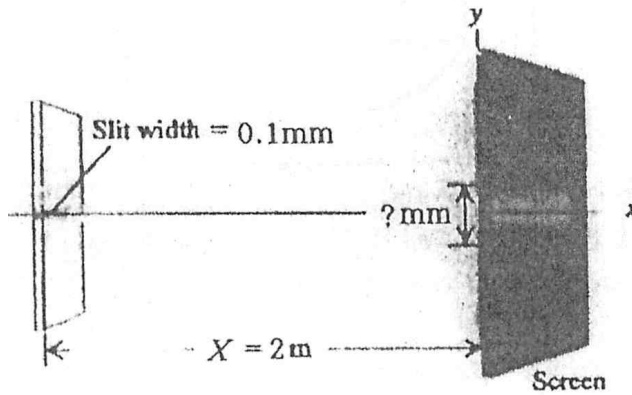
첫 번째 보강간섭에 의해 나타나는 링의 반지름은? (단, R 은 링의 반지름 r 보다 매우 크고, 공기의 굴절률은 1이다.)³⁸⁾

- ① $\sqrt{\frac{\lambda R}{2}}$
- ② $\sqrt{\lambda R}$
- ③ $\sqrt{\frac{3\lambda R}{2}}$
- ④ $\sqrt{2\lambda R}$
- ⑤ $\sqrt{\frac{5\lambda R}{2}}$

개념 POINT

39. 파장 500nm 인 단색광이 폭 0.1mm 인 좁은 틈을 통과하여 틈으로부터 2m 떨어져 있는 스크린 위에서 회절 무늬를 만든다.

개념 POINT



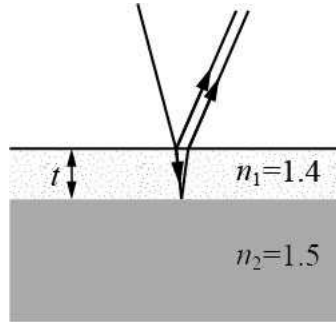
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?³⁹⁾

<보 기>

- ㄱ. 중앙으로부터 첫 번째 극소점들 사이의 거리(=중앙 밝은 무늬의 폭)는 2cm 이다.
- ㄴ. 인접한 극소점들 사이의 거리는 1cm 이다.
- ㄷ. 틈의 폭이 좁아지면 무늬의 간격도 좁아진다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

40. 평평한 유리판($n_2 = 1.50$) 위에 알코올($n_1 = 1.40$)의 얇은 막이 형성되어 있다. 파장을 변화시킬 수 있는 단색광의 광원을 얇은 막 위에 수직으로 비추었더니 파장이 $\lambda_1 = 640\text{nm}$ 일 때 반사광의 세기가 최대가 되었으며 파장이 $\lambda_2 = 512\text{nm}$ 일 때 반사광의 세기가 최소가 되었다. 얇은 막의 최소 두께는 얼마인지 구하시오. ($640 = 5 \times 2^7$, $512 = 2^9$)⁴⁰⁾



개념 POINT

41. 폭이 2.0mm인 단일 슬릿에 600nm의 빛을 비추었다. 슬릿과 스크린 사이의 거리는 6m일 때, 스크린 중심에 생긴 밝은 무늬의 폭은 얼마인가?⁴¹⁾

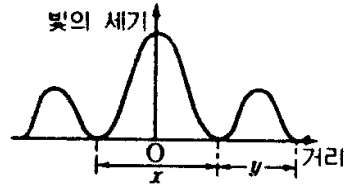
- ① 1.2mm ② 1.8mm ③ 2.4mm
④ 3.6mm ⑤ 4.8mm

개념 POINT

42. 단일슬릿에 파장이 λ_a 와 λ_b 인 빛을 비춘 결과, 파장 λ_a 의 첫 번째 회절 극소가 파장 λ_b 의 두 번째 회절 극소의 위치와 같았다.
- (a) λ_a 는 λ_b 의 몇 배인가? 파장 λ_b 의 어떤 차수 m_b 의 극소가, 파장 λ_a 의 차수
- (b) $m_a = 2$,
- (c) $m_a = 3$ 의 극소와 각각 겹치는가?⁴²⁾

개념 POINT

43. 아래의 그래프는 단일 슬릿에 의한 빛의 회절 실험에서 스크린 위에 비춘 빛의 세기를 위치에 따라 나타낸 것이다. 그래프에서 점 O는 단일 슬릿의 중심부와 일치하는 스크린 위의 점이고, 가로축은 이 O점으로부터의 거리를 나타내며, 세로축은 빛의 세기를 나타낸다.⁴³⁾ (단, λ 가 슬릿의 폭 a 에 비해 충분히 작아서 스크린에서 $\sin\theta \simeq \tan\theta \simeq \theta$ 로 근사가 가능하다)



- (1) 파장이 더 긴 빛을 사용하여 실험을 하면, 중앙에 있는 밝은 무늬의 폭 x 는 어떻게 변하겠는가?
- (2) 슬릿의 폭을 좀더 좁게 하여 실험을 하면, 중앙에 있는 밝은 무늬의 폭 x 는 어떻게 변하겠는가?
- (3) 중앙에 있는 밝은 무늬의 폭 x 와 바로 이웃한 밝은 무늬의 폭 y 의 비 $\frac{x}{y}$ 는 얼마인가?

