KAIST형 모의 면접·구술고사

물리학

PHYSICS

톱니 반사 격자와 박막 간섭 · 빛의 운동량과 복사압

※ 면접위원(감독관)의 “시작” 신호가 있기 전에는 절대로 문제지를 펼치지 마십시오. ※

수험번호		**성 명**	
모집단위		**고사실**	
입실 시각	시 분	**감독관 확인**	(서명)

■ 시험 구성

문항	주제	준비·답변	배점
문제 1	톱니 반사 격자 단색화 장치와 얇은 막의 간섭	10분 · 8분	5점
문제 2	두 거울 사이에 갇힌 광자가 만드는 복사압	10분 · 8분	5점
계	출제 범위: 물리학 Ⅰ · 물리학 Ⅱ	준비 20분 · 답변 문항당 8분 내외	**10점**

■ 수험생 유의사항

1. 휴대전화·스마트워치 등 모든 전자기기는 전원을 끈 뒤 감독관에게 제출하십시오. 소지 사실이 확인되면 **부정행위**로 간주되어 해당 전형 지원이 무효 처리됩니다.
2. 문제지는 표지 포함 총 **3쪽**입니다. “시작” 신호 후 쪽수와 인쇄 상태를 먼저 확인하고, 이상이 있으면 즉시 손을 들어 알리십시오.
3. 준비 시간(20분) 동안 문제지 여백과 배부된 메모지에 풀이를 정리할 수 있습니다. 계산기·참고 서적·본인 필기구 이외의 물품은 사용할 수 없습니다.
4. 면접실에서는 문제지와 메모지를 지참하고, 면접위원의 질문 순서에 따라 **근거를 들어 구술**로 답하십시오. 최종 결과만 말하는 답변은 배점의 일부만 인정됩니다.
5. 면접위원은 답변 도중 추가 질문을 할 수 있으며, 이는 감점 요소가 아니라 평가 절차의 일부입니다.
6. 문제지·메모지는 면접 종료 후 **전량 회수**됩니다. 문항 내용을 기록·촬영·유출하는 행위는 부정행위로 처리됩니다.
7. 문항에 이상이 있다고 판단되더라도 임의로 조건을 바꾸지 말고, 본인이 세운 가정을 명확히 밝힌 뒤 답하십시오.
8. 면접 종료 신호 후에는 답변을 계속할 수 없습니다. 시간 배분에 유의하십시오.

문항 코드 KAIST형 · PHYSICS-29 **제작** 2026. 9. **봉인 상태 확인** 개봉 흔적이 있으면 배부 전 감독관에게 알리십시오.

본 문항은 KAIST 면접 및 구술고사 공개 문항 형식에 맞추어 자체 제작한 **비공식 창작 모의문항**입니다. KAIST의 공식 또는 예상 문항이 아니며, 특정 대학의 실제 시험 문항을 옮긴 것이 아닙니다.

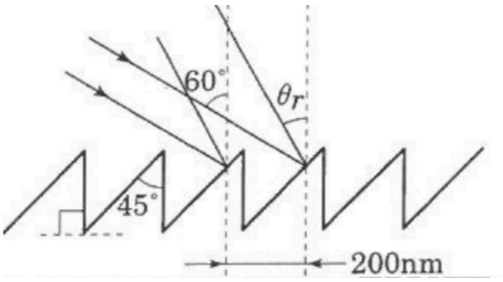
문제 1 톱니 반사 격자와 박막 간섭

물리학 I · II | 반사 법칙, 경로차와 보강 간섭, 회절 격자, 굴절 법칙, 박막 간섭과 위상 반전 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

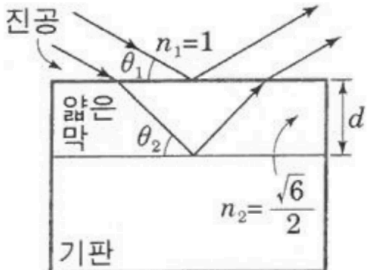
문항 및 제시문

어떤 광원은 여러 파장이 섞인 빛을 한꺼번에 내보낸다. 이 가운데 한 파장만 골라내기 위해 **단색화 장치**를 쓴다. [그림 1]의 단색화 장치는 표면을 톱니 모양으로 규칙적으로 깎은 반사 격자이다. 톱니의 경사면은 수평인 격자면과 $45°$를 이루고, 이웃한 톱니의 대응점 사이 간격(격자 간격)은 $d = 200$ nm이다. 격자면에 세운 연직선을 기준으로 $60°$ 방향에서 들어온 빛이 톱니의 경사면에서 반사되어 연직선과 θ_r를 이루는 방향으로 나아간다. 반사는 모두 톱니의 경사면에서 일어나며, 이웃한 톱니에서 반사된 빛이 서로 간섭한다.

