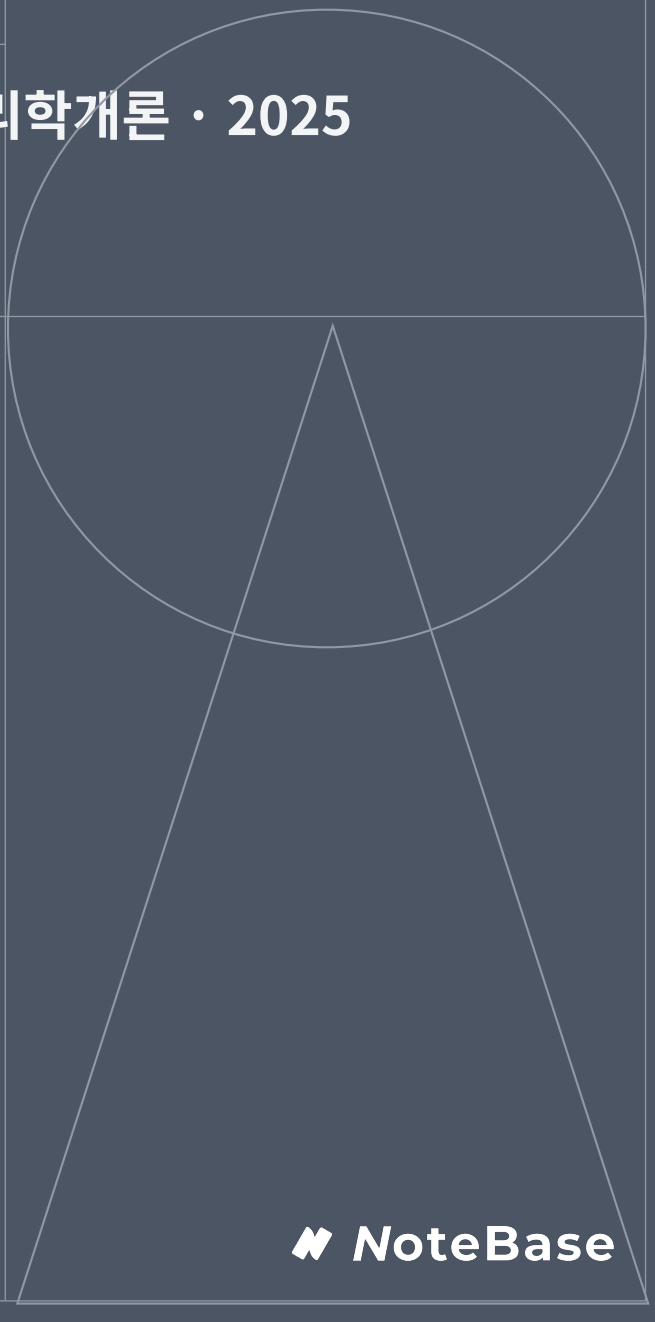
기출OX 해설집

공무원/소방/간부후보 · 물리학개론 · 2025



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/소방/간부후보 · 물리학개론 · 2025

공무원/소방/간부후보 · 물리학개론 · 2025

문 1. 행성의 표면에서 물체가 무한히 먼 곳에 도달할 수 있는 최소 발사 속력을 탈출 속력이라 한다. 질량이 M이고 반지름이 R인 행성에서의 탈출 속력이 v_0일 때, 질량이 $45M$이고 반지름이 $5R$인 행성에서의 탈출 속력은? (단, 행성의 운동과 공기 저항은 무시한다)

① $9v_0$

② $6v_0$

③ $3v_0$

④ $\frac{1}{3}v_0$

⑤ $\frac{1}{9}v_0$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 행성의 탈출 속도 공식 $v_e = \sqrt{2GM/R}$을 이용해 질량과 반지름이 바뀔 때 탈출 속도가 몇 배가 되는지 구하는 문제이다.

조건 정리

처음 행성: 질량 M, 반지름 R, 탈출 속도 v_0

새 행성: 질량 $45M$, 반지름 $5R$

구해야 할 값: 새 행성의 탈출 속도를 v_0의 배수로 나타낸 값

주의할 조건: 행성의 운동과 공기 저항은 무시하므로 표면에서의 중력 퍼텐셜만 고려한다.

사용할 공식

탈출 속도는

$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

이다. 무한히 먼 곳에서 속도가 0이 되도록 행성의 중력 퍼텐셜 에너지를 이겨 내는 최소 속도를 묻고 있으므로 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

처음 행성의 탈출 속도는
$v_0 = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$
이다.
새 행성의 탈출 속도는
$v' = \sqrt{\frac{2G(45M)}{5R}}$
이다.
이를 정리하면
$v' = \sqrt{9 \cdot \frac{2GM}{R}} = 3\sqrt{\frac{2GM}{R}} = 3v_0$
이므로 새 행성의 탈출 속도는 $3v_0$이다.

선지 판단

① X: 계산 결과는 $3v_0$이므로 $9v_0$은 틀리다. 틀린 표현 $9v_0$ → 올바르게는 $3v_0$이다. 45/5 = 9를 구한 뒤 제곱근을 취하지 않으면 나오는 오답이다.
② X: 계산 결과는 $3v_0$이므로 $6v_0$은 틀리다. 틀린 표현 $6v_0$ → 올바르게는 $3v_0$이다. 질량과 반지름의 비를 탈출 속도에 선형으로 적용하거나 제곱근 관계를 잘못 처리한 오답이다.
③ O: $v' = \sqrt{45/5}\,v_0 = \sqrt{9}\,v_0 = 3v_0$이므로 맞다.
④ X: 계산 결과는 $3v_0$이므로 $\frac{1}{3}v_0$은 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{3}v_0$ → 올바르게는 $3v_0$이다. M/R의 증가를 반대로 해석하면 나오는 오답이다.
⑤ X: 계산 결과는 $3v_0$이므로 $\frac{1}{9}v_0$은 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{9}v_0$ → 올바르게는 $3v_0$이다. 45/5 = 9를 역수로 잘못 적용하고 제곱근도 고려하지 않은 오답이다.

오답 포인트

탈출 속도는 M/R에 비례하는 것이 아니라 $\sqrt{M/R}$에 비례한다. 이 문제의 함정은 $45M$과 $5R$을 보고 45/5 = 9까지는 맞게 구한 뒤, 제곱근을 빠뜨려 $9v_0$을 고르는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

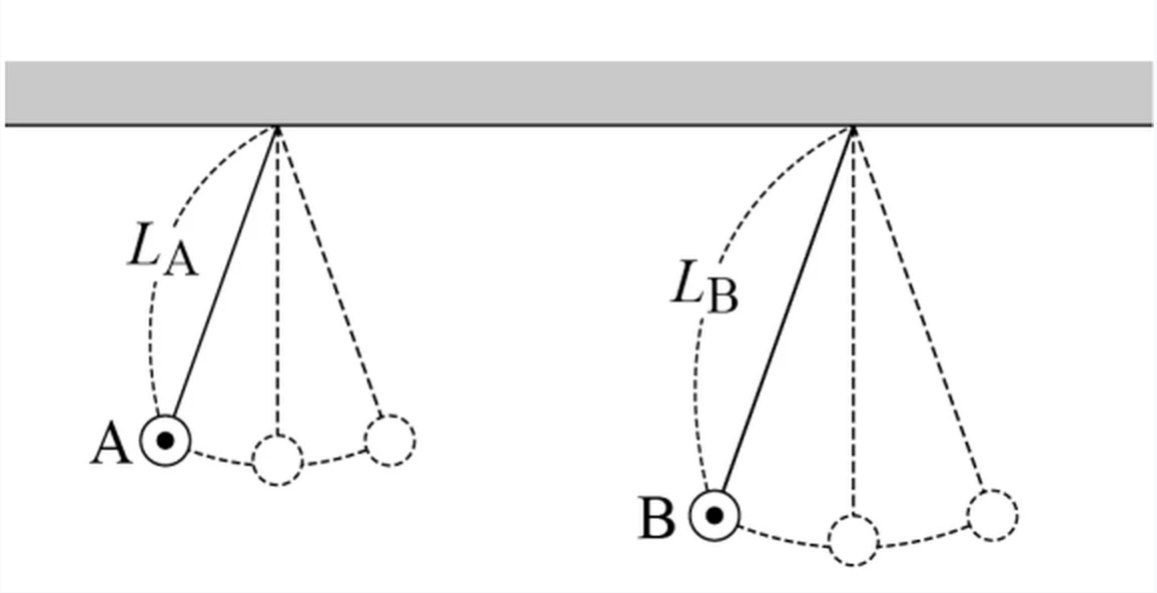
탈출 속도 비교 문제는 $v_e \propto \sqrt{M/R}$를 먼저 세우고, 질량 배수와 반지름 배수를 M/R 안에서 나눈 뒤 마지막에 제곱근을 취해 판단한다.

암기 포인트

탈출 속도는 $\sqrt{M/R}$형이다. 질량이 커지면 증가하고 반지름이 커지면 감소하지만, 변화 배수에는 반드시 제곱근이 붙는다.

NoteBase

문 2. 그림과 같이 길이가 L_A, L_B인 실에 연결된 질량이 m, $2m$인 추 A, B가 각각 단진동을 하였다. A, B의 진동 주기는 각각 T_A, T_B이고, $\frac{L_B}{L_A} = \frac{5}{4}$이다. $\frac{T_B}{T_A}$는? (단, 추의 크기와 실의 질량은 무시한다)



① $\frac{\sqrt{5}}{4}$
② $\frac{\sqrt{10}}{4}$
③ $\frac{\sqrt{5}}{2}$
④ $\frac{\sqrt{10}}{2}$
⑤ $\sqrt{5}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단진자의 주기 공식 $T = 2\pi\sqrt{L/g}$를 이용해 두 단진자의 주기비 T_B/T_A를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: A의 실 길이는 L_A, 추의 질량은 m이고, B의 실 길이는 L_B, 추의 질량은 $2m$이다. 또한 $L_B/L_A = 5/4$이다.
구해야 할 값: T_B/T_A이다.
주의할 조건: 추의 크기와 실의 질량은 무시하고, 단진자의 주기는 추의 질량에 의존하지 않는다.