개념 POINT

■ 정답과 해설

개념 POINT

1) [정답] ⑤

[해설]

- ① 전반사 : 무지개 형성과정에 내부 반사가 포함 되지만, 색이 나뉘는 '분산'의 핵심설명은 아니다.
 ② 간섭 : 얇은막(비눗방울 등)에서 색이 나타나는 원리이다.
 ③ 회절 : 장애물 뒤로 빛이 퍼지는 현상이다.
 ④ 편광 : 빛의 진동방향이 한 쪽으로 제한되는 현상이다.
 ⑤ 빛의 진동수에 따른 굴절률의 차이 : 이것이 바로 분산의 정의이며 무지개가 생기는 가장 핵심적인 이유이다. (참)

2) [정답] ②

[해설]

사람의 눈을 정점으로 하고, 가로등의 상(3m 높이)을 밑변으로 하는 삼각형을 그려보면 거울은 이 삼각형의 중간을 가로지르는 단면과 같다.
 - 큰 삼각형의 높이 (눈-가로등 상) : 3m
 - 작은 삼각형의 높이 (눈-거울) : 1m
 - 큰 삼각형의 밑변 (가로등의 상 높이) : 3m
 - 작은 삼각형의 밑변 (거울의 최소 길이 x) : 구하고자 하는 값
 삼각형의 닮음비에 의해
 거울의 길이(x) : 가로등의 높이(3m) = 눈에서 거울까지 거리(1m) : 눈에서 상까지 거리(3m)
 에서 $x : 3 = 1 : 3$ 이므로 $x = 1m$ 이다.

3) [정답] ③

[해설]

이중슬릿 간섭실험에서 무늬간격은 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.

- ① 슬릿의 간격(d)을 크게 하면 무늬간격은 줄어든다. (거짓)
 ② 스크린과 슬릿 사이의 거리(L)을 짧게 하면 무늬간격은 줄어든다. (거짓)
 ③ 파장이 긴 빛을 사용하면 무늬간격은 늘어난다. (참)
 ④ 빛의 세기가 강한 빛을 사용하면 무늬만 더 밝아질뿐 무늬간격은 변화없다. (거짓)
 ⑤ 진동수가 큰 빛을 사용하면 파장이 작아지므로 무늬간격은 작아진다. (거짓)

4) [정답] ⑤

[해설]

다중 슬릿 간섭에서 극대조건은 $d \sin \theta = m\lambda (m = 0, 1, 2, \dots)$ 이다.

- ㄱ. 파장이 커지면 극대가 나타나는 각도 θ 가 커지므로 일차 극대와 이차 극대의 간격이 더 커진다. (참)
 ㄴ. $\sin \theta = \frac{m\lambda}{d}$ 이므로 d 가 작을수록 각도 θ 가 커지므로 일차 극대와 이차 극대의 간격이 더 커진다. (거짓)
 ㄷ. 입사한 빛의 반경이 클수록 더 많은 수의 슬릿을 지나가면 주극대의 폭이 더 좁고 날카로워지므로 다중 슬릿의 분해능은 증가한다. (거짓)
 ㄹ. 다중슬릿의 분해능은 $R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = mN$ 이므로 빛의 직경 내에 포함된 전체 슬릿 수가 많을수록 증가한다. (참)

5) [정답] ②

[해설]

1. 두 유리판의 굴절률이 $\frac{3}{2}$ 으로 공기의 굴절률 1보다 크므로 유리판 사이의 윗면에서 반사하는 빛은 자유단 반사이고 유리판 사이의 아랫면에서 반사하는 빛은 고정단 반사이다. 따라서 간섭조건이 바뀌게 된다.

2. 두 유리판 사이의 각도를 θ 라고 할 때 유리판 아랫면의 왼쪽으로부터 m 번째 어두운 띠의 위치를 x_m 이라고 하면 $\Delta = 2x_m \tan \theta$ 이고 상쇄 간섭조건은 $\Delta = 2x_m \tan \theta = m\lambda_n$ (m 은 정수)이다. θ 가 아주 작을 때 $\tan \theta \simeq \theta$ 이므로 $x_m = \frac{m\lambda_n}{2\theta}$ 이고 인접한 어두운 띠 사이의 간격은 $\Delta x = \frac{\lambda_n}{2\theta} = \frac{\lambda}{2n\theta}$ 이다 .

3. 따라서 유리판 사이의 물질의 굴절률에 반비례하며, 유리판 사이의 물질의 굴절률이 각각 $n_1 = 1$, $n_2 = \frac{4}{3}$ 일 때의 띠 간격을 Δx_1 , Δx_2 라 하면 $\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{\frac{4}{3}} = \frac{3}{4}$ 이므로 원래 간격의 $\frac{3}{4}$ 배가 된다.

6) [정답] ②

[해설]

이중슬릿 간섭실험에서 무늬간격은 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 이다. 따라서 문제에 주어진 값들 대입하면

$$\Delta x = \frac{0.8 \times 600 \times 10^{-9}}{0.4 \times 10^{-3}} = 1.2 \times 10^{-3} \text{m} = 1.2 \text{mm} \text{이다.}$$

7) [정답] ①

[해설]

1. 평행하게 입사한 빛이 렌즈계를 통과한 후 다시 평행하게 나가기 위해서는 첫 번째 렌즈에 의해 맺히는 상의 위치가 두 번째 렌즈의 초점 위치와 일치해야 한다.

2. 볼록렌즈에 평행하게 입사한 빛의 상은 볼록렌즈의 초점이므로 상의 위치는 $b_1 = f_1 = +200 \text{mm}$ 이다.

3. 오목렌즈에서 평행하게 빛이 나가려면 볼록렌즈에 의한 상이 오목렌즈의 뒤쪽 초점 위치에 있어 한다. 오목렌즈의 초점거리는 $|f_2| = |-100| = 100 \text{mm}$ 이므로 두 렌즈 간의 거리는 $L = f_1 - |f_2| = 200 - 100 = 100 \text{mm}$ 이다.

