



광학

물리올림피아드 고급과정

제1장 간섭·회절과 굴절

최근 5회분(90문항)에서 광학은 5문항(5.6%)이 출제되었다. 문항 수 자체는 많지 않지만 **매회 정확히 1문항씩**, 그것도 시험지 후반부(12~17번)의 거의 고정된 자리에서 나온다. 출제 위치와 개수가 이렇게 안정적인 단원은 드물어서, **대비 효율이 가장 높은 단원**이다. 출제 측은 셋뿐이다 – (i) **경로차를 파장으로 나눠 보강·상쇄를 판정하는 문항** (이중슬릿·삼중슬릿·회절격자·마이컬슨 간섭계가 전부 같은 한 줄에서 나온다), (ii) **무늬 간격이 어떤 양에 비례하는지 묻는 비례관계 문항** ($\Delta y = \lambda L/d$ 에서 무엇이 바뀌었는지만 보면 된다), 그리고 (iii) **매질이 바뀔 때 변하는 양과 변하지 않는 양의 구분**이다. 세 축 모두 계산량은 거의 없고, **어떤 거리를 d 에 넣을지·경로차를 몇 배로 셀지**를 고르는 판단 문제다.

학습 목표

- 경로차 Δr 를 위상차 $\Delta\phi = 2\pi\Delta r/\lambda$ 로 바꿔 보강·상쇄를 판정할 수 있다.
- 이중슬릿에서 밝은 무늬·어두운 무늬의 위치와 무늬 간격 $\Delta y = \lambda L/d$ 를 유도해 쓸 수 있다.
- 슬릿을 막거나 개수를 바꿨을 때 **실제로 간섭하는 두 슬릿의 간격**이 무엇인지 다시 정할 수 있다.
- 회절격자의 주극대 조건 $d \sin \theta = m\lambda$ 로 관측 가능한 차수의 개수를 셀 수 있다.
- 매질이 바뀔 때 진동수는 불변, 속력과 파장은 $1/n$ 배가 됨을 이용해 스넬 법칙과 임계각을 다룰 수 있다.
- 마이컬슨 간섭계에서 거울을 d 만큼 옮겼을 때 무늬 이동 수가 $N = 2d/\lambda$ 임을 설명할 수 있다.

1.1 경로차와 위상차 – 이 장의 유일한 출발점

같은 광원에서 나와 **서로 다른 길**을 지나 한 점에서 만난 두 빛을 생각한다. 두 경로의 길이 차이를 경로차 Δr 라 하면, 만나는 순간의 위상차는

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta r$$

이다. 즉 **경로차를 파장으로 나눈 값의 소수부가 모든 것을 결정한다.**

$$\Delta r = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \implies \text{보강 간섭 (밝음)}$$

$$\Delta r = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \implies \text{상쇄 간섭 (어두움)}$$

두 파원이 **동위상**(같은 광원에서 갈라져 나왔고 출발까지의 거리가 같음)일 때만 이 형태다. 문항에서 “단일 슬릿을 먼저 통과시켰다”, “빔 분할기로 나누었다”는 서술이 나오면 그것은 곧 **두 파원이 동위상임을 보증하는 장치**라는 뜻이고(가간섭성), “단일 슬릿으로부터 S_1 과 S_2 까지의 거리는 같다”는 단서 역시 같은 역할이다.

경로차를 세는 방법은 상황마다 다르지만 결과는 늘 하나의 표로 정리된다.

장치	경로차 Δr	밝은 무늬 조건
이중슬릿 (간격 d)	$d \sin \theta \approx dy/L$	$d \sin \theta = m\lambda$
회절격자 (간격 d)	$d \sin \theta$ (이웃 슬릿끼리)	$d \sin \theta = m\lambda$
단일슬릿 (폭 a)	$a \sin \theta$ (양 끝 광선)	$a \sin \theta = m\lambda$ 는 어두움
마이컬슨 간섭계	$2d$ (왕복)	$2d = m\lambda$
두께 t 인 매질 삽입	$(n - 1)t$	$(n - 1)t = m\lambda$

표의 셋째 줄만 조건이 뒤집혀 있다는 점에 주의한다. 단일슬릿은 **한 슬릿 안의 무수한 점광원끼리** 짝을 지어 상쇄시키는 계산이라, $a \sin \theta = m\lambda$ 가 밝은 곳이 아니라 어두운 곳을 준다.

1.2 이중슬릿 간섭 – 무늬 간격은 $\lambda L/d$

간격 d 인 두 슬릿에서 거리 L 인 스크린까지, 중심에서 y 만큼 떨어진 점을 보자. $L \gg d$ 이면 두 광선을 평행하다고 볼 수 있어 경로차는 $d \sin \theta$ 이고, 각이 작으므로 $\sin \theta \approx \tan \theta = y/L$ 이다. 따라서

$$y_{\text{밝음}} = m \frac{\lambda L}{d}, \quad y_{\text{어두움}} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{d} \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

이웃한 밝은 무늬(또는 이웃한 어두운 무늬) 사이의 간격은

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

이 한 줄이 이중슬릿 문항의 90%를 처리한다. 읽는 법은 **비례관계**로 굳혀 두는 것이 좋다.