NoteBase

사용할 공식

단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{L/g}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 그림의 A, B는 각각 실에 매달린 추가 단진동을 하는 단진자이며, 같은 중력가속도 g에서 주기는 실의 길이 L에만 비례해 $\sqrt{L}$에 따라 변한다.

계산 과정

A의 주기는 $T_A = 2\pi\sqrt{L_A/g}$이다.
B의 주기는 $T_B = 2\pi\sqrt{L_B/g}$이다.
따라서
$\frac{T_B}{T_A} = \frac{2\pi\sqrt{L_B/g}}{2\pi\sqrt{L_A/g}} = \sqrt{\frac{L_B}{L_A}}$
이다.
문제에서 $L_B/L_A = 5/4$이므로
$\frac{T_B}{T_A} = \sqrt{\frac{5}{4}} = \frac{\sqrt{5}}{2}$
이다.

선지 판단

① X
- $\sqrt{5}/4$는 $\sqrt{5/4}$에서 분모 4에도 제곱근을 취해야 한다는 점을 놓친 값이다. 틀린 표현 $\sqrt{5}/4$ → 올바르게는 $\sqrt{5}/2$이다.

② X
- $\sqrt{10}/4$는 질량 $2m$을 주기 계산에 잘못 넣으면 나올 수 있는 값이다. 단진자의 주기는 질량과 무관하므로 틀린 표현 $\sqrt{10}/4$ → 올바르게는 $\sqrt{5}/2$이다.

③ O
- 계산 결과 $T_B/T_A = \sqrt{5/4} = \sqrt{5}/2$이므로 맞다.

④ X
- $\sqrt{10}/2$는 B의 질량이 $2m$이라는 조건을 주기비에 곱해 잘못 반영한 값이다. 틀린 표현 $\sqrt{10}/2$ → 올바르게는 질량을 제외한 $\sqrt{5}/2$이다.

⑤ X
- $\sqrt{5}$는 $L_B/L_A = 5/4$에서 분모의 4를 빠뜨리거나 $\sqrt{4} = 2$를 처리하지 않은 값이다. 틀린 표현 $\sqrt{5}$ → 올바르게는 $\sqrt{5}/2$이다.

계산 결과 $\sqrt{5}/2$이므로 정답은 3번이다.

NoteBase

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 B의 추 질량이 $2m$이라는 조건이다. 단진자 주기 공식에는 질량이 들어가지 않으므로, 질량비를 곱하거나 나누면 ②, ④와 같은 오답으로 간다. 또 $\sqrt{5/4}$를 계산할 때 분모에도 제곱근을 적용해야 하므로 $\sqrt{4}=2$가 된다.

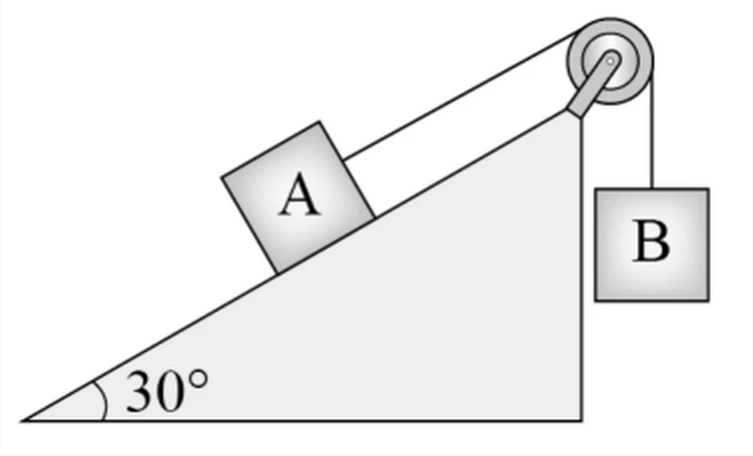
다시 나오면 이렇게 판단

단진자 주기비 문제는 먼저 $T=2\pi\sqrt{L/g}$를 쓰고, 같은 장소에서는 2π와 g가 약분되어 $T_B/T_A=\sqrt{L_B/L_A}$만 남는다고 판단한다. 질량 조건은 주기비 계산에서 제외한다.

암기 포인트

단진자 주기는 길이의 제곱근에 비례하고 질량과는 무관하다. 즉 $T\propto\sqrt{L}$, $T\propto m$이다.

문 3. 그림은 질량이 1kg으로 같은 물체 A, B가 실로 연결되어 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. A에 작용하는 마찰력의 크기는? (단, 중력가속도는 $10\mathrm{m/s^2}$이고, 도르래와 실의 질량은 무시한다)



① 1N

② 5N

③ $5\sqrt{2}$N

④ $5\sqrt{3}$N

⑤ 10N

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정지한 물체의 힘의 평형을 이용해 A에 작용하는 마찰력의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: A와 B의 질량은 각각 $1kg$, 중력가속도는 $10m/s^2$, 경사각은 30 °이다.
구해야 할 값: A에 작용하는 마찰력의 크기이다.
주의할 조건: 물체가 정지해 있으므로 A와 B 각각에 대해 합력이 0이다. 도르래와 실의 질량을 무시하므로 실의 장력은 같은 줄 전체에서 같다.

NoteBase

사용할 공식

B의 평형: $T = m_B g$
A의 경사면 방향 중력 성분: $m_A g \sin 30^\circ$
A의 경사면 방향 평형: 위쪽 장력과 아래쪽 중력 성분 및 마찰력이 서로 평형을 이룬다.

이 공식을 쓰는 이유: B가 정지해 있으므로 B에는 위쪽 장력 T와 아래쪽 무게 $m_B g$가 같게 작용한다. A도 정지해 있으므로 경사면 방향에서 장력, 중력의 경사면 방향 성분, 마찰력이 합력 0을 이루어야 한다.

계산 과정

1. B의 평형에서 장력을 구한다.
$T = m_B g = 1 \times 10 = 10N$
2. A의 무게 중 경사면 아래쪽 성분을 구한다.
m_Ag 30^=1× 10× 1 2=5 N
3. A에는 경사면 위쪽으로 장력 $10N$, 경사면 아래쪽으로 중력 성분 $5N$이 작용한다. 장력이 더 크므로 A가 위로 움직이려는 경향을 막기 위해 마찰력은 경사면 아래쪽으로 작용한다.
$f = 10 - 5 = 5N$
따라서 A에 작용하는 마찰력의 크기는 $5N$이다.

선지 판단

① X
- 마찰력은 $1N$이 아니라 $5N$이다. 틀린 표현 $1N \rightarrow$ 올바르게는 $5N$이다.

② O
- 계산 결과 A에 작용하는 마찰력의 크기는 $5N$이므로 옳다.

③ X
- $5\sqrt{2}N$은 이 문제의 경사면 방향 평형에서 나오지 않는다. 틀린 표현 $5\sqrt{2}N \rightarrow$ 올바르게는 $5N$이다.

④ X
- $5\sqrt{3}N$은 A의 수직항력 성분 $mg\cos 30^\circ = 5\sqrt{3}N$과 혼동한 값이다. 묻는 것은 수직항력이 아니라 마찰력이므로 틀린 표현 $5\sqrt{3}N \rightarrow$ 올바르게는 $5N$이다.

⑤ X
- $10N$은 B의 무게이자 실의 장력이다. A의 마찰력은 장력 $10N$과 A의 경사면 방향 중력 성분 $5N$의 차이이므로 $10N$이 아니다. 틀린 표현 $10N \rightarrow$ 올바르게는 $5N$이다.

NoteBase

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 B의 무게 $10N$을 그대로 마찰력으로 고르는 것이다. B의 무게는 장력이고, A의 마찰력은 그 장력과 A의 경사면 방향 중력 성분 $5N$의 차이를 상쇄하는 힘이다. 또한 ④의 $5\sqrt{3}N$은 경사면에 수직인 성분과 마찰력을 혼동한 값이다.

다시 나오면 이렇게 판단

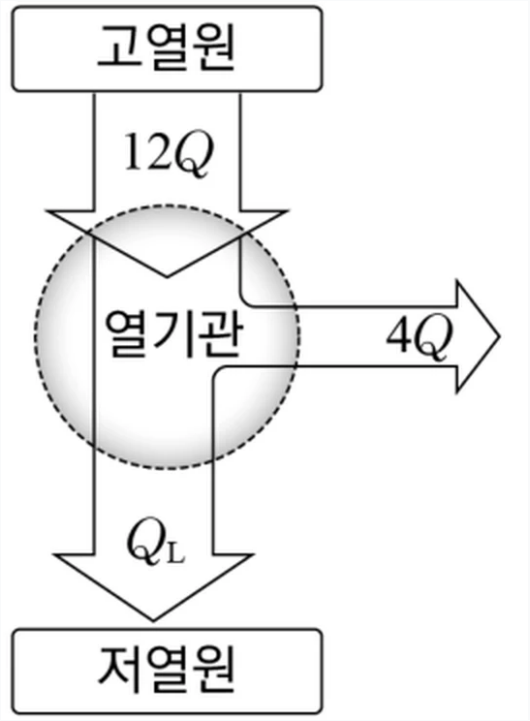
실과 도르래로 연결된 정지 문제는 매달린 물체에서 장력을 먼저 구하고, 경사면 위 물체에서는 경사면 방향 성분만 모아 평형식을 세운다. 마찰력은 운동하려는 경향과 반대 방향으로 작용하며, 크기는 남는 힘의 차이로 판단한다.

암기 포인트

정지 평형에서는 $\sum F = 0$이다. 경사면 방향 중력 성분은 $mg\sin\theta$, 수직 성분은 $mg\cos\theta$이고, 마찰력은 경사면 방향의 불균형을 메우는 힘이다.

NoteBase

문 4. 그림은 열효율이 e인 열기관이 한 번의 순환 과정에서 고열원으로부터 $12Q$의 열을 흡수하여, 외부에 $4Q$의 일을 하고 저열원으로 Q_L의 열을 방출하는 것을 나타낸다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



<보 기>

ㄱ. $e = \frac{1}{3}$이다.