8) [정답] ④

[해설]

구면거울 공식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r}$ 에서 $\frac{1}{5} + \frac{1}{b} = \frac{2}{20} = \frac{1}{10}$ 이므로 $b = -10 \text{cm}$ 이다. 따라서 상은 거울 뒤 오른쪽 10cm 지점에 생긴다. 이때 배율은 $m = -\frac{b}{a} = -\frac{-10}{5} = +2$ 이다. 따라서 2배 확대된 정립 허상이 생긴다.

9) [정답] ⑤

[해설]

1. 위상차 확인

첫 번째 반사는 공기에서 입사하여 SiO에서 반사하므로 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰

개념 POINT

매질로 반사하므로 고정단 반사이다.

두 번째 반사는 SiO 에서 입사하여 Si 에서 반사하므로 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 반사하므로 고정단 반사이다.

따라서 두 번의 반사가 모두 고정단 반사이므로 두 반사광선의 위상차는 0이다.

2. 수직입사 상쇄간섭

수직입사의 경우 경로차는 $2d$ 이고 위상차가 0일 때 상쇄간섭 조건은 $2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_{SiO}}$ 이며

d 가 최소일 때는 $m=0$ 이므로 $d_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\lambda}{n_{SiO}} = \frac{1}{4} \times \frac{580nm}{1.45} = 100nm$ 이다.

10) [정답] ④

[해설]

이중슬릿 간섭실험에서 무늬간격은 $y = \frac{L\lambda}{d}$ 이다.

ㄱ. 무늬간격 y 는 파장 λ 에 비례하므로 파장이 $\frac{1}{2}\lambda$ 가 되면 무늬간격은 작아진다. (참)

ㄴ. 무늬간격 y 는 슬릿 사이의 거리 d 에 반비례하므로 슬릿 사이의 거리가 $2d$ 가 되면 무늬간격은 작아진다. (참)

ㄷ. 무늬간격 y 는 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 에 비례하므로 슬릿과 스크린 사이의 거리가 $2L$ 이 되면 무늬간격은 커진다. (거짓)

11) [정답] ①

[해설]

이중슬릿 회절에서 전체적인 윤곽은 폭 a 에 반비례하고 간섭 무늬사이의 간격은 슬릿간격 b 에 반비례한다. 따라서 다른 조건들은 그대로 유지한 채 슬릿의 간격만 $\frac{b}{2}$ 로 줄일 경우 전체적인 윤곽은 그대로이나 윤곽선 안에 있는 간섭무늬의 간격은 2배로 증가한다. 따라서 $-1cm$ 에서 $+1cm$ 사이의 무늬의 개수가 $\frac{1}{2}$ 이 된 그래프는 ①이다.

12) [정답] ③

[해설]

1. 두께가 있는 투명한 판(유리)을 통해 물체를 보면, 빛의 굴절로 인해 물체가 실제 위치보다 관측자 쪽(평면유리 쪽)으로 떠올라 보인다. 굴절률이 n 이고 두께가 t 인 평면 유리에서 상의 이동거리는 $d = t\left(1 - \frac{1}{n}\right) = 3 \times \left(1 - \frac{1}{1.5}\right) = 1cm$ 이므로 평면 유리에 의한 상의 위치는 0에서 평면 유리 쪽으로 $1cm$ 떨어진 위치이다.

13) [정답] ①

[해설]

1. 위상차 확인

첫 번째 반사는 공기에서 입사하여 박막에서 반사하므로 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 반사하므로 고정단 반사이다.

두 번째 반사는 박막에서 입사하여 유리에서 반사하므로 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 반사하므로 고정단 반사이다.

따라서 두 번의 반사가 모두 고정단 반사이므로 두 반사광선의 위상차는 0이다.

2. 수직입사 상쇄간섭

개념 POINT

수직입사의 경우 경로차는 $2d$ 이고 위상차가 0일 때 상쇄간섭 조건은 $2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n_f}$ 이며 d

가 최소일 때는 $m=0$ 이므로 $d_{\min} = \frac{1}{4} \frac{\lambda}{n_f} = \frac{1}{4} \times \frac{552nm}{1.38} = 100nm$ 이다.

14) [정답] ③

[해설]

1. 프리즘 내부에서의 상황

- 동일한 삼각 프리즘이므로 내부에서 경계면으로 입사하는 단색광의 입사각 $\theta_i = 30^\circ$ 이다.

2. 각 매질에서의 굴절각 파악

그림에서 제시된 각도는 '입사광선의 연장선'과 '굴절 광선' 사이의 각도이다. 스넬의 법칙에 대입할 굴절각은 법선과 광선 사이의 각도입니다.

- 매질 a (가) : 입사광선의 연장선과의 각도가 15° 이므로, 법선과의 각도(굴절각)

$\theta_a = 30^\circ + 15^\circ = 45^\circ$ 이다.

- 매질 b (나) : 입사광선의 연장선과의 각도가 30° 이므로, 법선과의 각도(굴절각)

$\theta_b = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$ 이다.

3. 스넬의 법칙 및 파장 관계식 적용

프리즘의 굴절률을 n_p , 각 매질의 파장을 λ_a, λ_b 라고 할 때 $n_p \sin 30^\circ = n_a \sin 45^\circ = n_b \sin 60^\circ$

가 성립한다. 따라서 $n_a \sin 45^\circ = n_b \sin 60^\circ$ 이고 $\frac{\lambda_a}{\lambda_b} = \frac{n_b}{n_a} = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 60^\circ} = \sqrt{\frac{2}{3}}$ 이다.