- 파장이 길수록(빨강 > 파랑) 무늬가 **넓게** 벌어진다. $\Delta y \propto \lambda$
- 스크린이 멀수록 넓어진다. $\Delta y \propto L$
- 슬릿 간격이 좁을수록 넓어진다. $\Delta y \propto 1/d$ – **반비례**라는 점이 늘 함정이다.
- 무늬 간격은 슬릿의 **폭** a 와는 무관하다. 폭은 밝기(포락선)만 바꾼다.

어두운 무늬의 번호를 세는 방식도 반드시 정리해 둔다. 중앙 O에서 바깥으로 나가며 **첫 번째** 어두운 무늬는 $m = 0$ 항이므로 경로차 $\lambda/2$, **두 번째**는 $3\lambda/2$, **세 번째**는 $5\lambda/2$ 다. 반면 밝은 무늬는 중앙이 0번째이므로 **첫 번째** 밝은 무늬가 경로차 λ 다. 두 수열의 출발점이 다르다.

간섭 한 장 정리

- 밝음: $\Delta r = m\lambda$ · 어두움: $\Delta r = (m + 1/2)\lambda$
- 위치: $y_m = m\lambda L/d$ · 간격: $\Delta y = \lambda L/d$
- n 번째 **어두운** 무늬 $\rightarrow \Delta r = (2n - 1)\lambda/2$ (1번째 $\lambda/2$, 2번째 $3\lambda/2$, ...)
- n 번째 **밝은** 무늬 $\rightarrow \Delta r = n\lambda$ (중앙 밝은 무늬가 0번째)

자주 하는 실수

“ P 는 O로부터 두 번째 어두운 무늬”라는 단서를 보고 경로차를 2λ 로 쓰면 틀린다. 어두운 무늬는 반파장의 **홀수배**이므로 두 번째는 $3\lambda/2$ 이고, 이때 두 빛의 위상차는 3π – 즉 **위상이 정반대**다. 상쇄점에서 “위상이 같다”는 서술은 언제나 거짓이다.

1.3 다중슬릿과 회절격자 – 주극대는 어디까지 보이는가

같은 간격 d 로 슬릿을 N 개 늘어놓아도, **이웃한 슬릿끼리의 경로차**가 λ 의 정수배이면 N 개가 모두 동시에 보강한다. 그래서 주극대(principal maxima)의 위치는 슬릿 개수와 무관하게

$$d \sin \theta = m\lambda \implies y_m \approx m \frac{\lambda L}{d}$$

로, **이중슬릿과 완전히 같은 자리다**. N 이 커지면서 달라지는 것은 위치가 아니라 **모양**이다.

- 이웃한 두 주극대 사이에 상쇄점(극소)이 $N - 1$ 개, 부극대가 $N - 2$ 개 생긴다.
- 그래서 N 이 클수록 주극대는 **가늘고 선명해진다**. 회절격자가 분광에 쓰이는 이유다.
- 슬릿 3개(삼중슬릿)라면 주극대 사이에 극소 2개, 부극대 1개다.

주극대의 개수는 $|\sin \theta| \leq 1$ 이라는 물리적 제약에서 나온다.

$$|m| \leq \frac{d}{\lambda} \implies \text{관측 가능한 차수는 } m = 0, \pm 1, \dots, \pm [d/\lambda]$$

즉 총 개수는 $2[d/\lambda] + 1$ 개다. d/λ 가 정확히 정수인 경우 그 차수는 $\sin \theta = 1$, 곧 $\theta = 90^\circ$ 로 스크린에 닿지 못하므로 세지 않는 것이 보통이다.

차수 개수 세는 절차

1. d/λ 를 계산한다. (예: $d = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$, $\lambda = 600 \text{ nm} \rightarrow d/\lambda = 3.33$)
2. 그 값을 넘지 않는 최대 정수가 최고 차수다. (예: $m_{\max} = 3$)
3. 개수는 $\pm$ 를 모두 세어 $2m_{\max} + 1$. (예: $2 \times 3 + 1 = 7$ 개)
4. 각 차수의 위치는 $\sin \theta_m = m\lambda/d$ 로 구한다. m 이 커질수록 $\sin \theta$ 가 1에 가까워져 소각 근사($\sin \theta \approx \tan \theta$)가 점점 나빠진다.

자주 하는 실수

슬릿 하나를 막았을 때 무늬 간격이 어떻게 되는지 묻는 문항이 반복된다. 간격을 정하는 것은 슬릿의 **개수**가 아니라 **살아남은 두 슬릿 사이의 실제 거리**다. 등간격 A·B·C(간격 d)에서 A를 막으면 남은 B·C의 간격은 여전히 d 라 무늬 간격이 그대로지만, 가운데 B를 막으면 남은 A·C의 간격이 $2d$ 가 되어 무늬 간격이 **절반**으로 좁아진다. “슬릿이 줄었으니 무늬가 넓어진다”는 직관은 틀렸다.