ㄴ. $Q_L = 16Q$이다.

ㄷ. $Q_L = 0$인 열기관을 만들 수 있다.

① ㄱ

② ㄷ

③ ㄱ, ㄴ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 열기관 한 사이클에서 열효율 $e = W/Q_H$와 에너지 보존 $Q_H = W + Q_L$을 이용해 옳은 설명만 고르는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값: 고열원에서 흡수한 열은 $Q_H = 12Q$, 외부에 한 일은 $W = 4Q$이다.
구해야 할 값: 열효율 e와 저열원으로 방출한 열 Q_L이다.
주의할 조건: 열기관은 한 번의 순환 과정이므로 내부에너지 변화가 0이고, 흡수한 열은 일과 방출열로 나뉜다.

사용할 공식

$e = \frac{W}{Q_H}$
$Q_H = W + Q_L$
열효율은 흡수한 열 중 일로 바뀐 비율이므로 W/Q_H를 쓴다. 순환 과정에서는 처음 상태로 돌아오므로 에너지 보존에 의해 흡수열이 외부 일과 방출열의 합이 된다.

계산 과정

1. 열효율은 $e = \frac{4Q}{12Q} = \frac{1}{3}$이다.
2. 방출열은 $Q_L = Q_H - W = 12Q - 4Q = 8Q$이다.
3. 따라서 ㄱ은 옳고, ㄴ의 $16Q$는 실제 방출열 $8Q$와 다르며, ㄷ의 $Q_L = 0$은 이 열기관의 에너지 보존 결과와도 맞지 않는다.

선지별 해설

ㄱ O: $e = \frac{W}{Q_H} = \frac{4Q}{12Q} = \frac{1}{3}$이므로 옳다.
ㄴ X: $Q_L = Q_H - W = 12Q - 4Q = 8Q$이다. 틀린 표현 $Q_L = 16Q$ → 올바르게는 $Q_L = 8Q$이다.
ㄷ X: 이 문제의 열기관에서는 $Q_L = 8Q$가 되어야 하므로 $Q_L = 0$이 아니다. 또한 순환 열기관이 흡수한 열을 모두 일로 바꾸어 저열원 방출열을 0으로 만드는 것은 열역학 제2법칙에 어긋난다. 틀린 표현 $Q_L = 0$인 열기관을 만들 수 있다 → 올바르게는 순환 열기관은 저열원으로 방출하는 열이 필요하다.
① O: ㄱ만 옳으므로 정답 선택지이다.
② X: ㄷ은 옳지 않다. 틀린 선택 → 올바르게는 ㄱ만 선택한다.
③ X: ㄴ이 포함되어 있지만 ㄴ은 $Q_L = 16Q$가 아니라 $Q_L = 8Q$이므로 틀리다. 틀린 선택 → 올바르게는 ㄱ만 선택한다.
④ X: ㄴ과 ㄷ이 모두 옳지 않으므로 틀리다. 틀린 선택 → 올바르게는 ㄱ만 선택한다.
⑤ X: ㄴ과 ㄷ이 포함되어 있어 틀리다. 틀린 선택 → 올바르게는 ㄱ만 선택한다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 방출열을 $12Q + 4Q$처럼 더해 $16Q$로 계산하는 실수이다. 열기관에서 한 일은 흡수열에서 빠져나간 에너지이므로 $Q_L = Q_H - W$로 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

열기관 계산형 문제는 먼저 Q_H, W, Q_L의 방향을 구분하고, 열효율은 W/Q_H, 방출열은 $Q_H - W$로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

열기관은 흡수열 Q_H를 일 W와 방출열 Q_L로 나누며, 효율은 $e = W/Q_H$이다.

문 5. 다음은 두 가지 핵반응이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

(가) ^3_2He + ^3_1H → ^4_2He + ㉠ + 14.3 MeV
(나) ^235_92U + ^1_0n → ^140_54Xe + ㉡ + 2 ^1_0n + 200 MeV

<보 기>
ㄱ. ㉠의 질량수는 1이다.
ㄴ. ㉡의 양성자 수는 38이다.
ㄷ. (가)에서 결손된 질량은 (나)에서 결손된 질량보다 크다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ
⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 핵반응에서 질량수와 원자번호가 각각 보존된다는 원리와 방출 에너지 $E = \Delta mc^2$의 관계를 이용해 빈칸 입자와 질량 결손의 크기를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: (가) ${}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + ¤ + 14.3MeV$, (나) ${}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{140}_{54}\mathrm{Xe} + ¤ + 2{}^{1}_{0}\mathrm{n} + 200MeV$이다.
구해야 할 값: ㉠의 질량수, ㉡의 양성자 수, 두 반응의 질량 결손 크기 비교이다.
주의할 조건: 핵반응식의 위 숫자는 질량수, 아래 숫자는 원자번호이며 양성자 수는 원자번호와 같다.

사용할 공식

질량수 보존: 반응 전 질량수의 합 = 반응 후 질량수의 합
원자번호 보존: 반응 전 원자번호의 합 = 반응 후 원자번호의 합
질량-에너지 등가 관계: $E = \Delta mc^2$
이 공식을 쓰는 이유: 핵반응에서는 핵종이 바뀌어도 전체 질량수와 원자번호가 보존되고, 방출 에너지가 클수록 질량 결손 Δm도 크다.

NoteBase

계산 과정

(가)에서 질량수는 반응 전이 $3+3=6$, 반응 후가 $4+A_{\text{㉡}}$이므로 $A_{\text{㉡}}=2$이다. 원자번호는 반응 전이 $2+1=3$, 반응 후가 $2+Z_{\text{㉡}}$이므로 $Z_{\text{㉡}}=1$이다. 따라서 ㉠은 ${}_{1}^{2}\text{H}$이다.
(나)에서 질량수는 반응 전이 $235+1=236$, 반응 후가 $140+A_{\text{㉡}}+2$이므로 $A_{\text{㉡}}=94$이다. 원자번호는 반응 전이 92, 반응 후가 $54+Z_{\text{㉡}}$이므로 $Z_{\text{㉡}}=38$이다. 따라서 ㉡은 ${}_{38}^{94}\text{Sr}$이다.
질량 결손은 $E=\Delta mc^2$에서 에너지 E에 비례한다. (가)는 $14.3MeV$, (나)는 $200MeV$를 방출하므로 (나)의 질량 결손이 더 크다.

보기 판단

ㄱ. X - ㉠은 ${}_{1}^{2}\text{H}$이므로 질량수는 2이다. 틀린 표현 '질량수는 1'은 '질량수는 2'로 고쳐야 한다.
ㄴ. O - ㉡은 ${}_{38}^{94}\text{Sr}$이므로 양성자 수는 원자번호와 같은 38이다.
ㄷ. X - 방출 에너지가 클수록 질량 결손이 크다. (가)의 $14.3MeV$보다 (나)의 $200MeV$가 크므로 틀린 표현 '(가)에서 결손된 질량은 (나)에서 결손된 질량보다 크다'는 '(나)에서 결손된 질량이 (가)에서 결손된 질량보다 크다'로 고쳐야 한다.

선지 판단

① X - ㄱ만 고른 선지이지만 ㄱ은 ㉠의 질량수를 1로 보아 틀렸다. 올바르게는 ㉠의 질량수는 2이다.
② O - ㄴ만 고른 선지이고, ㉡의 원자번호가 38이므로 양성자 수가 38이라는 판단은 옳다.
③ X - ㄱ, ㄷ을 고른 선지이지만 ㄱ과 ㄷ이 모두 틀렸다. 올바르게는 ㉠의 질량수는 2이고, 질량 결손은 (나)가 (가)보다 크다.
④ X - ㄴ, ㄷ을 고른 선지에서 ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀렸다. 올바르게는 질량 결손이 (가)보다 (나)에서 더 크다.
⑤ X - ㄱ, ㄴ, ㄷ을 모두 고른 선지이지만 ㄱ과 ㄷ이 틀렸다. 올바르게는 ㄴ만 옳다.
따라서 옳은 것은 ㄴ뿐이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

㉠을 단순히 양성자 ${}_{1}^{1}\text{H}$로 착각하면 ㄱ을 옳다고 고르게 된다. 그러나 (가)에서는 질량수 합이 6이 되어야 하므로 ㉠의 질량수는 2이다. 또 질량 결손은 방출 에너지와 비례하므로 핵융합이라는 말만 보고 (가)가 더 크다고 판단하면 ㄷ에서 틀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

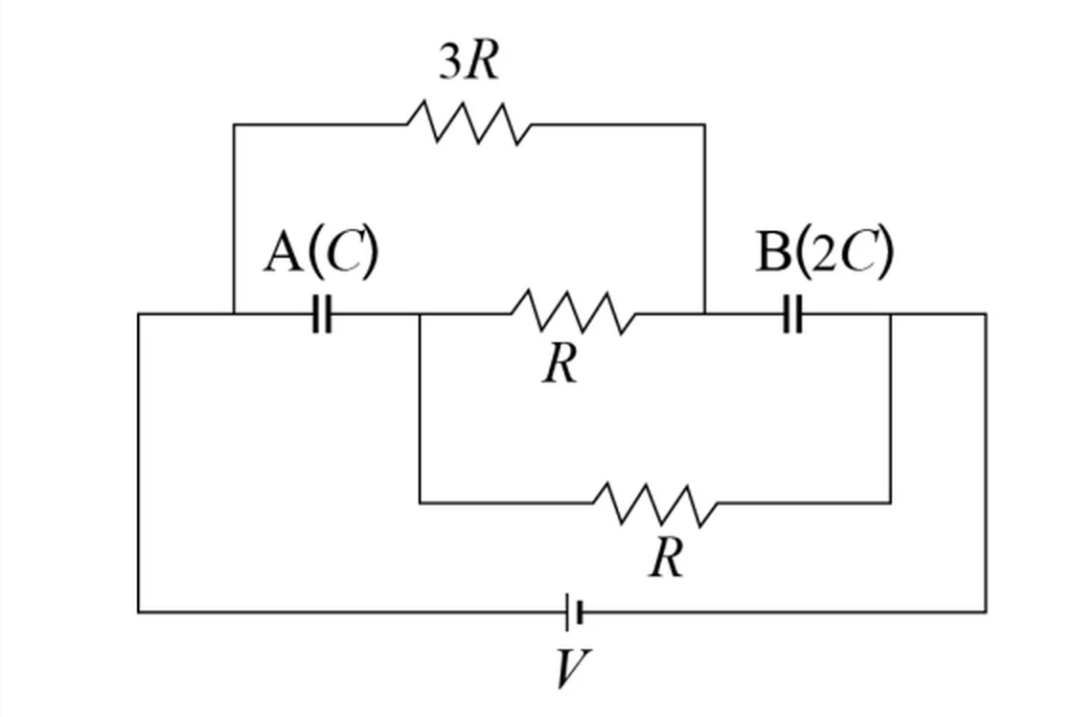
핵반응식 문제는 먼저 질량수 합을 맞추고, 다음에 원자번호 합을 맞춘 뒤, 방출 에너지는 $E=\Delta mc^2$로 질량 결손과 비례한다고 판단한다.