15)

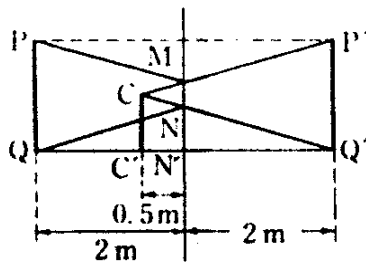
[정답] 32cm

[해설]

A의 상 P'Q'은 거울면에 대칭이므로, 그림에서 $\triangle CMN$ 과 $\triangle CP'Q'$ 는 닮은꼴이다. 따라서

A의 모습을 전부 보는 데 필요한 거울의 길이는 MN이므로 $\frac{MN}{P'Q'} = \frac{C'N'}{C'Q'} = \frac{0.5}{(2+0.5)} = \frac{1}{5}$

$\therefore MN = \frac{1}{5} \times P'Q' = \frac{160}{5} = 32(\text{cm})$



16)

[정답] ⑤ ㄴ, ㄷ

[해설]

ㄱ. 상이 물체의 반대편에 만들어졌으므로 볼록 렌즈에 의한 상은 실상이다. (X)

ㄴ. 배율은 $m = -\frac{b}{a} = -\frac{3}{2}$ 이며 크기는 $|m| = \frac{3}{2}$ 배이다. (O)

ㄷ. 렌즈 공식에 적용해 보자.

$a = d$ 이고 $b = \frac{3}{2}d$ 로 실물체에 의한 실상이다.

$$f = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} = \frac{1}{\frac{1}{d} + \frac{2}{3d}} = \frac{3}{5}d$$

이다. (O)

17) [정답] (1) 오목 렌즈의 왼쪽 12cm 되는 곳 (2) 0.6배

[해설]

(1) 렌즈의 공식 $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ 을 적용하면 $\frac{1}{20} + \frac{1}{b} = \frac{1}{-30}$

$$\therefore \frac{1}{b} = \frac{1}{-30} - \frac{1}{20} = -\frac{1}{12} \Rightarrow b = -12(\text{cm})$$

$b < 0$ 이므로 허상이다. 따라서 오목 렌즈의 왼쪽 12cm 되는 곳에 생긴다.

$$(2) m = -\frac{b}{a} = -\frac{-12}{20} = 0.6(\text{배})$$

18) [정답] ④ ㄱ, ㄷ

[해설]

[출제의도] 렌즈에 의한 상의 특징을 이해한다.

ㄱ. (가), (나) 모두 허상이다. ㄷ. $\frac{1}{d} + \frac{1}{2b} = \frac{1}{f}$, $\frac{1}{d} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$ 에서 $b = -\frac{3}{4}d$ 이므로 배율은 $\frac{3}{4}$ 이다.

[오답풀이] ㄴ. $f = 3d$ 이다.

19) [정답] ③ ㄱ, ㄴ

[해설]

[출제의도] 렌즈에 의한 상의 원리를 이해한다.

ㄱ. 빛이 모이기 때문에 실상이다. ㄴ. 물체가 초점 거리 밖에 있을 때 실상이 생긴다.

[오답풀이] ㄷ. a 를 크게 하면 물체에서 상까지의 거리(b)가 작아져서 상의 크기는 작아진다.

20) [정답] (a) 수렴 렌즈 (b) 26.7cm (c) 8.89cm

[해설] 물체와 상 사이의 거리

$$p + i = d = 40.0\text{cm} \dots\dots ①$$

또, 배율이 0.5이므로

$$m = \left| \frac{i}{p} \right| = 0.5$$

실상, 실물체이므로 $p > 0$, $i > 0$. 따라서,

$$\frac{i}{p} = 0.5 \dots\dots ②$$

②를 ①에 대입하면

$$1.5p = 40 \Rightarrow p = \frac{80}{3} \approx 26.7\text{cm}$$

$$i = 0.5p = \frac{40}{3} \approx 13.3\text{cm}$$

따라서, 초점 거리는

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{i} = \frac{3}{80} + \frac{3}{40} = \frac{9}{80}$$

$$\therefore f = \frac{80}{9} \approx 8.89\text{cm}$$

21) [정답] ① $\frac{L^2-d^2}{4L}$

[해설]

$\frac{1}{x} + \frac{1}{L-x} = \frac{1}{f}$ 의 두 근의 차이가 d 이다.

$$\frac{1}{f} = \frac{L}{x(L-x)}$$

따라서 $x^2 - Lx + fL = 0$

두 근의 차이가 d 이므로

$$d = \sqrt{L^2 - 4fL}$$

따라서 $f = \frac{L^2 - d^2}{4L}$ 이다.

22) [정답] (1) $2v$ (2) v

[해설] B의 속도를 $-v$ 라고 하면, t 초 후 B가 이동한 거리 x 는 $x = -vt$

이때 상이 이동한 거리는 $x' = -x = vt$ 따라서 거울에 비친 B의 상의 속도는 v 이다. 그러므로 B에 대한 상의 상대 속도는 $v' = v - (-v) = 2v$

23) [정답] 두 번째 렌즈 오른쪽 4cm, $m = -2$

[해설] 첫 번째 굴절에 의한 상은

$p_1 = 5\text{cm}$, $f_1 = 4\text{cm}$ 이므로

$$q_1 = \frac{1}{\frac{1}{f_1} - \frac{1}{p_1}} = \frac{p_1 f_1}{p_1 - f_1} = \frac{(5\text{cm})(4\text{cm})}{5\text{cm} - 4\text{cm}} = 20\text{cm}$$

배율은 $m_1 = -\frac{q_1}{p_1} = -\frac{20\text{cm}}{5\text{cm}} = -4$ 이다.