1.4 단일슬릿 회절과 포락선

폭 a 인 슬릿 하나만 있어도 빛은 퍼진다. 슬릿을 위아래 절반으로 나누어 짝지으면 $a \sin \theta = m\lambda$ 일 때 모든 짝이 정확히 상쇄되므로

$$a \sin \theta = m\lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \dots) \implies \text{어두운 무늬}$$

이고, $m = 0$ 은 제외된다(중앙은 가장 밝다). 중앙 극대의 각폭은 $\sin \theta = \lambda/a$ 까지이므로 스크린에서의 폭은 $2\lambda L/a$ 로, **슬릿이 좁을수록 더 넓게 퍼진다.**

실제 이중슬릿 실험에서 보이는 것은 두 효과의 곱이다.

$$I(\theta) = I_0 \underbrace{\cos^2\left(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}\right)}_{\text{간섭(이중슬릿)}} \cdot \underbrace{\left(\frac{\sin(\pi a \sin \theta/\lambda)}{\pi a \sin \theta/\lambda}\right)^2}_{\text{회절(단일슬릿 포락선)}}$$

간섭이 촘촘한 무늬를, 회절이 그 무늬의 **밝기 포락선**을 만든다. d/a 가 정수 p 이면 $m = p, 2p, \dots$ 차 간섭 극대가 회절 극소와 겹쳐 사라진다(missing order).

경시 문항에서는 대개 “슬릿의 폭은 아주 작아 슬릿 폭에 의한 회절효과는 무시할 수 있다”는 단서로 포락선을 지워 준다. 이 단서는 **무늬 간격을 $\Delta y = \lambda L/d$ 로만 따지라**는 뜻이다.

1.5 굴절률 – 변하는 양과 변하지 않는 양

매질 속에서 빛의 속력은 느려진다. 그 비를 굴절률로 정의한다.

$$n = \frac{c}{v} \implies v = \frac{c}{n}, \quad \lambda_n = \frac{\lambda_0}{n}$$

여기서 결정적인 것은 **진동수가 변하지 않는다**는 사실이다. 진동수는 광원이 정하는 양이고, 경계면에서 두 매질의 파동이 계속 이어져야 하므로 단위시간당 도착하는 마루의 수가 달라질 수 없다. $v = f\lambda$ 에서 f 가 고정이므로 v 가 $1/n$ 배면 λ 도 $1/n$ 배다.

물리량	매질이 바뀌면	근거 · 관계식
진동수 f	변하지 않음	광원이 정한다. 경계에서 파면이 끊길 수 없다
주기 T	변하지 않음	$T = 1/f$
색(color)	변하지 않음	색은 f 가 정한다. 물속에서도 빨강은 빨강
광자 에너지 E	변하지 않음	$E = hf$
속력 v	변한다	$v = c/n$ (n 이 클수록 느리다)
파장 λ	변한다	$\lambda_n = \lambda_0/n$ (n 이 클수록 짧다)
진행 방향	변한다	$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$
세기(밝기)	변할 수 있음	경계면 반사·흡수 때문. 간섭·편광과는 무관

두 매질 A, B에서의 값을 비교할 때는 굴절률의 **비만** 쓰면 된다.

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{n_B}{n_A}, \quad \frac{\lambda_A}{\lambda_B} = \frac{n_B}{n_A}, \quad \frac{f_A}{f_B} = 1$$

스넬 법칙과 임계각. 경계면에서

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

이고, $n_1 > n_2$ 인 방향(빡빡한 → 성긴)으로 갈 때만 $\theta_2 > \theta_1$ 이므로 $\theta_2 = 90^\circ$ 가 되는 입사각이 존재한다. 이것이 임계각이다.

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_1 > n_2)$$

읽는 법이 중요하다. n_2/n_1 이 1에 가까울수록(두 굴절률이 비슷할수록) 임계각이 크고, 굴절률 차이가 클수록 임계각이 작다. 굴절률 차가 크면 “더 잘 전반사된다”고 외워도 좋다 – 작은 입사각에서도 이미 전반사가 시작되기 때문이다.

자주 하는 실수

“굴절률 차가 가장 큰 두 매질에서 임계각이 가장 크다”는 서술은 정확히 뒤집힌 진술이다. $\sin \theta_c = n_2/n_1$ 이므로 굴절률 차가 가장 큰 조합은 **가장 작은** 임계각을 준다. 또 하나 – 매질이 바뀌어도 **진동수는 절대 변하지 않는다**. “매질 C에서의 진동수는 매질 A에서의 0.6 배”처럼 굴절률 비를 진동수에 갖다 붙인 선택지는 계산해 볼 필요도 없이 거짓이다.