암기 포인트

핵반응식은 위 숫자 질량수 보존, 아래 숫자 원자번호 보존이다. 방출 에너지가 클수록 질량 결손도 크다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 전기 용량이 각각 C, $2C$인 축전기 A, B를 전기 저항이 각각 $3R$, R, R인 저항과 전압 V인 직류 전원에 연결하여 완전히 충전하였다. A에 충전된 전하량을 Q_A, B에 충전된 전하량을 Q_B라 할 때 $\frac{Q_A}{Q_B}$는?



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

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 직류 정상상태에서 축전기를 열린 회로로 보고, 저항 회로의 전위차와 $Q = CV$를 이용해 두 축전기의 전하량 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 축전기 A의 전기용량은 C, 축전기 B의 전기용량은 $2C$이다. 저항은 위쪽부터 $3R$, 가운데 R, 아래쪽 R이고 전원 전압은 V이다.
구해야 할 값: Q_A/Q_B이다.
주의할 조건: 완전히 충전된 뒤에는 축전기 가지로 전류가 흐르지 않으므로, 전위는 축전기를 제거한 저항 경로에서 정한다.

NoteBase

사용할 공식

축전기 전하량은
$Q = CV_C$
이다. 여기서 V_C는 해당 축전기 양단의 전위차이다.

이 공식을 쓰는 이유: 완전 충전 후에는 축전기에 흐르는 전류가 0이지만, 축전기 양단 전위차는 주변 저항 회로의 정상상태 전위로 정해지고 전하량은 전기용량과 전위차의 곱으로 결정된다.

계산 과정

축전기를 열린 회로로 보면 전원 양단을 잇는 저항 경로는 $3R$, R, R의 직렬 연결이다. 따라서 전체 저항은 $5R$이고 전류의 크기는
$I = \frac{V}{5R}$
이다.

각 저항의 전압강하는 위쪽 $3R$에서 $3V/5$, 가운데 R에서 $V/5$, 아래쪽 R에서 $V/5$이다.

축전기 A는 왼쪽 전원 단자와 가운데 R 아래쪽 노드 사이에 있으므로 양단 전위차는
$V_A = \frac{4V}{5}$
이다. 축전기 B는 위쪽 $3R$ 뒤 노드와 오른쪽 전원 단자 사이에 있으므로 양단 전위차는
$V_B = \frac{2V}{5}$
이다.

따라서
$Q_A = C \cdot \frac{4V}{5} = \frac{4CV}{5}$
$Q_B = 2C \cdot \frac{2V}{5} = \frac{4CV}{5}$
이므로
$\frac{Q_A}{Q_B} = 1$
이다.

선지 판단

① X
- 계산 결과 $Q_A/Q_B = 1$이므로 1/2는 틀리다. 틀린 표현 1/2 → 올바르게는 1이다.

② X
- 축전기 B의 전기용량이 $2C$임을 반영하면 $Q_B = 4CV/5$가 되어 Q_A와 같다. 따라서 2/3은 틀리다. 틀린 표현 2/3 → 올바르게는 1이다.

③ O
- $V_A = 4V/5$, $V_B = 2V/5$이고 B의 전기용량은 $2C$이므로 $Q_A = Q_B = 4CV/5$이다. 따라서 $Q_A/Q_B = 1$이 맞다.

④ X
- 전위차만 비교해 A가 더 크다고 보아도, B의 전기용량이 두 배라 전하량이 같아진다. 따라서 3/2는 틀리다. 틀린 표현 3/2 → 올바르게는 1이다.

⑤ X
- $V_A/V_B = 2$만으로 $Q_A/Q_B = 2$라고 하면 B의 전기용량 $2C$를 빠뜨린 것이다. 틀린 표현 2 → 올바르게는 1이다.

계산 결과 1이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 축전기가 완전히 충전되면 축전기에는 전류가 흐르지 않는다는 점과, 전하량 비교에는 전위차뿐 아니라 전기용량도 함께 들어간다는 점이다. 특히 ⑤의 2는 $V_A/V_B = 2$만 보고 $Q = CV$의 C 차이를 누락할 때 나오는 값이다.

다시 나오면 이렇게 판단

직류 정상상태의 축전기 문제는 축전기 가지를 열린 회로로 둔 뒤, 남은 저항 회로에서 각 노드 전위를 구하고, 마지막에 $Q = CV$로 전하량을 비교한다.

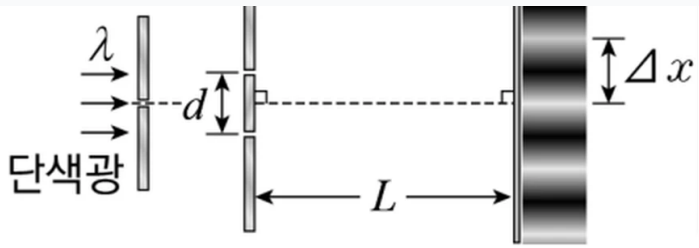
암기 포인트

완전 충전 축전기: 전류는 0, 전압은 노드 전위차, 전하량은 $Q = CV$이다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 간격이 d인 이중 슬릿에 파장이 λ인 단색광을 비추었더니 슬릿으로부터 L만큼 떨어진 스크린에 간섭무늬가 나타났다. 이웃한 밝은 무늬의 간격은 Δx이다. 표는 d, L, Δx를 나타낸 것이다.

λ는?



$d(\mathrm{mm})$	$L(\mathrm{m})$	$\Delta x(\mathrm{mm})$
0.1	2	11

① 700nm

② 660nm

③ 600nm

④ 550nm

⑤ 440nm

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이중 슬릿의 이웃한 밝은 무늬 간격 공식 $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$를 이용해 단색광의 파장 λ를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 슬릿 간격 $d = 0.1mm = 1.0 \times 10^{-4}m$, 스크린까지의 거리 $L = 2m$, 밝은 무늬 간격 $\Delta x = 11mm = 1.1 \times 10^{-2}m$이다.
구해야 할 값: 파장 λ이다.
주의할 조건: d와 Δx가 mm로 주어졌으므로 m로 바꾸어 계산한 뒤 nm로 환산한다.

사용할 공식

이중 슬릿에서 이웃한 밝은 무늬 간격은 $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 두 슬릿에서 나온 빛이 스크린에 간섭무늬를 만들고, 문제에서 이웃한 밝은 무늬 사이의 거리 Δx, 슬릿 간격 d, 스크린 거리 L가 모두 주어졌기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

공식을 λ에 대해 정리하면 $\lambda = \frac{\Delta x d}{L}$이다.
$\lambda = \frac{(1.1 \times 10^{-2} m)(1.0 \times 10^{-4} m)}{2m} = 5.5 \times 10^{-7} m$
$1nm = 10^{-9} m$이므로 $5.5 \times 10^{-7} m = 550nm$이다.

선지 판단

① X: 700 nm는 계산값 $550nm$보다 크다. 틀린 표현은 700 nm이고, 올바르게는 550 nm이다.
② X: 660 nm는 계산값 $550nm$보다 크다. 틀린 표현은 660 nm이고, 올바르게는 550 nm이다.
③ X: 600 nm는 계산값 $550nm$와 일치하지 않는다. 틀린 표현은 600 nm이고, 올바르게는 550 nm이다.
④ O: $\lambda = 5.5 \times 10^{-7} m = 550nm$이므로 문제의 계산 결과와 일치한다.
⑤ X: 440 nm는 계산값 $550nm$보다 작다. 틀린 표현은 440 nm이고, 올바르게는 550 nm이다.
계산 결과 $550nm$이므로 정답은 4번이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 mm, m, nm 사이의 단위 변환이다. 특히 d와 Δx를 모두 같은 길이 단위로 바꾸지 않거나, $\lambda = \frac{\Delta x d}{L}$에서 L을 곱하는 것으로 착각하면 보기의 다른 파장값을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

이중 슬릿 간섭에서 무늬 간격을 물으면 먼저 $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$를 떠올리고, 구하려는 양에 맞게 식을 정리한 뒤 모든 길이 단위를 통일해 계산한다.