두 번째 물체의 위치는

$p_2 = d - q_1 = 12\text{cm} - (20\text{cm}) = -8\text{cm}$

가 되어서 허물체가 된다.

$\frac{1}{p_2} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{f_2}$ 는 허물체인 경우에도 성립하며 $f_2 = 8\text{cm}$ 이므로

$$\frac{1}{-8\text{cm}} + \frac{1}{q_2} = \frac{1}{8\text{cm}}$$

에서 $q_2 = 4\text{cm}$, $m_2 = -\frac{q_2}{p_2} = -\frac{4\text{cm}}{(-8\text{cm})} = \frac{1}{2}$ 이다.

최종 상의 위치는 두 번째 렌즈 오른쪽 4cm이며, $q_2 > 0$ 이므로 실상이다.

배율은 $m = m_1 m_2 = (-4)\left(\frac{1}{2}\right) = -2$ 이다. 배율이 음수이므로 상은 뒤집혀 있으며, 높이가 2배가 된다.

24) [정답] (1) 오목 렌즈 왼쪽 30cm (2) ③

[해설] (1) 볼록 렌즈에 의한 상의 위치는 렌즈의 공식에 의하면

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \Rightarrow \frac{1}{20} = \frac{1}{40} + \frac{1}{b} \quad \therefore b = 40(\text{cm})$$

따라서 볼록 렌즈에 의하여 생기는 상은 볼록 렌즈로부터 40cm, 오목 렌즈로부터 30cm 떨어진 오른쪽에 생긴다. 이 상은 오목 렌즈의 허물체이므로, 다시 렌즈의 공식에 대입하면

$$-\frac{1}{15} = -\frac{1}{30} + \frac{1}{b'} \quad \therefore b' = -30(\text{cm})$$

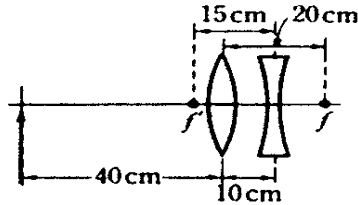
따라서 물체의 상은 오목 렌즈의 왼쪽 30cm되는 곳에 생긴다.

(2) 이 때 볼록 렌즈의 배율 m 은 $m = -\frac{b}{a} = -\frac{40}{40} = -1 < 0$

따라서 볼록 렌즈의 상은 도립 실상이다. 한편, 오목 렌즈에 의한 배율 m' 은

$$m' = -\frac{b'}{a'} = -\frac{-30}{-30} = -1 < 0$$

따라서 오목 렌즈에 의한 상은 도립 허상이다. 그런데 상이 두 번 뒤집혔으므로, 정립 허상이 된다.



25) [정답] ① 420 nm

[해설] 같은 위치에서 3차 밝은 간섭무늬와 4차(5번째) 어두운 간섭무늬가 생겨났으므로

$$d \sin \theta = 3 \lambda_1 = 4.5 \lambda_2$$

$$\lambda_2 = \frac{3}{4.5} \lambda_1 = 420 \text{ nm}$$

26) [정답] 상의 위치는 두 번째 렌즈의 앞 3.33 cm 이고 상의 횡배율은 -0.333

[해설]

첫 번째 굴절은 $a_1 = 20 \text{ cm}$ $f_1 = 10 \text{ cm}$ 이므로

$$\frac{1}{20 \text{ cm}} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{10 \text{ cm}} \text{ 에서 } b_1 = 20 \text{ cm}, m_1 = -\frac{b_1}{a_1} = -1$$

렌즈 사이의 거리가 $d = 30 \text{ cm}$ 이므로

$$a_2 = L - b_1 = 30 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

$f_2 = -5 \text{ cm}$ 이므로 렌즈 공식을 적용하면

$$\frac{1}{10 \text{ cm}} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{-5 \text{ cm}} \text{ 에서}$$

$$b_2 = -\frac{10}{3} \text{ cm} = -3.33 \text{ cm}, m_2 = -\frac{b_2}{a_2} = \frac{1}{3}$$

따라서 최종상의 위치는 $b_2 = -3.33 \text{ cm}$ 가 되어서 두 번째 렌즈 앞 3.33 cm 이며,

배율은 $m = m_1 m_2 = -\frac{1}{3} = -0.333$ 이다.

27) [정답] (1) 두 번째 렌즈 뒤 40.6 cm (2) -1.18

[해설]

첫 번째 굴절은 $a_1 = 25 \text{ cm}$ $f_1 = -15 \text{ cm}$ 이므로

$$\frac{1}{25 \text{ cm}} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{-15 \text{ cm}} \text{ 에서}$$

$$b_1 = -\frac{375}{40} \text{ cm} = -\frac{75}{8} \text{ cm}, m_1 = -\frac{b_1}{a_1} = \frac{5}{8}$$

렌즈 사이의 거리가 $d = 12 \text{ cm}$ 이므로

$$a_2 = L - b_1 = 12 \text{ cm} - \left(-\frac{75}{8} \text{ cm}\right) = \frac{171}{8} \text{ cm}$$

$f_2 = 14 \text{ cm}$ 이므로 렌즈 공식을 적용하면

$$\frac{1}{\frac{171}{8}\text{cm}} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{14\text{cm}} \text{ 에서}$$

$$b_2 = \frac{1}{\frac{1}{14} - \frac{8}{171}} \text{cm} = \frac{2394}{59} \text{cm} = 40.576.. \text{cm} = 40.6\text{cm}, \quad m_2 = -\frac{b_2}{a_2} = -\frac{112}{59}$$