1.6 마이컬슨 간섭계 – 왕복이므로 $2d$

빔 분할기가 빛을 두 갈래로 나누고, 각각 거울에서 반사되어 되돌아와 검출기에서 다시 만난다. 두 팔의 길이를 L_1, L_2 라 하면 빛은 각 팔을 **왕복**하므로 광경로차는

$$\Delta r = 2(L_1 - L_2)$$

거울 하나를 d 만큼 옮기면 그 팔의 왕복 거리가 $2d$ 만큼 바뀐다. 경로차가 λ 만큼 바뀔 때마다 검출기에서 무늬가 하나씩 지나가므로, 지나간 무늬의 수 N 은

$$N = \frac{2d}{\lambda} \implies d = \frac{N\lambda}{2}, \quad \lambda = \frac{2d}{N}$$

이 관계 덕분에 마이컬슨 간섭계는 **파장 자를 이용한 길이 측정기**가 된다. 무늬 하나가 지나갈 때 거울은 겨우 $\lambda/2$ 만큼 움직이므로, 가시광선이라면 $0.3\mu\text{m}$ 수준의 변위를 눈으로 셀 수 있다. 중력파 검출기(LIGO)도 팔 길이를 늘린 같은 원리의 장치다.

두 팔 사이에 굴절률 n , 두께 t 인 시료를 넣는 변형도 자주 나온다. 이때는 그 팔을 왕복하며 시료를 두 번 지나므로 추가 광경로차가 $2(n-1)t$ 이고, 무늬 이동 수는 $N = 2(n-1)t/\lambda$ 다.

자주 하는 실수

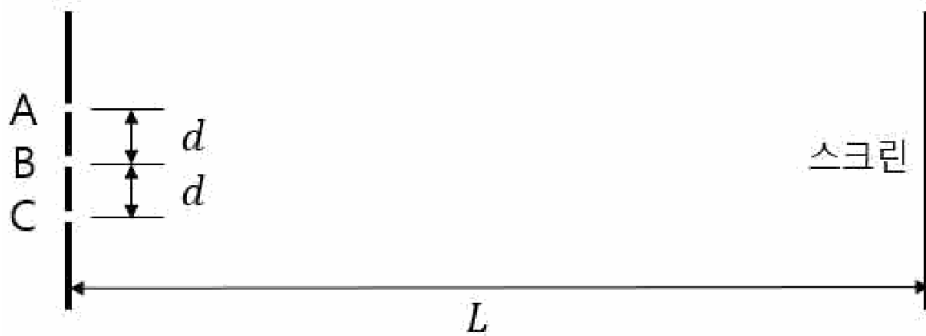
$N = d/\lambda$ 로 쓰면 답이 정확히 두 배 어긋난다. 거울이 d 움직이면 빛은 가는 길에 d , 오는 길에 d – 합쳐서 $2d$ 를 더 간다. **간섭계 문항에서 2는 반사가 아니라 왕복에서 온다.** 같은 이유로 얇은 막 간섭에서도 광로차의 기본형이 $2nt$ 다.

기출 문항

제1장 간섭·회절과 굴절 수록 문항 5개. 해설은 다음 절에 있다.

문제 1 2024년 제1회 · 12번 · 삼중 슬릿 간섭과 슬릿 차단

그림과 같이 파장 λ 인 레이저 빛을 세 개의 슬릿 A, B, C에 비추었더니 간섭무늬가 관찰되었고, 이 때 간섭무늬의 최대점 사이의 간격은 Δy 이다. 슬릿 사이의 간격은 d 로 일정하고, 슬릿의 폭은 아주 작아 슬릿의 폭에 의한 회절효과는 무시할 수 있다. 스크린과 슬릿 사이의 거리는 L 이며 $L \gg d$ 이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고른 것은?



〈 보기 〉

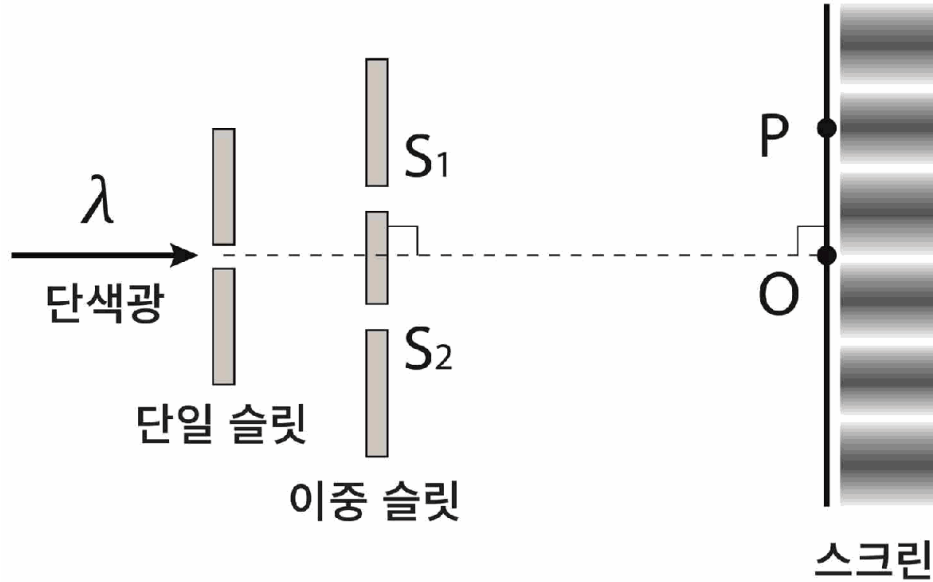
- ㄱ. 슬릿 A를 막을 때 간섭무늬의 최대점 사이의 간격은 Δy 보다 크다.
- ㄴ. 슬릿 A를 막을 때가 슬릿 B를 막을 때 보다 간섭무늬의 최대점 사이의 간격이 더 크다.
- ㄷ. 레이저 빛의 파장을 2λ 로 증가시키고, 슬릿 B를 막으면, 간섭무늬의 최대점 사이의 간격은 $2\Delta y$ 이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ 정답 없음