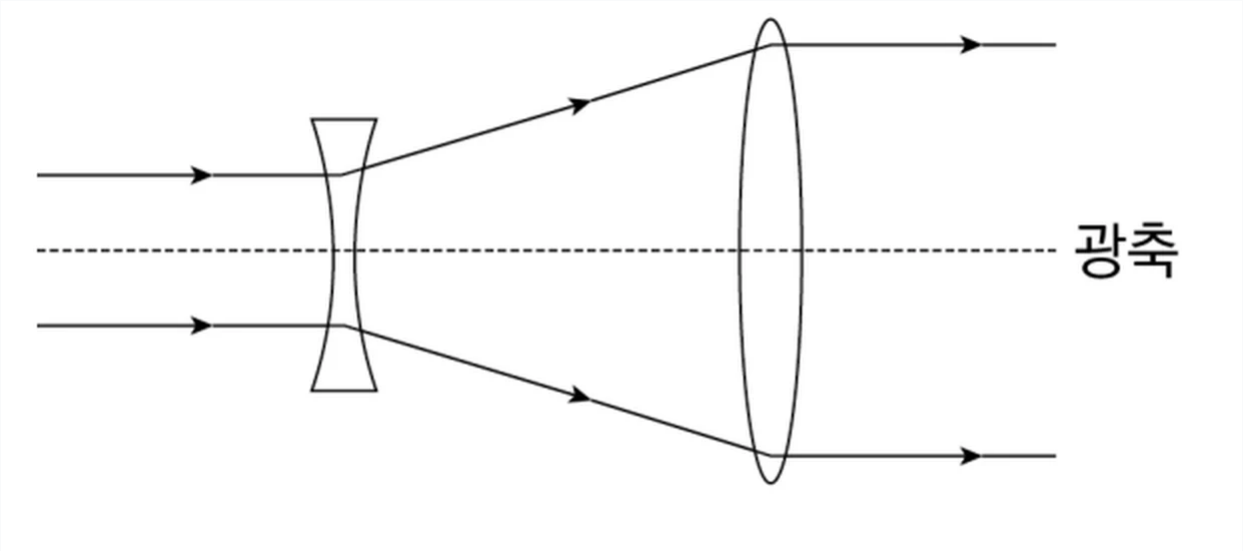
암기 포인트

이중 슬릿 밝은 무늬 간격은 파장과 스크린 거리에는 비례하고, 슬릿 간격에는 반비례한다. 즉 Δx ↑는 λ ↑, L ↑, d ↓와 연결된다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 초점 거리가 20cm인 오목 렌즈에서 오른쪽으로 40cm 지점에 볼록 렌즈를 놓았더니, 광축에 평행하게 입사한 광선이 오목 렌즈와 볼록 렌즈에서 굴절한 후 광축과 평행하게 진행한다.

볼록 렌즈의 초점 거리는? (단, 렌즈는 얇은 렌즈로 가정하고, 두 렌즈의 광축은 일치한다)



① 20cm
② 30cm
③ 40cm
④ 60cm
⑤ 80cm

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 얇은 렌즈 공식과 렌즈 사이 거리 조건을 이용해, 두 번째 볼록 렌즈에서 출사광이 평행광이 되기 위한 초점 거리를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 오목 렌즈의 초점 거리 $f_1 = -20cm$, 두 렌즈 사이 거리 $40cm$
구해야 할 값: 오른쪽 볼록 렌즈의 초점 거리
주의할 조건: 광축에 평행하게 들어온 빛은 오목 렌즈를 지난 뒤, 오목 렌즈의 왼쪽 초점에서 나온 것처럼 발산한다. 두 번째 볼록 렌즈를 지난 뒤 다시 평행광이 되려면, 볼록 렌즈 입장에서는 물체가 자기 앞쪽 초점에 있어야 한다.

NoteBase

사용할 공식

얇은 렌즈 공식은 다음과 같다.
$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$
출사광이 평행하면 상거리는 $s' = \infty$이므로 $1/s' = 0$이고, 따라서 $f = s$가 된다. 즉 볼록 렌즈 앞쪽 초점 위치에 물체가 있으면 볼록 렌즈를 지난 빛은 평행광이 된다.

계산 과정

1. 첫 번째 렌즈는 오목 렌즈이고 평행광이 입사하므로, 굴절 후 빛은 오목 렌즈의 왼쪽 $20cm$ 지점에서 나온 것처럼 진행한다.
2. 볼록 렌즈는 오목 렌즈의 오른쪽 $40cm$ 지점에 있다.
3. 따라서 볼록 렌즈에서 본 물체 위치는 볼록 렌즈의 왼쪽으로 $20cm + 40cm = 60cm$ 떨어진 지점이다.
4. 볼록 렌즈를 지난 뒤 빛이 평행광이 되려면 이 물체가 볼록 렌즈의 초점에 있어야 하므로, 볼록 렌즈의 초점거리는 $60cm$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- 20*cm*는 오목 렌즈의 초점 거리의 크기일 뿐, 볼록 렌즈에서 본 물체거리 전체가 아니다. 틀린 표현은 20*cm*이고, 올바르게는 60*cm*이다.

② X
- 30*cm*는 오목 렌즈의 초점 위치와 렌즈 사이 거리 조건을 올바르게 더한 값이 아니다. 볼록 렌즈의 물체거리는 $20cm + 40cm = 60cm$이다. 틀린 표현은 30*cm*이고, 올바르게는 60*cm*이다.

③ X
- 40*cm*는 두 렌즈 사이 거리일 뿐이다. 오목 렌즈를 지난 빛은 오목 렌즈의 왼쪽 20*cm* 지점에서 나온 것처럼 보이므로 볼록 렌즈까지의 물체거리는 40*cm*가 아니라 60*cm*이다. 틀린 표현은 40*cm*이고, 올바르게는 60*cm*이다.

④ O
- 볼록 렌즈에서 본 물체가 왼쪽 60*cm* 지점에 있고, 출사광이 평행하려면 물체가 초점에 있어야 한다. 따라서 볼록 렌즈의 초점 거리는 60*cm*이다.

⑤ X
- 80*cm*는 오목 렌즈의 초점 거리 크기와 렌즈 사이 거리를 중복하거나 방향을 잘못 처리한 값이다. 실제로는 오목 렌즈의 왼쪽 초점에서 볼록 렌즈까지의 거리 $20cm + 40cm = 60cm$가 필요하다. 틀린 표현은 80*cm*이고, 올바르게는 60*cm*이다.

계산 결과 60*cm*이므로 정답은 4번이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 오목 렌즈의 초점 거리 20*cm*와 렌즈 사이 거리 40*cm*를 따로 보거나, 둘 중 하나만 볼록 렌즈의 초점 거리로 착각하게 하는 것이다. 오목 렌즈 뒤의 빛은 실제로 모이는 것이 아니라 왼쪽 초점에서 나온 것처럼 발산하므로, 볼록 렌즈 기준 물체거리는 두 렌즈 사이 거리까지 포함한 60*cm*이다.

다시 나오면 이렇게 판단

여러 렌즈 문제에서는 앞 렌즈가 만든 상 또는 허물체를 다음 렌즈의 물체로 본다. 마지막 렌즈 뒤의 빛이 평행광이면, 마지막 렌즈의 물체는 그 렌즈의 앞쪽 초점에 놓여 있다고 판단한다.

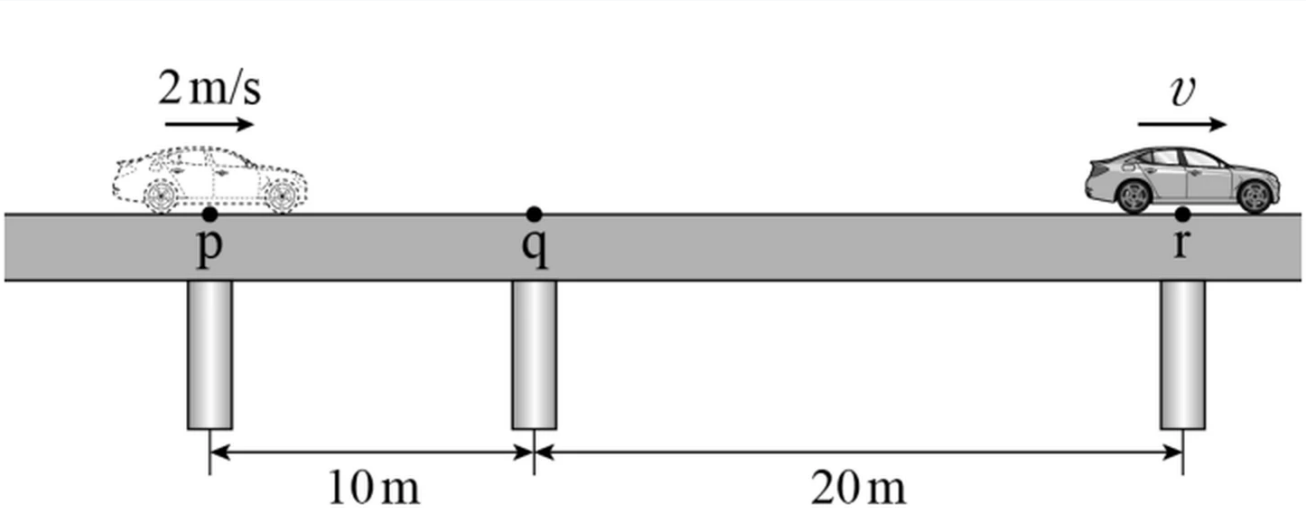
NoteBase

암기 포인트

오목 렌즈에 평행광이 들어오면 왼쪽 초점에서 나온 것처럼 발산한다. 볼록 렌즈에서 평행광으로 나가려면 물체거리와 초점거리가 같아진다.

NoteBase

문 9. 그림과 같이 직선 다리 위에서 자동차가 등가속도 운동을 하여 교각 위의 점 p, q, r을 지나고 있다. 자동차가 p, r을 통과할 때의 속력은 각각 2m/s, v이다. 이웃한 교각 사이의 거리는 각각 10m, 20m이고, 자동차가 이웃한 교각 사이의 구간을 지나는데 걸리는 시간은 같다. v는? (단, 자동차의 크기 및 교각의 두께는 무시한다)



① 10m/s

② 12m/s

③ 14m/s

④ 16m/s

⑤ 18m/s

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 등가속도 운동에서 같은 시간 동안 이동한 두 구간의 평균속도와 속도 변화가 일정하다는 성질을 이용해 r에서의 속력 v를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: p에서의 속력은 $2m/s$, r에서의 속력은 v, $pq = 10m$, $qr = 20m$이다.
구해야 할 값: v이다.
주의할 조건: $p \to q$와 $q \to r$를 지나는 데 걸리는 시간이 같고, 운동은 등가속도 운동이다.