이렇게 골라낸 짧은 파장의 빛을 [그림 2]처럼 기판 위에 입힌 **얇은 막**에 쪼이면, 막의 윗면에서 반사된 빛과 막–기판 경계에서 반사된 빛이 간섭하여 반사율이 달라진다. 이를 이용하면 막의 두께를 잴 수 있다.



[그림 1] 톱니 모양 반사 격자로 만든 단색화 장치. 경사면은 격자면과 $45°$를 이루고 격자 간격은 200 nm이다.



[그림 2] 진공($n_1 = 1$)에서 들어와 두께 d'인 얇은 막($n_2 = \sqrt{6}/2$)과 기판 사이에서 반사되는 빛.

[그림 2]에서 진공의 굴절률은 $n_1 = 1$, 막의 굴절률은 $n_2 = \sqrt{6}/2$이다. θ_1은 **막의 표면과 입사 광선이 이루는 각**, θ_2는 **막 안의 굴절 광선과 막–기판 경계면이 이루는 각**이다. 기판의 굴절률은 막의 굴절률보다 크다. 막 안에서 아래 경계면에 반사되어 되돌아온 빛은 윗면에서 모두 굴절하여 빠져나가며(다중 반사는 무시), 기판은 충분히 두꺼워 바닥에서 되돌아오는 빛은 없다. 필요하면 $\sqrt{2} = 1.4$, $\sqrt{3} = 1.7$을 쓰시오.

(1) [그림 1]에서 반사 광선이 연직선과 이루는 각 θ_r를 구하고, 그 근거를 밝히시오. **[1점]**

(2) (1)에서 구한 방향으로 나아가는 빛에 대하여 이웃한 톱니에서 반사된 두 광선의 경로차를 구하고, 그 방향에서 보강 간섭을 일으킬 수 있는 가장 긴 파장을 구하시오. **[1점]**

(3) (2)에서 고른 빛 대신 파장 $\lambda = 34$ nm인 단색광을 [그림 2]의 막에 $\theta_1 = 30°$로 쪼인다. θ_2를 구하고, 두 반사 광선의 광로차를 막의 두께 d'로 나타낸 뒤, 보강 간섭이 일어나는 가장 얇은 두께 $d'_{\min}$을 구하시오. 두 반사점에서 일어나는 위상 변화도 반드시 따지시오. **[2점]**

(4) [그림 1]의 격자에서 입사각만 θ_i(연직선 기준)로 바꾼다. 이때 경로차를 θ_i의 식으로 나타내고, 이 격자가 고를 수 있는 경로차의 범위를 구하시오. 이어서 이 장치로 $\lambda = 34$ nm를 고르려면 몇 번째 보강 간섭을 써야 하는지 모두 구하시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

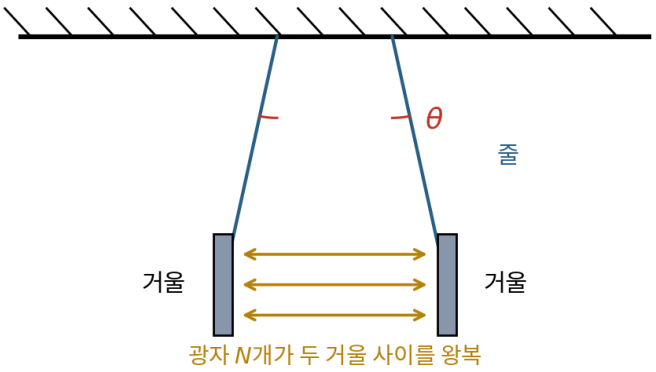
문제 2 두 거울 사이에 갇힌 광자와 복사압

물리학 I · II | 광자의 운동량(h/λ), 충격량과 평균 힘, 복사압, 힘의 평형 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

문항 및 제시문

진동수 f, 파장 λ인 빛은 에너지 hf와 운동량 h/λ를 갖는 광자의 흐름으로 볼 수 있다(h는 플랑크 상수). 광자가 거울에 수직으로 들어가 완전히 반사되면 광자의 운동량은 방향만 반대로 바뀌고, 그만큼의 운동량 변화가 거울에 전달된다. 거울이 받는 힘은 이 충격량을 충돌이 되풀이되는 시간으로 나눈 **평균 힘**으로 다룬다.