문제 2

2024년 제2회 · 14번 · 이중슬릿 간섭무늬 위치

그림은 단일 슬릿을 통과한 파장 λ 의 단색광이 이중 슬릿 S_1 과 S_2 를 통과하여 스크린에 만든 간섭무늬를 표현한 것이다. 점 O는 간섭무늬의 가장 밝은 지점의 중심이며, 점 P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬의 위치이다. 단일 슬릿으로부터 S_1 과 S_2 까지의 거리는 같다. 이에 대해 올바르게 설명한 것을 모두 고르시오.



〈 보기 〉

- ㉠. S_1, S_2 로부터 P에 도달한 두 빛의 위상은 같다.
- ㉡. S_1, S_2 로부터 P에 도달한 두 빛의 경로차는 2λ 이다.
- ㉢. O와 P 사이의 거리는 빨간색 단색광의 경우가 파란색 단색광의 경우에 비해 크다.

- ① ㉠
- ② ㉢
- ③ ㉠, ㉡
- ④ ㉠, ㉢
- ⑤ ㉠, ㉡, ㉢

문제 3 2025년 제1회 · 16번 · 굴절률 표와 매질 간 빛의 성질

다음은 여러 매질들의 굴절률을 정리한 표이다. 하나의 단색광이 하나의 매질에서 다른 매질로 진행하는 상황에서 빛의 성질에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

매질	굴절률
A	1.5
B	2
C	2.5
D	3
E	3.5

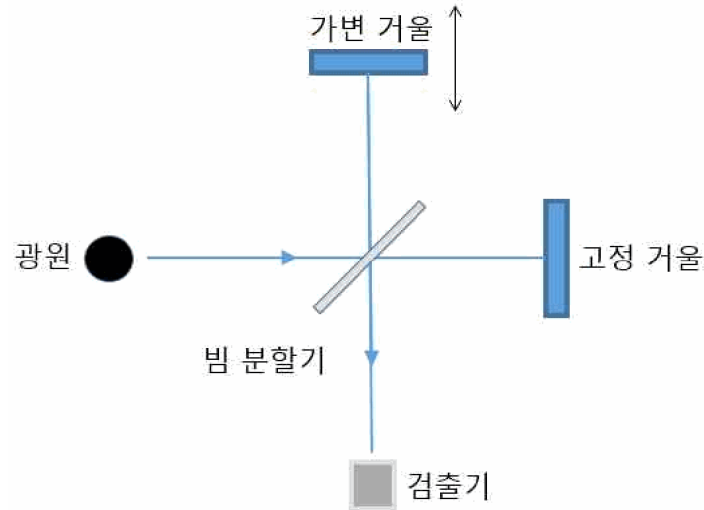
< 보기 >

- ㄱ. 매질 B에서 빛의 속력은 매질 D에서 빛의 속력의 1.5배이다.
- ㄴ. 매질 C에서의 빛의 진동수는 매질 A에서 빛의 진동수의 0.6배이다.
- ㄷ. 전반사가 일어나는 임계각이 가장 큰 경우는 매질 E에서 매질 A로 빛이 진행할 때이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

문제 4 2025년 제2회 · 17번 · 마이컬슨 간섭계 거울 이동

마이컬슨 간섭계는 아래 그림과 같이 작동한다. 광원에서 나온 빛이 빔 분할기(beam splitter)에서 두 경로로 나뉘는 후, 각 빛은 가변 거울과 고정 거울에서 반사되어 다시 빔 분할기로 돌아온다. 돌아온 두 빛의 일부는 검출기에 도달하여 간섭무늬를 형성한다. 가변 거울을 검출기 방향으로 0.15 mm 이동시켰더니 간섭무늬가 200개 이동했다면, 사용한 빛의 파장은?



- ① 1000 nm
- ② 1500 nm
- ③ 2000 nm
- ④ 2500 nm
- ⑤ 3000 nm

문제 5

2026년 제1회 · 14번 · 회절격자 주극대 간섭

영(Young)의 이중 슬릿 실험 장치에서 이중 슬릿을 다중 슬릿을 이용한 회절격자로 교체하였다. 회절격자의 간섭 원리는 이중 슬릿 실험의 경우와 유사하지만, 그 슬릿의 개수가 매우 많기 때문에 (보통 1 mm 안에 수백에서 수천 개의 슬릿이 있음) 최대 보강 간섭이 일어나는 주극대 (Principal Maxima) 지점이 선명하고 가늘게 나타난다.