따라서 최종상의 위치는 $b_2 = 40.6\text{cm}$ 가 되어서 두 번째 렌즈 뒤(오른쪽) 40.6cm이며,

$$\text{배율은 } m = m_1 m_2 = \left(\frac{5}{8}\right) \left(-\frac{112}{59}\right) = -\frac{70}{59} = -1.18 \text{이다.}$$

28) [정답] ④ 600mm

[해설] 첫 번째 굴절에서 상의 위치를 q_1 이라고 하면

$$\frac{1}{60\text{mm}} + \frac{1}{q_1} = \frac{1}{50\text{mm}}$$

에서 $q_1 = 300\text{mm}$ 이다.

두 번째 굴절에서 물체의 위치를 p_2 라고 하면

$$\frac{1}{p_2} + \frac{1}{60\text{mm}} = \frac{1}{50\text{mm}}$$

에서 $p_2 = 300\text{mm}$ 이다.

렌즈 사이의 거리를 d 라고 하면

$$d = q_1 + p_2 = 300\text{mm} + 300\text{mm} = 600\text{mm}$$

이다.

29) [정답] ②

[해설]

m 번째 밝은 무늬는 $d \sin \theta_m = m \lambda$ 인 곳에서 생긴다.

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{d} = m \frac{5 \times 10^{-7}\text{m}}{1 \times 10^{-3}\text{m}} = m \times 5 \times 10^{-4}$$

이다.

보통의 자연수 m 값에 대해서는 $\sin \theta_m \ll 1$ 이므로

$$\tan \theta_m = \frac{\sin \theta_m}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_m}} \simeq \sin \theta_m$$

이다.

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m = L \tan \theta_{m+1} - L \tan \theta_m$$

$$\simeq L (\sin \theta_{m+1} - \sin \theta_m)$$

$$= L [(m+1) - m] \frac{\lambda}{d}$$

$$= \frac{L \lambda}{d} = \frac{(5\text{m})(5 \times 10^{-7}\text{m})}{1 \times 10^{-3}\text{m}} = 2.5 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$= 0.25\text{cm}$$

30) [정답] ④ ㄴ, ㄷ

[해설]

ㄱ. 액체 속에서 단색광의 파장은 $\frac{\lambda}{n} = \frac{4}{5} \lambda$ 이다. (X)

ㄴ. O는 거리가 같은 점이므로 S_1, S_2 를 지나 O에 도달한 두 빛의 위상은 같다. (O)

ㄷ. P점은 경로차가 2λ 인 곳이다. $2\lambda = \frac{5}{2} \frac{\lambda}{\frac{4}{5}}$ 이므로 상쇄간섭이 일어난다. (O)

31) [정답] ④ \ominus : 0.40, \oplus : 500

[해설]

이웃한 밝은 무늬 간격은 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 로 주어진다. 따라서 Δx 가 같기 위해서 \ominus 은 0.40, \oplus 은 500이 적절하다.

32) [정답] ③ $\frac{3}{2}$

[해설] P점에서 경로차는 $\delta = 1.5\lambda_1 = \lambda_2$

이다. 따라서 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{3}{2}$ 이다.

33) [정답] ④ 9 mm

[해설]

일치하는 곳의 각도를 θ 라고 하면

$d\sin\theta = m_1\lambda_1 = m_2\lambda_2$ 가 된다.

따라서 $\frac{m_2}{m_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{450\text{nm}}{540\text{nm}} = \frac{5}{6}$ 이며, 처음으로 일치하는 점이므로 최소 자연수 m_1, m_2 의 값 일 때이다.

따라서 $m_1 = 5, m_2 = 6$ 이다.

$$\sin\theta = \frac{m_1\lambda_1}{d} = \frac{(5)(540 \times 10^{-9}\text{m})}{3 \times 10^{-4}\text{m}} = 9 \times 10^{-3}$$

스크린상의 위치는

$$y = L\tan\theta = \frac{L\sin\theta}{\sqrt{1-\sin^2\theta}}$$

$$\simeq L\sin\theta = (1.0\text{m})(9 \times 10^{-3}) = 9\text{mm}$$

34) [정답] ⑤ 1.50 mm

$$y_2 = \frac{3L\lambda}{2d} = \frac{3(1\text{m})(5 \times 10^{-7}\text{m})}{2(5 \times 10^{-4}\text{m})} = 1.5\text{mm}$$

35) [정답] ③ 5.0mm

[해설] θ 가 작을 때 이웃한 간섭무늬 사이의 간격은

$$\Delta y = \frac{L\lambda}{d}$$

이다. 여기서 λ 는 파장, L 은 스크린까지의 거리, d 는 슬릿 사이의 간격이다.

파장이 $\frac{5}{4}$ 배가 되므로 무늬 사이의 간격도 $\frac{5}{4}$ 배가 된다.

따라서 $\Delta y' = \frac{5}{4}\Delta y = \frac{5}{4} \times 4.0\text{mm} = 5.0\text{mm}$ 이다.