[그림 3]과 같이 중력 가속도가 $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$인 곳에서, 질량이 각각 $M = 10$ kg인 똑같은 평면 거울 두 개를 천장에 줄로 매달아 서로 나란히 마주 보게 하였다. 두 거울 사이의 거리는 $L = 5.0 \times 10^{3}$ m이고, 거울의 높이는 줄의 길이에 비해 매우 작다. 두 거울 사이에는 파장 $\lambda = 600$ nm인 광자 $N = 10^{22}$개가 갇혀 두 거울 사이를 쉼 없이 왕복한다.



[그림 3] 줄에 매달린 두 거울 사이에 광자가 갇혀 왕복하는 모습. 줄이 연직선과 이루는 각이 θ이다.

모든 광자는 거울 면에 수직으로 들어가 하나도 빠짐없이 반사되며, 거울은 빛을 흡수하지 않는다. 줄의 질량은 거울의 질량에 비해 매우 작아 무시하고, 두 거울은 계속 나란한 상태로 정지해 있다. $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s, $c = 3.0 \times 10^{8}$ m/s이다.

(1) 광자 한 개의 운동량 p를 구하고, 이 광자가 한 거울에서 한 번 반사될 때 거울이 받는 충격량의 크기를 구하시오. **[1점]**

(2) 광자 한 개가 같은 거울을 다시 때릴 때까지 걸리는 시간 τ를 구하고, 그 광자가 그 거울에 주는 평균 힘 F_1을 구하시오. **[1점]**

(3) 거울 한 개가 광자 전체로부터 받는 평균 힘 F를 구하시오. 이어서 F를 갇힌 빛의 총 에너지 U와 L로 나타낸 뒤, 줄이 연직선과 이루는 각 θ에 대하여 $\tan\theta$를 구하시오. **[2점]**

(4) 두 거울을 아주 천천히 바깥쪽으로 밀어 간격을 $2L$로 늘렸다. 이 과정에서 복사압이 거울에 해 준 일과 갇힌 빛의 총 에너지 변화를 각각 구하여 비교하고, 새로운 $\tan\theta$를 구하시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

면접위원용 자료

물리학 제 29 회 — 출제 의도 · 채점 기준 · 예시 답안

수험생에게 배부하지 마십시오. 이 부분은 문항정보(일반정보·출제 근거·문항 해설·채점 기준·예시 답안·추가 질문)를 담고 있으며, 면접 후 문항 검토와 피드백에 사용합니다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 29 회 · 문제 1]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사
전형명	KAIST형 자체 제작 모의 면접
계열(과목) / 문항번호	물리학 / 문제 1
출제 범위 (과목명)	물리학 I , 물리학 II
핵심 개념 및 용어	반사 법칙, 경로차 $\Delta = d(\sin\theta_i + \sin\theta_r)$, 보강 간섭 조건 $\Delta = m\lambda$, 굴절 법칙 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$, 박막의 광로차 $2n_2 d' \cos\theta$, 반사에서의 위상 반전
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 1-(1) 반사 법칙을 격자면이 아니라 **톱니의 경사면**에 적용해야 함을 알아채고 각을 단계적으로 옮길 수 있는지 평가한다.
· 1-(2) 이웃한 톱니로 가는 두 광선의 경로차를 기하로 세우고, 보강 간섭 조건에서 차수 $m = 1$이 가장 긴 파장임을 설명할 수 있는지 평가한다.
· 1-(3) 표면 기준 각과 법선 기준 각을 구분하여 굴절 법칙을 쓰고, 기하 경로가 아니라 **광로차**를 세운 뒤 두 반사점의 위상 반전이 서로 상쇄됨을 판단할 수 있는지 평가한다.
· 1-(4) 특정 각에서 얻은 결과를 일반 입사각으로 확장하여 경로차의 범위를 구하고, 주어진 파장을 고를 수 있는 차수를 역으로 찾아내는 데까지 나아갈 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)(2)	물리학 I — 파동과 정보 통신	파동의 반사와 간섭을 경로차로 설명할 수 있다.
(2)(4)	물리학 II — 전자기장과 빛	회절 격자에서 보강 간섭이 일어나는 조건을 이해하고 적용할 수 있다.
(3)	물리학 II — 전자기장과 빛	굴절 법칙과 박막 간섭을 이용하여 얇은 막의 두께를 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 I	파동과 정보 통신 — 파동의 간섭, 반사와 굴절
고등학교 물리학 II	전자기장과 빛 — 빛의 간섭과 회절, 박막 간섭