회절격자의 인접한 슬릿 사이의 간격이 2×10^{-6} m인 경우를 고려하자. 스크린은 회절격자로부터 1 m 떨어져 있다. 파장 600 nm인 단색광이 회절격자에 수직으로 입사하여 스크린에 간섭 무늬가 생겼다. 주극대에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보기 >

- ㄱ. 주극대는 인접한 슬릿에서 나온 빛의 경로차가 파장의 반정수배일 때 나타난다.
- ㄴ. 주극대의 개수는 7개이다.
- ㄷ. 가장 중앙에 있는 주극대와 바로 옆에 있는 주극대 사이의 거리는 작은 각 근사 $\sin \theta \approx \tan \theta$ 를 사용하면 0.12m이다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

해설

문제 1 2024년 제1회 · 12번 · 삼중슬릿 — 무늬 간격을 정하는 것은 남은 두 슬릿의 거리

정답 ②

풀이

슬릿이 몇 개든, 등간격이면 **이웃 슬릿의 경로차**가 λ 의 정수배인 곳에서 모든 슬릿이 함께 보강한다. 그러니 A·B·C(이웃 간격 d)의 주극대 위치는 간격 d 인 이중슬릿과 똑같고

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

이다. 슬릿이 3개라 주극대 사이에 어두운 점 2개와 희미한 부극대 1개가 끼지만, 부극대의 세기는 주극대의 $1/9$ 수준이어서 문항이 말하는 “간섭무늬의 최대점”은 주극대다.

판단의 갈림길은 하나뿐이다 — 슬릿을 막은 뒤 남은 두 슬릿 사이의 실제 거리를 다시 재는 것.

- A를 막으면 남은 것은 B, C. 둘의 간격은 $d \rightarrow \Delta y_A = \lambda L/d = \Delta y$
- B를 막으면 남은 것은 A, C. 둘의 간격은 $2d \rightarrow \Delta y_B = \lambda L/(2d) = \Delta y/2$

이 두 줄이면 세 보기가 전부 결정된다.

ㄱ. A를 막아도 남은 B·C의 간격은 여전히 d 이므로 무늬 간격은 Δy 그대로다. “ Δy 보다 크다”가 아니라 **같다**. → 거짓

ㄴ. A를 막았을 때 Δy , B를 막았을 때 $\Delta y/2$. 앞이 두 배 크다. → 참

ㄷ. 파장을 2λ 로 올리고 B를 막으면 남은 A·C의 간격은 $2d$ 이므로

$$\Delta y' = \frac{(2\lambda)L}{2d} = \frac{\lambda L}{d} = \Delta y$$

파장이 두 배가 된 효과와 슬릿 간격이 두 배가 된 효과가 정확히 상쇄되어 **원래대로** 돌아온다. $2\Delta y$ 가 아니다. → 거짓

따라서 ㄴ 만 옳으므로 ②.

이 유형의 표준 절차

1. 무늬 간격 공식 $\Delta y = \lambda L/d$ 를 먼저 적고, 문항이 바꾼 양이 λ, L, d 중 무엇인지 표시한다.
2. 슬릿을 막는 조작은 d 를 바꾸는 조작이다. **남은 두 슬릿의 거리를 자로 다시 재듯** 확정한다.
3. 두 양이 동시에 바뀌면 비로 처리한다. $\Delta y'/\Delta y = (\lambda'/\lambda) \cdot (d/d')$.
4. 슬릿 폭을 바꾸는 조작은 Δy 를 바꾸지 않는다(포락선만 바뀐다). 두 조작을 섞지 않는다.

자주 하는 실수

“슬릿을 하나 막으면 빛이 줄어드니 무늬가 흐려지고 넓어진다”는 감각적 추론이 오답을 만든다. 무늬의 **밝기**는 슬릿 개수가, 무늬의 **간격**은 남은 슬릿 사이의 거리가 따로 정한다. 가운데 슬릿을 막는 것과 바깥 슬릿을 막는 것은 결과가 정확히 2배 차이 난다.

풀이

앞의 단일 슬릿은 S_1, S_2 를 **동위상 파원**으로 만들어 주는 장치이고, “단일 슬릿으로부터 S_1 과 S_2 까지의 거리는 같다”는 단서가 그것을 확인해 준다. 따라서 스크린 위의 판정은 오직 경로차 하나로 끝난다.

P의 정체부터 확정한다. 중앙 O에서 바깥으로 세어 어두운 무늬는

$$\Delta r = \frac{\lambda}{2} \text{ (첫 번째)}, \quad \frac{3\lambda}{2} \text{ (두 번째)}, \quad \frac{5\lambda}{2} \text{ (세 번째)}, \quad \dots$$

이므로 두 번째 어두운 무늬 P에서 $\Delta r = 3\lambda/2$ 다.

ㄱ. 위상차는 $\Delta\varphi = 2\pi\Delta r/\lambda = 2\pi \cdot (3/2) = 3\pi$. π 의 홀수배이므로 두 빛은 **위상이 정반대**이고, 그래서 상쇄되어 어두운 것이다. 애초에 “어두운 무늬”라는 말 자체가 위상이 반대라는 뜻이다. → **거짓**

ㄴ. 경로차는 2λ 가 아니라 $3\lambda/2$ 다. 2λ 라면 오히려 **밝은** 무늬가 된다. “두 번째”라는 서수를 그대로 2로 옮겨 적은 것이 함정이다. → **거짓**

ㄷ. 어두운 무늬의 위치는

$$y = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{d} \implies y \propto \lambda$$

빨간색($\lambda \approx 650 \text{ nm}$)이 파란색($\lambda \approx 450 \text{ nm}$)보다 파장이 길므로 같은 순번의 무늬라도 O에서 더 멀다. → **참**

따라서 ㄷ 만 옳으므로 ②.