36) [정답] (가) $1.8 \times 10^{-2}\text{m}$ (나) (다) (라) 풀이참조

[해설] (가) 이중 슬릿의 간섭실험에서

보강 간섭의 조건 $d\sin\theta = m\lambda$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

상쇄 간섭의 조건 $d\sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$, $m = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$\sin\theta_3 = \frac{3\lambda}{d} = \frac{(3)(6.0 \times 10^{-7}\text{m})}{1.0 \times 10^{-4}\text{m}} = 0.018$$

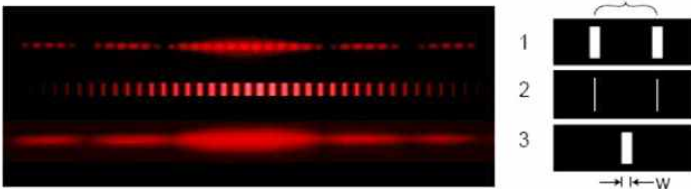
$\sin\theta_3$ 가 충분히 작으므로 $\tan\theta_3 \approx \sin\theta_3 = 0.018$ 이다.

스크린에서 세 번째 보강 간섭무늬까지의 거리는

$$y_3 = l \tan\theta_3 = 1.8 \times 10^{-2}\text{m}$$

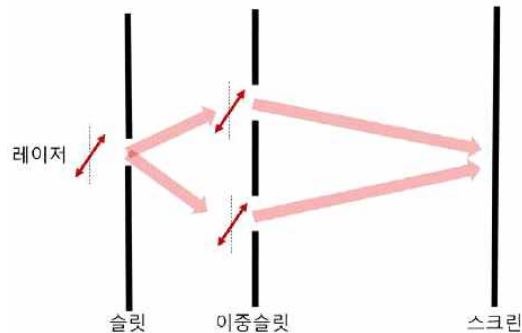
(나) $x_3 = l \tan\theta_3 \approx l \sin\theta_3 = \frac{3l\lambda}{d}$ 에서 λ 가 감소한 비율만큼 x_3 가 작아진다.

(다) 이중 슬릿의 폭이 커지면 그림과 같이 단일 슬릿에서 보이는 회절 간섭 패턴과 이중슬릿에서 보이는 간섭 패턴이 동시에 겹쳐 보이는 형태로 나타날 것이다.



슬릿의 간격이 넓어지면 $\Delta x \approx \frac{l\lambda}{d}$ 에서 간섭무늬 사이의 간격이 감소한다.

(라) 결론은 “아무런 변화가 없다.”이다.



레이저에서 나오는 전자기파의 전기장(혹은 자기장)이 진행 방향에 대해서 진동하는 방향이 편광상태를 결정한다. 처음 슬릿에 들어오는 전자기파의 편광상태를 바꾸더라도 이중슬릿으로 지나가는 전자기파의 편광상태는 상대적으로 아무런 변화가 없다. 따라서 스크린에 생기는 간섭무늬 패턴은 이중슬릿을 지나온 전자기파의 상대적인 위상차이에만 관계가 있으므로, 간섭무늬 패턴은 레이저의 편광 상태를 바꾸기 전과 후가 달라지지 않는다.

37) [정답] $1.20 \times 10^{-7}\text{m}$

[해설] 공기에서 코팅막으로 진행하다가 반사된 빛 A와 코팅막에서 유리로 진행하다가 반사된 빛 B모두 위상 변화가 π 씩 일어난다. 따라서, 경로차 $2d$ 에 대한 파수차가 반정수이면 상쇄간섭한다.

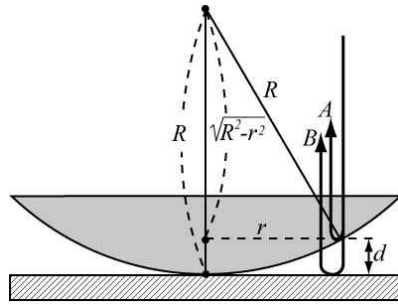
$$\Delta N = \frac{2d}{\lambda_{\text{코팅막}}} = m + \frac{1}{2}$$

최소 두께는 $m=0$ 일 때이므로

$$\frac{2d}{\lambda} = 0.5 \Rightarrow d = \frac{0.5 \times \lambda}{2.5} = \frac{\lambda}{5} = 120\text{nm}$$

38) [정답] ① $\sqrt{\frac{\lambda R}{2}}$

[해설]



빛 A는 반사에 의해 위상이 변하지 않고, B는 위상이 변화하였다. 두 빛의 경로차는 $2d$ 이므로 두 빛이 보강 간섭할 조건은

$$\Delta N = \frac{2d}{\lambda} = m + \frac{1}{2} \quad \dots\dots ①$$

(단, $m=0,1,2,\dots$ 은 정수)

위의 그림에서 공기층의 두께 d 는

$$d = R - \sqrt{R^2 - r^2} \quad \dots\dots ②$$

이다. $r/R \ll 1$ 이므로 ②식에 $(1+x)^n \approx 1+nx$ 의 이항 근사를 적용한다.

$$d = R - R \left\{ 1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\}^{1/2} \approx R - R \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right\} = \frac{1}{2} \frac{r^2}{R} \quad \dots\dots ③$$

③을 ①에 대입하면
$$\frac{r^2}{R\lambda} = m + \frac{1}{2}$$

따라서, m 차 밝은 무늬의 반지름 r_m 은

$$\therefore r_m = \sqrt{\left(m + \frac{1}{2}\right) R \lambda}$$

첫 번째 보강간섭은 $m=0$ 인 경우이다.

$$r_1 = \sqrt{\frac{1}{2} R \lambda}$$

39) [정답] ④ ㄱ, ㄴ

[해설] ㄱ. 중앙 무늬의 폭은

$$\Delta y = \frac{2L\lambda}{a} = \frac{(2)(2\text{m})(5 \times 10^{-7}\text{m})}{1 \times 10^{-4}\text{m}} = 2\text{cm}$$

이다. (O)