4. 문항 해설

(1) 톱니 경사면의 법선은 연직선과 $45°$를 이루므로 입사 광선의 법선 기준 입사각은 $60° - 45° = 15°$이고, 반사 광선은 법선 반대쪽으로 $15°$이므로 연직선 기준 $45° - 15° = 30°$이다. 즉 $\theta_r = 30°$로, 빛은 들어온 쪽으로 되돌아 나간다. (2) 이웃한 톱니의 대응점 사이 수평 거리 $d = 200$ nm를 밑변으로 하면 반사 전후의 경로차는 각각 $d\sin 60°$, $d\sin 30°$이므로 $\Delta = d(\sin 60° + \sin 30°) = 100\left(1 + \sqrt{3}\right)$ nm ≈ 273 nm이다. $\Delta = m\lambda$에서 $m = 1$일 때 파장이 가장 길어 $\lambda_{\max} \approx 273$ nm이다. (3) 법선 기준 입사각은 $90° - 30° = 60°$이고, 굴절 법칙에서 $\sin r = \left(\sqrt{3}/2\right)/\left(\sqrt{6}/2\right) = 1/\sqrt{2}$이므로 법선 기준 굴절각이 $45°$, 따라서 표면 기준 $\theta_2 = 45°$이다. 광로차는 $\Delta = 2n_2 d' \cos 45° = \sqrt{3}d'$이고, 윗면 반사(소→밀)와 아래면 반사(밀→더 밀) 모두 위상이 π 뒤집혀 그 효과가 상쇄되므로 보강 조건은 $\sqrt{3}d' = m\lambda$이다. $m = 1$에서 $d'_{\min} = 34/\sqrt{3} \approx 20$ nm이다. (4) 톱니 각이 $45°$로 고정되어 있으므로 $\theta_r = 90° - \theta_i$가 되어 $\Delta = d(\sin\theta_i + \cos\theta_i) = \sqrt{2}d\sin(\theta_i + 45°)$이고, 범위는 $200 \text{ nm} \le \Delta \le 200\sqrt{2} \approx 283$ nm이다. $\Delta = 34m$이 이 범위에 들어오려면 $m = 6, 7, 8$이다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	반사 법칙을 톱니 경사면에 적용하여 $\theta_r = 30°$를 구하고 근거를 밝힌 경우	1
(2)	$\Delta = 100\left(1+\sqrt{3}\right)$ nm ≈ 273 nm을 구하고 $m = 1$에서 최대 파장임을 밝힌 경우	1
(3)	$\theta_2 = 45°$와 광로차 $\sqrt{3}d'$를 구한 경우 (1점) / 두 반사의 위상 반전이 상쇄됨을 밝히고 $d'_{\min} \approx 20$ nm를 얻은 경우 (1점)	2
(4)	$\Delta = \sqrt{2}d\sin(\theta_i + 45°)$와 범위 $200 \sim 283$ nm를 구하고 $m = 6, 7, 8$을 모두 찾은 경우	1

6. 예시 답안

(1) 반사 광선의 방향

반사 법칙은 빛이 실제로 부딪히는 면, 곧 **톱니의 경사면**에 적용해야 한다. 경사면이 격자면과 $45°$를 이루므로 그 법선도 연직선과 $45°$를 이룬다. 입사 광선은 연직선과 $60°$이므로 법선 기준 입사각은 $60° - 45° = 15°$이고, 반사각도 $15°$이다. 반사 광선은 법선의 반대쪽에 있으므로

$$\theta_r = 45° - 15° = 30°.$$

반사 광선은 입사 광선이 들어온 쪽으로 되돌아 나간다. 격자면을 거울로 착각하면 $\theta_r = 60°$라는 틀린 답이 나온다.

(2) 경로차와 최대 파장

이웃한 두 톱니의 대응점 사이 수평 거리가 $d = 200$ nm이다. 공통 파면을 기준으로 하면 반사 전의 길이 차가 $d\sin 60°$, 반사 후의 길이 차가 $d\sin\theta_r = d\sin 30°$이고 둘은 같은 부호로 더해지므로

$$\Delta = d(\sin 60° + \sin 30°) = 100\left(1+\sqrt{3}\right)\ \text{nm} \approx 270\ \text{nm}\ .$$

보강 조건은 $\Delta = m\lambda$ $(m = 1, 2, \ldots)$이고 $m = 0$은 쓸 수 없으므로, $\lambda = \Delta/m$에서 $m = 1$일 때 파장이 가장 길다.