이 유형의 표준 절차

1. 문항이 지목한 점이 **몇 번째 밝은/어두운 무늬**인지 먼저 읽고, 경로차를 수치로 확정한다. 밝음은 λ 의 정수배, 어두움은 $\lambda/2$ 의 홀수배.
2. 확정된 경로차를 $\Delta\varphi = 2\pi\Delta r/\lambda$ 로 바꾸면 위상 관련 보기가 즉시 판정된다.
3. 색(파장)을 바꾸는 보기는 $y \propto \lambda$ 하나로 끝난다. 빨강이 넓고 파랑이 좁다.
4. 밝은 무늬는 중앙이 0번째, 어두운 무늬는 중앙 바로 옆이 1번째 – **두 수열의 출발점이 다르다.**

풀이

표의 굴절률은 $A = 1.5, B = 2, C = 2.5, D = 3, E = 3.5$ 이다. 매질 문항은 **변하는 양과 변하지 않는 양을 가르는 것으로** 시작한다. 속력과 파장은 $1/n$ 배로 변하고, 진동수·주기·색·광자 에너지는 변하지 않는다.

ㄱ. $v = c/n$ 이므로 속력의 비는 굴절률의 **역비**다.

$$\frac{v_B}{v_D} = \frac{n_D}{n_B} = \frac{3}{2} = 1.5$$

매질 B에서의 속력이 매질 D에서의 1.5 배가 맞다. → **참**

ㄴ. 진동수는 광원이 정하는 양이고 경계면에서 파면이 끊어질 수 없으므로 어느 매질에서도 같다. 굴절률 비 $n_A/n_C = 1.5/2.5 = 0.6$ 을 진동수에 붙인 서술인데, 그 0.6 배가 되는 것은 진동수가 아니라 **파장과 속력**이다. ($\lambda_C/\lambda_A = n_A/n_C = 0.6, v_C/v_A = 0.6$.) → **거짓**

ㄷ. 임계각은 $\sin \theta_c = n_2/n_1$ ($n_1 > n_2$)이므로, 임계각이 크려면 **두 굴절률의 비가 1에 가까워야** 한다. 표에서 만들 수 있는 조합을 비교하면

$$E \rightarrow D : \sin \theta_c = \frac{3}{3.5} = 0.857 \rightarrow \theta_c \approx 59.0^\circ$$

$$D \rightarrow C : \sin \theta_c = \frac{2.5}{3} = 0.833 \rightarrow \theta_c \approx 56.4^\circ$$

$$E \rightarrow A : \sin \theta_c = \frac{1.5}{3.5} = 0.429 \rightarrow \theta_c \approx 25.4^\circ$$

$E \rightarrow A$ 는 굴절률 차가 가장 큰 조합이므로 임계각이 **가장 작다**($\approx 25.4^\circ$). 가장 큰 것은 $E \rightarrow D$ 다. 서술이 정확히 뒤집혀 있다. → **거짓**

따라서 ㄱ 만 옳으므로 ①.

자주 하는 실수

$\sin \theta_c = n_2/n_1$ 은 분자가 **들어가는 쪽**(성긴 매질), 분모가 **나오는 쪽**(뽀뽀한 매질)이다. 이것을 뒤집어 n_1/n_2 로 쓰면 1보다 큰 값이 나와 야예 각이 정의되지 않는다. 계산 결과 $\sin \theta_c > 1$ 이 나오면 식을 뒤집어 쓴 것이니 곧바로 알아챌 수 있다.

풀이

빔 분할기에서 갈라진 빛은 각 거울까지 갔다가 **되돌아온다**. 그래서 가변 거울을 d 만큼 옮기면 그 팔의 광경로는 d 가 아니라 $2d$ 만큼 변한다. 경로차가 λ 만큼 변할 때마다 검출기에서 무늬 하나가 지나가므로

$$N = \frac{2d}{\lambda} \implies \lambda = \frac{2d}{N}$$

수치를 넣는다. $d = 0.15 \text{ mm} = 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}$, $N = 200$ 이므로

$$\lambda = \frac{2 \times 1.5 \times 10^{-4} \text{ m}}{200} = \frac{3.0 \times 10^{-4} \text{ m}}{200} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ m} = 1500 \text{ nm}$$

거울을 검출기 쪽으로 옮겼는지 반대쪽으로 옮겼는지는 무늬가 **어느 방향으로** 흐르는지만 바꾸고, 지나간 무늬의 **개수**에는 영향을 주지 않는다. 그래서 “검출기 방향으로”라는 단서는 답을 정하는 데 쓰이지 않는다. → ②

검산해 보면 무늬 하나당 거울의 이동은 $\lambda/2 = 750 \text{ nm} = 0.75\mu\text{m}$ 이고, $0.75\mu\text{m} \times 200 = 150\mu\text{m} = 0.15 \text{ mm}$ 로 정확히 맞아떨어진다.