NoteBase

사용할 공식

등가속도 운동에서 한 구간의 평균속도는 처음 속도와 나중 속도의 산술평균이다.
$s = \frac{u+w}{2}t$
또한 같은 시간 간격마다 속도 증가는 일정하므로, q에서의 속력을 u라 하면 $u-2 = v-u$가 성립한다.
이 공식을 쓰는 이유: 두 구간의 시간이 같으므로 거리의 비가 각 구간 평균속도의 비와 같고, 등가속도 운동이므로 p, q, r의 속력 변화가 같은 시간 간격에서 일정하기 때문이다.

계산 과정

1. q에서의 속력을 u, 각 구간을 지나는 시간을 t라고 둔다.
2. $p \to q$ 구간에서 $10 = \frac{2+u}{2}t$이다.
3. $q \to r$ 구간에서 $20 = \frac{u+v}{2}t$이다.
4. 두 구간의 시간 t가 같으므로 $\frac{20}{10} = \frac{u+v}{2+u}$, 따라서 $u+v = 2(2+u)$이고 $v = u+4$이다.
5. 같은 시간 간격의 등가속도 운동이므로 $u-2 = v-u$, 따라서 $v = 2u-2$이다.
6. $u+4 = 2u-2$에서 $u = 6$이고, $v = u+4 = 10$이다.

따라서 자동차가 r을 통과할 때의 속력은 $10m/s$이다.

선지 판단

① O
- 계산 결과 $v = 10m/s$이므로 ①은 맞다.

② X
- $12m/s$가 아니라 $10m/s$이다. 두 구간의 시간이 같다는 조건을 평균속도 비에 반영하면 $v = 10m/s$로 결정된다.

③ X
- $14m/s$가 아니라 $10m/s$이다. 거리 차이 $10m$만 보고 속력이 일정하게 더 커진다고 단순 추정하면 안 되고, 등가속도와 같은 시간 조건을 함께 써야 한다.

④ X
- $16m/s$가 아니라 $10m/s$이다. pq와 qr의 거리비 $1:2$는 속력 자체의 비가 아니라 각 구간 평균속도의 비이다.

⑤ X
- $18m/s$가 아니라 $10m/s$이다. 구간 거리가 두 배라고 해서 끝점 속력이 처음 속력의 단순 배수로 커지는 것은 아니다.

계산 결과 $v = 10m/s$이므로 정답은 1번이다.

NoteBase

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 $10m$와 $20m$의 거리비를 속력비로 바로 착각하는 것이다. 같은 시간 동안 이동했으므로 거리비는 각 구간의 평균속도비이고, 등가속도 운동에서는 같은 시간 간격의 속도 증가량이 같다는 조건까지 함께 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등가속도 운동에서 같은 시간 간격으로 나뉜 지점이 나오면, 먼저 중간 지점의 속력을 문자로 두고 각 구간의 평균속도식을 세운 뒤, 같은 시간 간격에서 속도 증가량이 같다는 관계를 함께 사용한다.

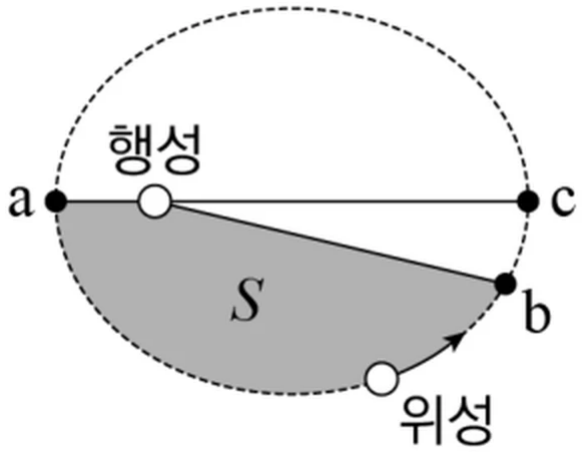
암기 포인트

등가속도 운동에서 같은 시간 간격이면 속력은 등차수열처럼 변하고, 각 구간 거리는 그 구간 평균속도에 비례한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 공전 주기가 T_0인 위성이 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. 점 a, c는 각각 행성으로부터 위성까지의 거리가 가장 가까운 점과 가장 먼 점이고, 점 b는 타원 궤도상의 점이다. 표는 a에서 b까지, b에서 c까지 위성이 이동하는데 걸린 시간과 위성과 행성을 연결한 직선이 쓸고 지나가는 면적을 각각 나타낸 것이다.

㉠과 ㉡으로 옳은 것은? (단, 행성과 위성의 크기는 무시한다)



구간	걸린 시간	면적
a → b	㉠	S
b → c	$\frac{1}{8}T_0$	㉡

① ㉠: $\frac{1}{3}T_0$, ㉡: $\frac{1}{4}S$
② ㉠: $\frac{1}{3}T_0$, ㉡: $\frac{1}{3}S$
③ ㉠: $\frac{3}{8}T_0$, ㉡: $\frac{1}{4}S$
④ ㉠: $\frac{3}{8}T_0$, ㉡: $\frac{1}{3}S$

NoteBase

⑤ ㉠: $\frac{3}{8}T_0$, ㉡: $\frac{1}{2}S$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 케플러 제2법칙, 즉 위성과 행성을 잇는 직선이 같은 시간 동안 같은 면적을 쓸고 지나간다는 원리를 이용해 시간과 면적의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: b에서 c까지 걸린 시간은 $\frac{1}{8}T_0$, a에서 b까지 쓸고 지나간 면적은 S이다.
구해야 할 값: a에서 b까지 걸린 시간 ㄱ, b에서 c까지 쓸고 지나간 면적 ㄴ이다.
주의할 조건: a는 행성에서 가장 가까운 점, c는 가장 먼 점이므로 a와 c는 타원의 장축 양끝이다. 따라서 a에서 c까지 이동하는 동안 쓸고 지나가는 면적은 타원 전체 면적의 절반이고, 걸린 시간도 $\frac{1}{2}T_0$이다.

사용할 공식

케플러 제2법칙에 따라 면적속도는 일정하다.
쓸고 지나간 면적걸린 시간=일정
이 공식을 쓰는 이유: 행성과 위성을 잇는 직선이 쓸고 지나가는 면적이 표에 주어져 있고, 공전 궤도에서 시간과 면적을 서로 비교해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. a에서 c까지는 타원의 절반을 도는 구간이므로
$t_{a\to c}=\frac{1}{2}T_0$
이다.
2. b에서 c까지 걸린 시간이 $\frac{1}{8}T_0$이므로 a에서 b까지 걸린 시간은
$t_{a\to b}=t_{a\to c}-t_{b\to c}=\frac{1}{2}T_0-\frac{1}{8}T_0=\frac{3}{8}T_0$
이다. 따라서 ㄱ은 $\frac{3}{8}T_0$이다.
3. 면적은 시간에 비례하므로
ㄴ S=(t_b→ c)/(t_a→ b)=((1)/(8)T_0)/((3)/(8)T_0)=(1)/(3)
이다.
4. 따라서 ㄴ은 $\frac{1}{3}S$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- ㄱ을 $\frac{1}{3}T_0$, ㄴ을 $\frac{1}{4}S$로 보았으므로 둘 다 계산 결과와 다르다. 틀린 표현 $\frac{1}{3}T_0$, $\frac{1}{4}S$ → 올바르게는 $\frac{3}{8}T_0$, $\frac{1}{3}S$이다.

② X
- ㄴ의 $\frac{1}{3}S$는 맞지만, ㄱ을 $\frac{1}{3}T_0$로 둔 것이 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{3}T_0$ → 올바르게는 $\frac{3}{8}T_0$이다.

③ X
- ㄱ의 $\frac{3}{8}T_0$는 맞지만, ㄴ을 $\frac{1}{4}S$로 둔 것이 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{4}S$ → 올바르게는 $\frac{1}{3}S$이다.

④ O
- a에서 b까지 걸린 시간은 $\frac{3}{8}T_0$이고, b에서 c까지 쓸고 지나간 면적은 a에서 b까지의 면적 S의 $\frac{1}{3}$이다. 따라서 ㄱ은 $\frac{3}{8}T_0$, ㄴ은 $\frac{1}{3}S$이다.

⑤ X
- ㄱ의 $\frac{3}{8}T_0$는 맞지만, ㄴ을 $\frac{1}{2}S$로 둔 것이 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{2}S$ → 올바르게는 $\frac{1}{3}S$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 b에서 c까지의 시간이 $\frac{1}{8}T_0$라고 해서 그 면적을 전체의 $\frac{1}{8}$로만 처리하거나, a에서 c까지가 반 주기라는 점을 놓치는 것이다. ㄴ은 전체 면적과 직접 비교하는 값이 아니라, a에서 b까지의 면적 S와 비교해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

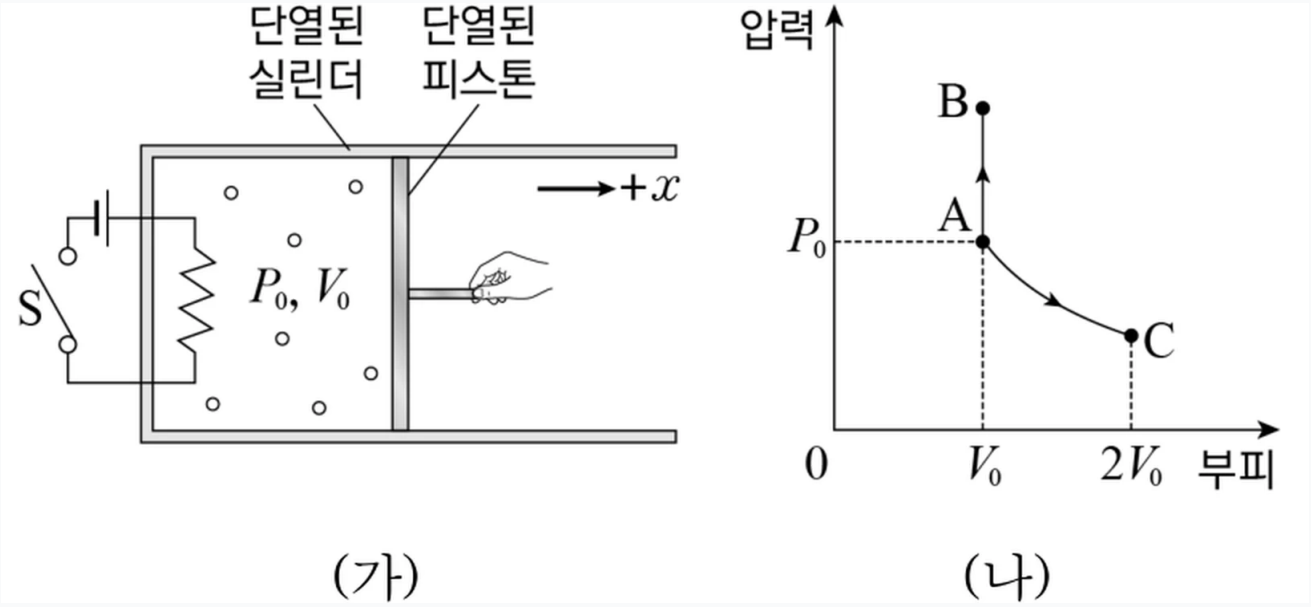
타원 궤도에서 행성과 위성을 잇는 선이 쓸고 지나간 면적이 나오면 케플러 제2법칙으로 시간비와 면적비를 같게 둔다. 근일점에서 원일점까지 또는 원일점에서 근일점까지는 반 주기라는 점을 먼저 잡고, 필요한 구간의 시간비로 면적비를 계산한다.