답

$$\lambda_{\max} = \Delta = 100\left(1+\sqrt{3}\right)\ \text{nm} \approx 270\ \text{nm}\ .$$

이어지는 파장은 135 nm, 90 nm, … 로 Δ/m씩 나타난다.

(3) 얇은 막에서의 보강 간섭

① **굴절각.** θ_1은 표면과 이루는 각이므로 법선 기준 입사각은 $i = 90° - 30° = 60°$이다. 굴절 법칙 $n_1\sin i = n_2\sin r$에서

$$1\cdot\sin 60° = \frac{\sqrt{6}}{2}\sin r \quad\Longrightarrow\quad \sin r = \frac{\sqrt{3}/2}{\sqrt{6}/2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad\Longrightarrow\quad r = 45°.$$

표면 기준으로 고치면

$$\theta_2 = 90° - 45° = 45°.$$

② **광로차.** 막 안 왕복의 기하 거리는 $2d'/\cos r$, 그동안 막 밖 광선이 더 가는 거리는 $2d'\tan r\sin i$이므로 $\sin i = n_2\sin r$를 쓰면 $\Delta = (2n_2d')/(\cos r)(1-\sin^2 r) = 2n_2d'\cos r$이다. $n_2 = \sqrt{6}/2$, $r = 45°$에서

$$\Delta = 2\cdot\frac{\sqrt{6}}{2}\cdot d'\cdot\frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{3}d'.$$

③ **위상 변화.** 윗면에서는 진공($n_1 = 1$)에서 막($n_2 \approx 1.22$)으로, 아래면에서는 막에서 더 굴절률이 큰 기판으로 반사하므로 **두 반사 모두** 위상이 π 뒤집힌다. 똑같이 반 파장씩 밀리므로 효과가 상쇄되어 추가 위상차가 없고, 보강 조건은 $\sqrt{3}d' = m\lambda$ ($m = 1, 2, \ldots$)이다.

답

$$d'_{\min} = \frac{\lambda}{\sqrt{3}} = \frac{34}{1.7}\ \text{nm} = 20\ \text{nm}\ .$$

($\sqrt{3} = 1.7$을 쓰지 않으면 19.6 nm이다.)

> 만약 기판의 굴절률이 막보다 **작았다면** 아래면 반사에서는 위상이 뒤집히지 않아 조건이 $\sqrt{3}d' = (m + 1/2)\lambda$로 바뀌고, 최소 두께는 절반인 약 10 nm가 된다. 박막 문제에서 두 반사점의 매질 관계를 먼저 확인해야 하는 이유가 여기에 있다.

(4) 입사각을 바꿀 때 고를 수 있는 파장

톱니의 경사각이 $45°$로 고정되어 있으므로 (1)의 논리에서 법선 기준 입사각이 $\theta_i - 45°$, 반사 후 연직선 기준 각이 $\theta_r = 45° - (\theta_i - 45°) = 90° - \theta_i$이다. 따라서 경로차는

$$\Delta = d(\sin\theta_i + \sin\theta_r) = d(\sin\theta_i + \cos\theta_i) = \sqrt{2}d\sin(\theta_i + 45°).$$

$0° \le \theta_i \le 90°$에서 $\sin(\theta_i + 45°)$는 $\theta_i = 45°$에서 최댓값 1, 양 끝에서 최솟값 $1/\sqrt{2}$를 가지므로

$$d \le \Delta \le \sqrt{2}d, \quad \text{곧} \quad 200\ \text{nm} \le \Delta \le 283\ \text{nm}\ .$$

$\lambda = 34$ nm를 m차 보강으로 고르려면 $\Delta = 34m$이 이 범위에 들어가야 하므로 $200/34 = 5.9 \le m \le 283/34 = 8.3$이다.

답 $m = 6, 7, 8$. 각각 $\Delta = 204, 238, 272$ nm이고, 이에 대응하는 입사각은 $\theta_i \approx 1°$(또는 $89°$), $12°$(또는 $78°$), $29°$(또는 $61°$)이다.