자주 하는 실수

$\lambda = d/N = 750 \text{ nm}$ 로 계산하면 선택지 안에 그럴듯한 값이 없어 당황하게 되는데, 실제로는 **왕복**을 빠뜨린 것이다. 마이컬슨 간섭계의 2 는 반사 때문이 아니라 빛이 팔을 두 번 지나기 때문에 붙는다. 같은 이유로 얇은 막·시료 삽입 문항의 기본 광로차도 $2nt$, $2(n-1)t$ 처럼 항상 2 로 시작한다.

풀이

$d = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$, $\lambda = 600 \text{ nm} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$, $L = 1 \text{ m}$ 이다. 먼저

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{2 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-7}} = \frac{10}{3} \approx 3.33$$

을 계산해 두면 세 보기가 모두 이 값 하나로 풀린다.

ㄱ. 주극대는 이웃 슬릿에서 나온 빛의 경로차가 파장의 **정수배**($d \sin \theta = m\lambda$)일 때 나타난다. 반정수배($(m + 1/2)\lambda$)는 이중슬릿이라면 상쇄점이고, 다중슬릿에서는 주극대가 아니다. 정수배와 반정수배를 바꿔 놓은 서술이다. → **거짓**

ㄴ. $|\sin \theta_m| = |m| \lambda/d \leq 1$ 이어야 하므로

$$|m| \leq \frac{d}{\lambda} = 3.33 \implies m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$$

$m = 4$ 는 $\sin \theta = 4 \times 0.3 = 1.2 > 1$ 이라 존재할 수 없다. 개수는 $2 \times 3 + 1 = 7$ 개다. → **참**

ㄷ. 중앙($m = 0$)과 그 옆($m = 1$) 사이의 거리는

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{d} = \frac{6 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-6}} = 0.3$$

문항이 지시한 대로 $\sin \theta \approx \tan \theta$ 를 쓰면 $y_1 = L \tan \theta_1 \approx L \sin \theta_1 = 0.3 \text{ m}$ 이다. 0.12 m 가 아니다. → **거짓**

따라서 ㄴ 만 옳으므로 ②.

덧붙이면, $\sin \theta_1 = 0.3$ 은 $\theta_1 \approx 17.5^\circ$ 로 이미 “작은 각”이라 하기 어렵다. 정확히 계산하면 $\tan \theta_1 = 0.3/\sqrt{1-0.3^2} = 0.314$ 라 $y_1 = 0.314 \text{ m}$ 로 약 5% 차이가 난다. 회절격자는 d 가 파장의 몇 배밖에 안 되므로 **소각 근사가 잘 듣지 않는다**는 점이 이중슬릿과 결정적으로 다르다.

자주 하는 실수

차수를 셀 때 $\pm$ 를 빠뜨려 4개($= m = 0 \sim 3$)라고 답하거나, $m = 0$ 을 빼고 6개라고 답하는 실수가 많다. 중앙 극대를 반드시 포함해 $2m_{\max} + 1$ 로 세는 습관을 들인다. 또 d/λ 가 정확히 정수인 경우 그 최고 차수는 $\sin \theta = 1$, 즉 $\theta = 90^\circ$ 라 스크린에 맺히지 않는다.

이 장의 요약

- 경로차 한 줄** — 밝음 $\Delta r = m\lambda$, 어두움 $\Delta r = (m + 1/2)\lambda$, 위상차 $\Delta \varphi = 2\pi \Delta r/\lambda$. 이중슬릿·회절격자·간섭계가 전부 여기서 갈라져 나온다.
- 무늬 간격** — $\Delta y = \lambda L/d$. λ, L 에 비례하고 d 에 **반비례**. 슬릿을 막는 조작은 d 를 바꾸는 조작이므로 **남은 두 슬릿의 거리를** 다시 잰다.
- 번호 세기** — 밝은 무늬는 중앙이 0번째(n 번째 $\rightarrow n\lambda$), 어두운 무늬는 중앙 옆이 1번째(n 번째 $\rightarrow (2n - 1)\lambda/2$). 두 수열을 섞지 않는다.
- 회절격자** — 주극대 $d \sin \theta = m\lambda$ 는 슬릿 개수와 무관하고, 개수가 늘면 무늬가 가늘어질 뿐이다. 관측 가능한 차수는 $|m| \leq d/\lambda$ 로 총 $2m_{\max} + 1$ 개.

5. **매질** – 진동수·주기·색·광자 에너지는 **불변**, 속력과 파장만 $1/n$ 배. $\sin \theta_c = n_2/n_1$ 이므로 굴절률 차가 클수록 임계각은 **작다**.
6. **마이컬슨** – 왕복이므로 광경로차 $2d$, 무늬 이동 수 $N = 2d/\lambda$. 간섭계·박막 문항의 2 는 언제나 “두 번 지난다”에서 온다.