ㄴ. 극소점 사이의 거리는

$$\Delta y = \frac{L\lambda}{a} = \frac{(2\text{m})(5 \times 10^{-7}\text{m})}{1 \times 10^{-4}\text{m}} = 1\text{cm}$$

이다. (O)

ㄷ. $\Delta y = \frac{L\lambda}{a}$ 에서 a 가 감소하면 Δy 는 증가한다. (X)

40) [정답] $t = 457\text{nm}$

[해설]

굴절률이 더 큰 매질에서 반사한 두 광선이 간섭하므로 간섭하는 두 광선의 위상은 반사할 때 변하지 않는다. 밝은 무늬와 어두운 무늬

$$2n_1 t = m_1 \lambda_1$$

$$2n_1 t = \left(m_2 + \frac{1}{2}\right) \lambda_1$$

두 식에서

$$m_1 \lambda_1 = \left(m_2 + \frac{1}{2}\right) \lambda_1$$

$$\therefore \frac{m_2 + \frac{1}{2}}{m_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{640 \text{ nm}}{512 \text{ nm}} = 1.25$$

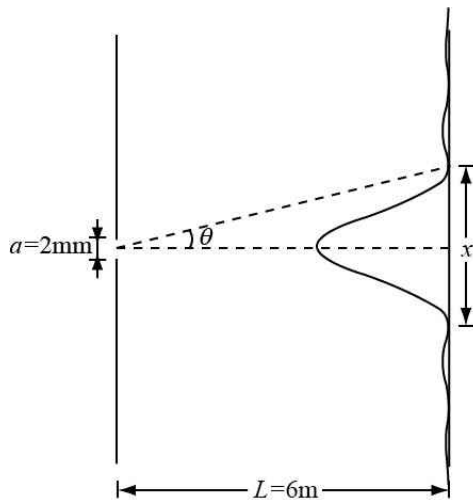
위 식을 만족하는 최소 자연수 m_1 과 m_2 는 $m_1 = 2$, $m_2 = 2$ 이다.

$$\text{따라서 } t = \frac{m_1 \lambda_1}{2n_1} = \frac{2 \times 640 \text{ nm}}{2 \times 1.4} = 457 \text{ nm}$$

41) [정답] ④

$$[\text{해설}] a \sin \theta = \lambda \Rightarrow a \frac{x/2}{L} = \lambda$$

$$\Rightarrow x = \frac{2L\lambda}{a} = \frac{2(6\text{m})(600\text{nm})}{2.0\text{mm}} = 3.6\text{mm}$$



42) [정답] (a) $\lambda_a = 2\lambda_b$ (b) 4 (c) 6

[해설] (a) 단일 슬릿 회절에서 m 번째 극소 위치는

$$a \sin \theta = m\lambda$$

에서 찾을 수 있다. 따라서, λ_a 인 파장에 대해 첫 번째 극소 위치를 θ_{a1} , λ_b 인 파장에 대해 두 번째 극소 위치를 θ_{b2} 라 하면

$$a \sin \theta_{a1} = \lambda_a \quad a \sin \theta_{b2} = 2\lambda_b$$

이 때 $\theta_{a1} = \theta_{b2}$ 이므로, $\lambda_a = 2\lambda_b$ 가 성립한다.

(b) (c) 따라서, λ_a 인 파장에 대해 n 번째 극소 위치를 θ_{an} , λ_b 인 파장에 대해 m 번째 극소 위치를 θ_{bm} 라 하면

$$a \sin \theta_{an} = n\lambda_a$$

$$a \sin \theta_{bm} = m\lambda_b$$

$\lambda_a = 2\lambda_b$ 이므로 $\theta_{an} = \theta_{bm}$ 이려면 $2n = m$ 이면 된다. 즉, a 의 두 번째 극소($n=2$)는 b 의 네 번째 극소($m=4$)와 일치하고, a 의 세 번째 극소($n=3$)는 b 의 여섯 번째 극소($m=6$)와 일치한다.

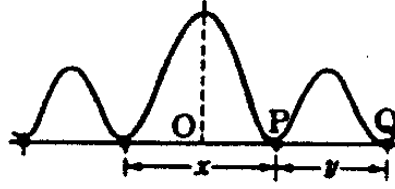
43) [정답] (1) 커진다 (2) 커진다 (3) 2

[해설] (1), (2) 슬릿의 양 끝에서 P점까지의 경로차가 한파장만큼 차이가 나고, Q점까지의 경로차는 두 파장만큼 차이가 나므로, 슬릿과 스크린 사이의 거리 l , O에서 P까지의 거리를

$$X, O에서 Q까지의 거리를 Y라고 하면 $\Delta = \frac{Xd}{l} = \lambda \dots \dots \textcircled{1}$$$

$$\Delta = \frac{Yd}{l} = 2\lambda \dots \dots \textcircled{2}$$

①에서 $X = \frac{l\lambda}{d}$ 이고, $x = 2X$ 이므로, 중앙에 있는 밝은 무늬의 폭 x 는 $x = \frac{2l\lambda}{d}$ 따라서 x 는 파장에 비례하고, 슬릿의 폭 d 에 반비례한다.



(3) ②에서 $Y = \frac{2l\lambda}{d}$ 이고, 이웃한 밝은 무늬의 폭 y 는 $y = Y - X$ 이므로

$$y = Y - X = \frac{2l\lambda}{d} - \frac{l\lambda}{d} = \frac{l\lambda}{d} \quad \therefore \frac{x}{y} = \frac{2l\lambda}{d} \times \frac{d}{l\lambda} = 2$$

개념 POINT