$\lambda = 34$ nm는 격자 간격보다 훨씬 짧아 1차 보강으로는 결코 고를 수 없고 반드시 높은 차수를 써야 한다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: “(3)에서 기판을 떼어 내고 막만 공기 중에 띄우면 최소 두께는 어떻게 달라지는가?” (아래면이 밀→소 반사가 되어 위상 반전이 한 번만 일어나므로 $\sqrt{3}d' = (m + 1/2)\lambda$, $d'_{\min} \approx 10$ nm)
· 추가 질문: “(2)에서 $m = 0$을 쓰면 왜 안 되는가? 경로차가 0이 되는 방향은 어디인가?”
· 검토 의견: (1)에서 반사 법칙을 격자면에 적용해 $\theta_r = 60°$라고 답하는 경우가 가장 흔하다. “빛이 실제로 닿는 면이 어디인가”를 먼저 묻는다. (3)에서는 θ_1, θ_2가 법선이 아니라 **면**을 기준으로 정의되어 있다는 점을 놓쳐 $\sin 30°$를 그대로 쓰는 실수가 잦으므로, 그림에서 각이 어느 선과 어느 선 사이인지 짚어 보게 한다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 29 회 · 문제 2]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사
전형명	KAIST형 자체 제작 모의 면접
계열(과목) / 문항번호	물리학 / 문제 2
출제 범위 (과목명)	물리학 I , 물리학 II
핵심 개념 및 용어	광자의 운동량 $p = h/\lambda$, 완전 반사에서의 운동량 변화 $2p$, 충격량과 평균 힘 $F = \Delta p/\Delta t$, 복사압, 힘의 평형과 $\tan\theta = F/W$
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 2-(1) 빛을 입자의 흐름으로 보고 광자 한 개의 운동량과 완전 반사에서의 운동량 변화를 바르게 세울 수 있는지 평가한다.
· 2-(2) 되풀이되는 충돌을 **평균 힘**으로 바꾸는 과정에서 왕복 시간 $2L/c$를 쓰는 까닭을 설명할 수 있는지 평가한다.
· 2-(3) 광자 수를 곱해 얻은 결과를 $F = U/L$라는 간결한 꼴로 정리하고, 거울에 대한 힘의 평형에서 $\tan\theta$를 구할 수 있는지 평가한다.
· 2-(4) 거울을 천천히 벌릴 때 복사압이 한 일과 갇힌 빛의 에너지 감소가 정확히 같다는 에너지 보존을 스스로 확인할 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)	물리학 I — 빛과 물질의 이중성	광자가 에너지 hf와 운동량 h/λ를 가짐을 설명할 수 있다.
(2)(3)	물리학 I · II — 역학과 에너지	충격량과 운동량의 관계로부터 평균 힘을 구할 수 있다.
(3)(4)	물리학 II — 역학적 상호작용	여러 힘이 작용하는 물체의 평형 조건을 세우고 해석할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 I	빛과 물질의 이중성 — 광자의 에너지와 운동량
고등학교 물리학 II	역학적 상호작용 — 충격량과 운동량, 힘의 평형

4. 문항 해설

(1) 광자 한 개의 운동량은 $p = h/\lambda = (6.6\times10^{-34})/(6.0\times10^{-7}) = 1.1\times10^{-27}$ kg·m/s이다. 완전 반사이므로 운동량이 $+p$에서 $-p$로 바뀌고, 거울이 받는 충격량의 크기는 $2p = 2.2\times10^{-27}$ kg·m/s이다. (2) 한 광자가 같은 거울을 다시 때리려면 거리 $2L$를 빛의 속력으로 가야 하므로 $\tau = 2L/c = 3.3\times10^{-5}$ s이고, 평균 힘은 $F_1 = 2p/\tau = 6.6\times10^{-23}$ N이다. (3) 광자가 $N = 10^{22}$개이므로 $F = NF_1 = 0.66$ N이다. 정리하면 $F = N(2h/\lambda)(c/2L) = Nhc/(\lambda L) = U/L$이고, 여기서 $U = Nhc/\lambda = 3.3\times10^{3}$ J가 갇힌 빛의 총 에너지이다. 거울에는 무게 $W = Mg = 100$ N, 줄의 장력 T, 복사압 F가 작용하므로 $T\sin\theta = F$, $T\cos\theta = W$에서 $\tan\theta = F/W = 6.6\times10^{-3}$($\theta \approx 0.38°$)이다. (4) 거울 사이 간격이 L일 때 빛의 총 에너지는 $U \propto 1/L$이므로 $F = U/L \propto 1/L^2$이다. 간격을 L에서 $2L$로 늘리는 동안 복사압이 한 일은 $\int F dL = U_0 - U_0/2 = 1.65\times10^{3}$ J이고, 이는 빛의 에너지 감소량과 정확히 같다. 새 힘은 $F' = (U_0/2)/(2L) = 0.165$ N이므로 $\tan\theta' = 1.65\times10^{-3}$으로 처음의 $1/4$이다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	$p = h/\lambda = 1.1 \times 10^{-27}$ kg·m/s와 충격량 $2p = 2.2 \times 10^{-27}$ kg·m/s를 구한 경우	1
(2)	$\tau = 2L/c = 3.3 \times 10^{-5}$ s와 $F_1 = 6.6 \times 10^{-23}$ N을 구한 경우 (왕복이 아닌 편도 L/c를 쓰면 0점)	1
(3)	$F = 0.66$ N과 $F = U/L$ 꼴을 보인 경우 (1점) / 힘의 평형에서 $\tan\theta = 6.6 \times 10^{-3}$을 얻은 경우 (1점)	2
(4)	복사압이 한 일과 빛의 에너지 감소가 모두 1.65×10^{3} J로 같음을 보이고 $\tan\theta' = 1.65 \times 10^{-3}$을 구한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 광자의 운동량과 충격량