암기 포인트

타원 궤도에서는 빠르기가 일정하지 않지만 면적속도는 일정하다. 근일점에서 원일점까지는 $\frac{1}{2}T_0$, 면적비는 시간비이다.

NoteBase

문 11. 그림 (가)와 같이 이상 기체가 들어 있는 실린더에 막대와 연결된 피스톤이 정지해 있다. 그림 (나)는 (가)에서 스위치 S를 닫아 기체에 열을 공급하며 피스톤에 힘을 주어, 기체가 A 상태에서 각각 B, C 상태로 변화할 때 압력과 부피를 나타낸 것이다. A→B는 등적 과정, A→C는 등온 과정이고, B, C 상태에서 피스톤은 정지해 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 P_0으로 일정하고, 피스톤의 마찰과 막대의 질량은 무시한다)



<보기>

ㄱ. A→B 과정에서 기체가 흡수한 열량과 내부 에너지의 증가량은 같다.

ㄴ. A→C 과정에서 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 감소한다.

ㄷ. C 상태에서 손이 피스톤에 작용한 힘의 방향은 $-x$방향이다.

① ㄱ

② ㄷ

③ ㄱ, ㄴ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상 기체의 등적 과정, 등온 과정, 열역학 제1법칙, 피스톤의 힘의 평형을 이용해 보기 ㄱ, ㄴ, ㄷ의 참거짓을 판단하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

초기 A 상태는 압력 P_0, 부피 V_0이다.
$A \to B$는 부피가 V_0로 일정한 등적 과정이다.
$A \to C$는 온도가 일정한 등온 과정이고, C의 부피는 $2V_0$이다.
대기압은 항상 P_0이고, B와 C에서 피스톤은 정지해 있다.

사용할 공식

열역학 제1법칙은 $Q = \Delta U + W$이다. 여기서 W는 기체가 외부에 한 일이다.
이상 기체의 내부 에너지와 분자 1개의 평균 운동 에너지는 온도에만 비례한다.
등온 과정에서는 $PV = \text{constant}$가 성립한다.
이 공식을 쓰는 이유는 ㄱ은 등적 과정의 일, ㄴ은 등온 과정의 온도, ㄷ은 C 상태의 압력과 피스톤에 작용하는 힘의 평형을 묻기 때문이다.

계산 과정

1. $A \to B$는 부피가 변하지 않으므로 기체가 한 일은 $W = 0$이다. 따라서 $Q = \Delta U$가 된다.
2. $A \to C$는 등온 과정이므로 온도는 일정하고, 이상 기체 분자의 평균 운동 에너지도 일정하다.
3. C 상태에서는 $P_C(2V_0) = P_0V_0$이므로 $P_C = \frac{P_0}{2}$이다.
4. C에서 기체는 피스톤을 $+x$방향으로 $P_CA = \frac{P_0A}{2}$만큼 밀고, 대기는 피스톤을 $-x$방향으로 P_0A만큼 민다.
압력에 의한 합력은 $-x$방향이므로 피스톤을 정지시키려면 손은 $+x$방향으로 힘을 작용해야 한다.

NoteBase

선지 판단

ㄱ. O
- $A \rightarrow B$는 등적 과정이므로 $W = 0$이다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 내부 에너지 증가량과 같다.

ㄴ. X
- 등온 과정에서는 온도가 일정하고, 이상 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 온도에만 비례한다. 틀린 표현은 '평균 운동 에너지는 감소한다'이고, 올바르게는 '평균 운동 에너지는 일정하다'이다.

ㄷ. X
- C에서 기체 압력은 $P_0/2$이고 대기압은 P_0이므로, 대기압이 피스톤을 $-x$방향으로 더 크게 민다. 피스톤을 정지시키려면 손의 힘은 $+x$방향이어야 한다. 틀린 표현은 '손이 피스톤에 작용한 힘의 방향은 $-x$방향'이고, 올바르게는 '$+x$방향'이다.

① O
- ㄱ만 옳으므로 정답 조합과 일치한다.

② X
- ㄷ은 틀린 보기이므로 정답 조합이 아니다. 올바른 조합은 ㄱ이다.

③ X
- ㄴ은 틀린 보기이므로 정답 조합이 아니다. 올바른 조합은 ㄱ이다.

④ X
- ㄴ, ㄷ이 모두 틀린 보기이므로 정답 조합이 아니다. 올바른 조합은 ㄱ이다.

⑤ X
- ㄴ, ㄷ이 틀린 보기이므로 세 보기 모두 옳다는 조합은 성립하지 않는다. 올바른 조합은 ㄱ이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 '열을 공급했다'는 말만 보고 모든 과정에서 내부 에너지가 증가한다고 생각하는 것이다. 이상 기체의 평균 운동 에너지는 온도만으로 판단한다. 또 C에서는 기체가 팽창했더라도 최종 압력 $P_0/2$가 대기압 P_0보다 작으므로, 손은 대기압을 이기도록 $+x$방향으로 당겨야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

피스톤 문제는 먼저 그래프에서 과정의 종류를 읽고, 등적이면 $W = 0$, 등온 이상 기체이면 $\Delta U = 0$과 평균 운동 에너지 일정, 정지한 피스톤이면 양쪽 압력과 외력을 힘의 평형으로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

이상 기체는 온도가 평균 운동 에너지를 정한다. 등적 과정은 $Q = \Delta U$, 등온 과정은 평균 운동 에너지 일정, 정지한 피스톤은 힘의 평형이다.

NoteBase

문 12. 질량이 1kg이고 온도가 94°C인 금속을 단열용기에 담긴 5°C의 물 500g에 넣었더니, 열평형 온도 10°C에 도달하였다. 금속의 비열은? (단, 물의 비열은 4, 200J/kg · °C이다)

① 12.5J/kg · °C

② 25J/kg · °C

③ 125J/kg · °C

④ 250J/kg · °C

⑤ 1, 250J/kg · °C

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단열용기 안에서 금속이 잃은 열량과 물이 얻은 열량이 같다는 열평형 원리를 이용해 금속의 비열을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 금속의 질량 $1kg$, 금속의 처음 온도 $94^\circ C$, 물의 질량 $500g = 0.5kg$, 물의 처음 온도 $5^\circ C$, 열평형 온도 $10^\circ C$, 물의 비열 $4, 200J/(kg \cdot ^\circ C)$이다.
구해야 할 값: 금속의 비열 c이다.
주의할 조건: 단열용기이므로 외부로 열이 빠져나가지 않아 금속이 잃은 열량이 물이 얻은 열량과 같다.

사용할 공식

열량 공식은 $Q = mc\Delta T$이다.
단열 열평형에서는 Q_금속이 잃은 열=Q_물이 얻은 열로 둔다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 금속과 물이 같은 최종 온도 $10^\circ C$에 도달했고, 단열용기라고 했으므로 두 물체 사이의 열교환만 고려하면 된다.

계산 과정

1. 물이 얻은 열량은 $0.5 \times 4, 200 \times (10 - 5) = 10, 500J$이다.
2. 금속이 잃은 열량은 $1 \times c \times (94 - 10) = 84cJ$이다.
3. 단열 조건에서 $84c = 10, 500$이므로 $c = 125J/(kg \cdot ^\circ C)$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- $12.5J/(kg\cdot^\circ C)$는 계산 결과 $125J/(kg\cdot^\circ C)$보다 10분의 1로 작다. 틀린 표현 $12.5J/(kg\cdot^\circ C)$ → 올바르게는 $125J/(kg\cdot^\circ C)$이다.

② X
- $25J/(kg\cdot^\circ C)$는 물이 얻은 열량 $10,500J$를 금속의 온도 변화 $84^\circ C$로 나눈 값과 맞지 않는다. 틀린 표현 $25J/(kg\cdot^\circ C)$ → 올바르게는 $125J/(kg\cdot^\circ C)$이다.

③ O
- 금속의 비열은 $c = 10,500/84 = 125J/(kg\cdot^\circ C)$이므로 ③이 계산 결과와 일치한다.

④ X
- $250J/(kg\cdot^\circ C)$는 계산 결과의 2배이다. 틀린 표현 $250J/(kg\cdot^\circ C)$ → 올바르게는 $125J/(kg\cdot^\circ C)$이다.

⑤ X
- $1,250J/(kg\cdot^\circ C)$는 계산 결과의 10배이다. 틀린 표현 $1,250J/(kg\cdot^\circ C)$ → 올바르게는 $125J/(kg\cdot^\circ C)$이다.

계산 결과가 $125J/(kg\cdot^\circ C)$이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 물의 질량 $500g$을 $0.5kg$으로 바꾸지 않거나, 금속의 온도 변화를 $94-10=84^\circ C$가 아니라 다른 값으로 잡는 데 있다. 특히 ①과 ⑤처럼 10배 차이가 나는 선택지는 g와 kg의 단위 변환 실수와 연결된다.