파장 λ인 광자 한 개의 운동량은

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{6.0 \times 10^{-7}} \ \text{kg·m/s} .$$

$$p = 1.1 \times 10^{-27} \ \text{kg·m/s} .$$

광자가 거울 면에 수직으로 들어가 완전히 반사되면 운동량은 $+p$에서 $-p$로 바뀌므로 광자의 운동량 변화는 $2p$이고, 운동량 보존에 따라 거울은 반대 방향으로 같은 크기의 충격량을 받는다.

$$|\Delta p| = p - (-p) = 2p = 2.2 \times 10^{-27} \ \text{kg·m/s} .$$

(2) 왕복 시간과 광자 한 개의 평균 힘

한 광자가 어떤 거울을 때린 뒤 반대쪽 거울까지 갔다가 되돌아와 **같은 거울**을 다시 때리려면 거리 $2L$를 가야 한다. 빛의 속력은 일정하므로

$$\tau = \frac{2L}{c} = \frac{2 \times 5.0 \times 10^{3}}{3.0 \times 10^{8}} \ \text{s} = \frac{1}{3} \times 10^{-4} \ \text{s} \approx 3.3 \times 10^{-5} \ \text{s} .$$

이 시간마다 충격량 $2p$가 한 번씩 전달되므로 시간 평균을 취한 힘은

$$F_1 = \frac{|\Delta p|}{\tau} = \frac{2.2 \times 10^{-27}}{3.3 \times 10^{-5}} \ \text{N} = 6.6 \times 10^{-23} \ \text{N} .$$

충돌은 사실 띄엄띄엄 일어나지만, 거울이 받는 힘을 τ보다 훨씬 긴 시간에 걸쳐 평균 내면 위와 같이 일정한 힘으로 다룰 수 있다.

(3) 거울이 받는 힘과 줄의 기울기

광자 $N = 10^{22}$개가 거울 사이를 고르게 왕복하므로 각 광자가 내는 평균 힘을 모두 더하면

$$F = N F_1 = 10^{22} \times 6.6 \times 10^{-23} \ \text{N} = 0.66 \ \text{N} .$$

식으로 정리하면

$$F = N \cdot \frac{2h}{\lambda} \cdot \frac{c}{2L} = \frac{Nhc}{\lambda L} = \frac{U}{L}, \quad U = \frac{Nhc}{\lambda}.$$

여기서 U는 갇힌 빛의 총 에너지이며

$$U = \frac{10^{22} \times 6.6 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^{8}}{6.0 \times 10^{-7}} \ \text{J} = 3.3 \times 10^{3} \ \text{J}, \quad F = \frac{3.3 \times 10^{3}}{5.0 \times 10^{3}} = 0.66 \ \text{N} .$$

두 거울은 서로 마주 보고 있으므로 각 거울은 **바깥쪽 수평 방향**으로 이 힘을 받는다. 거울 하나에 작용하는 힘은 무게 $W = Mg = 10 \times 10 = 100$ N(아래), 줄의 장력 T(줄 방향), 복사압 F(바깥쪽 수평)의 세 가지이고, 정지해 있으므로

$$T\sin\theta = F, \quad T\cos\theta = W.$$

두 식을 나누면

답

$$\tan\theta = \frac{F}{W} = \frac{0.66}{100} = 6.6 \times 10^{-3} \quad (\theta \approx 0.38^\circ).$$

광자를 10^{22}개나 가두어도 생기는 힘은 1 N에 못 미치고 줄은 거의 연직이다. $\tan\theta = U/(MgL)$이므로 거울의 넓이와는 무관하고 갇힌 빛의 총 에너지와 간격으로만 정해진다.

(4) 거울을 천천히 벌릴 때

거울을 아주 천천히 밀면 거울 사이에 갇힌 빛의 파장은 간격에 비례해 길어진다(정상파의 마디 수가 그대로 유지된다). 광자 한 개의 에너지는 $hc/\lambda \propto 1/L$이므로 총 에너지도

$$U(L') = U_0\frac{L}{L'} \quad\Longrightarrow\quad F(L') = \frac{U(L')}{L'} = \frac{U_0 L}{L'^2}.$$

간격을 L에서 $2L$까지 늘리는 동안 복사압이 거울에 해 준 일은(거울 두 개를 합쳐 dL'만큼 벌어질 때 $F\,dL'$)

$$W_{\text{rad}} = \int_L^{2L} \frac{U_0 L}{L'^2}\,dL' = U_0 L\left[-\frac{1}{L'}\right]_L^{2L} = U_0\left(1-\frac{1}{2}\right) = \frac{U_0}{2} = 1.65\times 10^3 \ \text{J}\,.$$

한편 갇힌 빛의 총 에너지는 $U_0 = 3.3\times 10^3$ J에서 $U_0/2 = 1.65\times 10^3$ J로 줄어든다.

답 복사압이 한 일 1.65×10^3 J $=$ 빛의 에너지 감소량 1.65×10^3 J. 빛이 거울을 밀어내는 데 쓴 에너지는 전부 광자 자신의 에너지에서 나온다(움직이는 거울에 반사되며 파장이 길어지는 적색 이동).

새로운 상태에서는

$$F' = \frac{U_0/2}{2L} = \frac{1.65\times 10^3}{1.0\times 10^4}\ \text{N} = 0.165\ \text{N} \quad\Longrightarrow\quad \tan\theta' = \frac{0.165}{100} = 1.65\times 10^{-3}\,.$$

$F \propto 1/L^2$이므로 간격을 두 배로 하면 힘은 $1/4$, 따라서 $\tan\theta$도 $1/4$로 줄어든다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: "거울의 반사율이 1이 아니라 $R<1$이고 나머지는 흡수된다면 평균 힘과 $\tan\theta$는 어떻게 달라지는가?" (한 번 충돌에서 전달되는 운동량이 $(1+R)p$로 줄고, 광자 수도 왕복마다 R^2배씩 줄어 힘이 시간에 따라 감소한다)
· 추가 질문: "같은 0.66 N을 레이저 빔으로 직접 만들려면 출력이 얼마여야 하는가?" (완전 반사면에 쏠 때 $F = 2P/c$이므로 $P = 1.0\times 10^8$ W)
· 검토 의견: (2)에서 왕복이 아닌 편도 시간 L/c를 쓰는 실수가 가장 잦다. "그 광자가 같은 거울을 다시 때리는 것은 언제인가"를 되묻는다. (3)에서 두 거울이 서로 끌어당긴다고 답하는 경우에는 광자의 운동량 방향을 그림에 직접 그려 보게 한다.

PARTNER SERVICE

써봄 AI 논술 첨삭 서비스

말로 준비한 답, 글로 써 보면 빈틈이 보인다.

구술 답안을 글로 정리해 올리면, AI가 평가 기준에 따라 채점하고 상세한 피드백을 준다.

4개 영역 점수

논리구조 · 근거타당성 · 주장명확성 · 언어표현을 영역별 점수로 제공한다.

상세 피드백

강점, 개선점, 구체적 제안사항을 함께 짚어 준다.

간편한 업로드

PDF · DOCX · TXT 파일을 지원하고, 최대 10편까지 일괄 처리한다.

리포트 저장

첨삭 결과 리포트를 PDF로 내려받아 다시 볼 수 있다.

이 모의고사와 함께 쓰는 법

① 문항마다 내 답변을 한 편의 글로 정리한다. 결론 → 근거 → 검증 순서로 쓴다.

② writegrow.net 에 답안을 올려 영역별 점수와 피드백을 받는다.

③ 예시답안과 비교해 빠진 논리 단계를 채우고, 다시 써서 점수 변화를 확인한다.

회원가입 시 3회 무료 분석

Google Gemini 기반 AI가 논술문을 자동 분석한다.

writegrow.net