다시 나오면 이렇게 판단

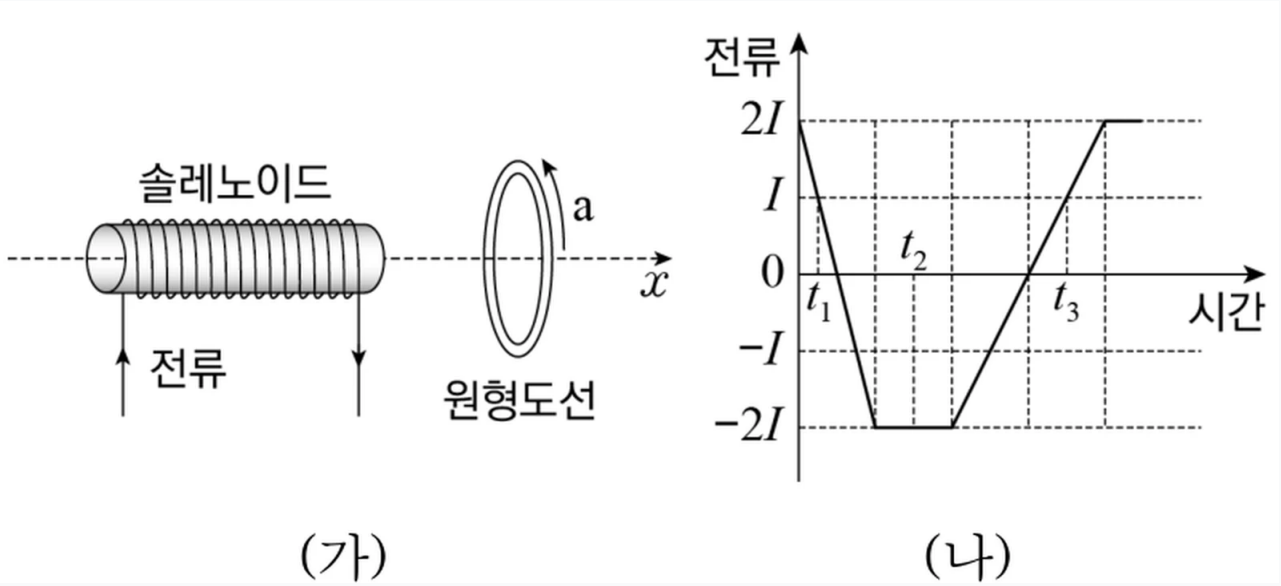
단열 열평형 문제는 먼저 각 물체의 질량을 kg 단위로 통일하고, 온도 변화량을 각각 구한 뒤, 뜨거운 물체가 잃은 열량과 차가운 물체가 얻은 열량을 같게 놓아 판단한다.

암기 포인트

단열 열평형에서는 $mc\Delta T$의 합이 보존되고, 뜨거운 물체의 감소 열량은 차가운 물체의 증가 열량과 같다.

NoteBase

문 13. 그림 (가)는 중심축이 x축인 솔레노이드와 중심이 x축상에 있는 원형 도선이 각각 x축에 고정되어 있고, t_1일 때 솔레노이드에 화살표 방향으로 전류가 흐르는 모습을 나타낸 것이다. 그림 (나)는 솔레노이드에 흐르는 전류를 시간에 따라 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



<보기>

ㄱ. t_1일 때, 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 a 방향이다.

ㄴ. t_2일 때, 원형 도선에는 유도 전류가 일정하게 흐른다.

ㄷ. 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1일 때가 t_3일 때보다 크다.

① ㄱ

② ㄷ

③ ㄱ, ㄴ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 패러데이 법칙과 렌츠 법칙을 이용해 원형 도선의 유도 전류 방향과 세기를 판단하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

솔레노이드와 원형 도선의 중심축은 모두 x축이다.
그림 (가)의 화살표 방향을 솔레노이드 전류의 양의 방향으로 보면, 솔레노이드 내부 자기장은 $+x$방향이다.
원형 도선의 a방향 전류는 원형 도선 중심에서 $-x$방향 자기장을 만든다.
유도 전류는 솔레노이드 전류 I_s의 순간값이 아니라 dI_s/dt, 즉 그래프의 기울기에 의해 결정된다.

사용할 공식

유도 기전력은
$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
이다.
솔레노이드가 만드는 자기선속은 솔레노이드 전류에 비례하므로 원형 도선에 생기는 유도 전류의 세기는 $|dI_s/dt|$에 비례한다. 부호는 렌츠 법칙에 따라 자기선속의 변화를 방해하는 방향으로 정해진다.

계산 과정

1. t_1에서는 솔레노이드 전류 그래프가 감소하므로 $dI_s/dt < 0$이다. $+x$방향 자기선속이 감소하므로 원형 도선은 이를 보충하려고 $+x$방향 자기장을 만든다. 따라서 유도 전류 방향은 a방향의 반대이다.
2. t_2에서는 그래프가 수평이므로 $dI_s/dt = 0$이다. 자기선속이 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.
3. t_3에서는 그래프가 증가하므로 유도 전류가 생기지만, 그래프의 기울기 절댓값은 t_1에서 더 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 t_1일 때가 t_3일 때보다 크다.

NoteBase

선지 판단

ㄱ. X
- t_1에서 솔레노이드 전류가 감소하므로 원형 도선은 감소하는 $+x$방향 자기선속을 보충해야 한다. 따라서 원형 도선의 유도 전류는 $+x$방향 자기장을 만드는 방향이고, 이는 a방향이 아니라 그 반대 방향이다. 틀린 표현은 "a방향"이고, 올바르게는 "a방향의 반대 방향"이다.

ㄴ. X
- t_2에서 솔레노이드 전류는 $-2I$로 일정하므로 자기선속도 일정하다. 유도 전류는 전류의 크기가 0이 아닌지보다 자기선속이 변하는지에 의해 결정되므로, 이때 원형 도선에는 유도 전류가 흐르지 않는다. 틀린 표현은 "유도 전류가 일정하게 흐른다"이고, 올바르게는 "유도 전류가 흐르지 않는다"이다.

ㄷ. O
- 유도 전류의 세기는 그래프 기울기 절댓값 $|dI_S/dt|$에 비례한다. 그림 (나)에서 t_1이 있는 감소 구간의 기울기 절댓값이 t_3이 있는 증가 구간보다 크므로, 원형 도선에 흐르는 유도 전류의 세기는 t_1일 때가 t_3일 때보다 크다.

① ㄱ: X
- ㄱ이 틀렸으므로 ①은 옳은 보기 조합이 아니다.

② ㄷ: O
- ㄷ만 옳으므로 ②가 정답이다.

③ ㄱ, ㄴ: X
- ㄱ과 ㄴ이 모두 틀렸으므로 ③은 옳은 보기 조합이 아니다.

④ ㄴ, ㄷ: X
- ㄷ은 옳지만 ㄴ이 틀렸으므로 ④는 옳은 보기 조합이 아니다.

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ: X
- ㄱ과 ㄴ이 틀렸으므로 ⑤는 옳은 보기 조합이 아니다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 솔레노이드 전류의 순간값과 유도 전류를 직접 연결하게 만드는 것이다. 유도 전류는 전류값 자체가 아니라 자기선속의 변화율에 의해 생긴다. 그래서 t_2처럼 솔레노이드 전류가 $-2I$로 존재해도 일정하면 유도 전류는 0이고, t_1과 t_3의 세기 비교는 전류값이 아니라 그래프 기울기 절댓값으로 판단한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

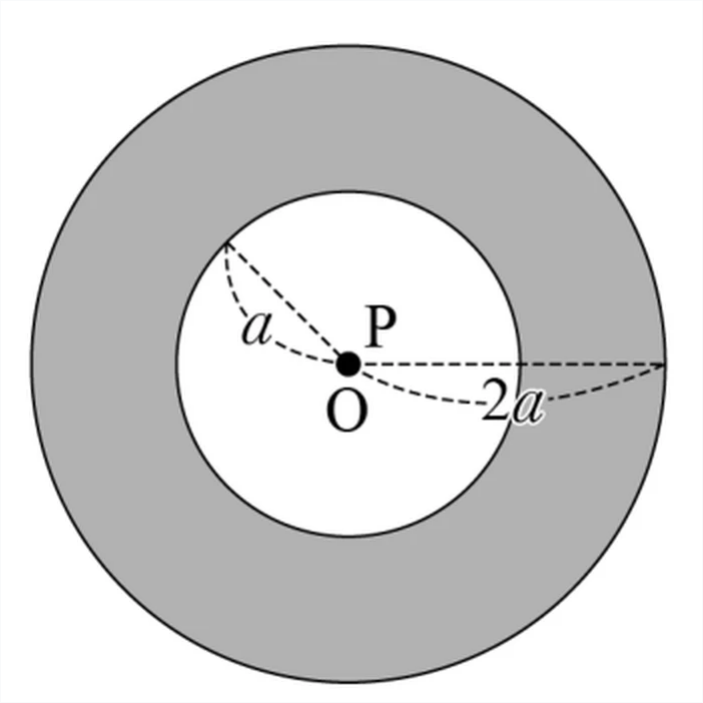
전자기 유도 그래프 문제는 먼저 그래프의 기울기 부호로 유도 전류의 방향을 정하고, 기울기 절댓값으로 유도 전류의 세기를 비교한다. 수평 구간은 자기선속 변화가 없으므로 유도 전류가 0이다.

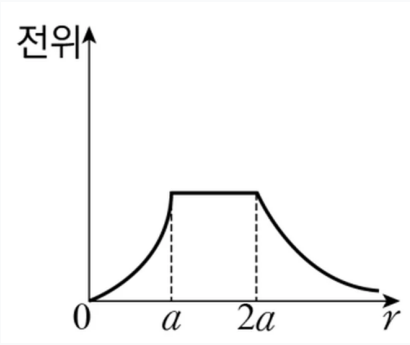
암기 포인트

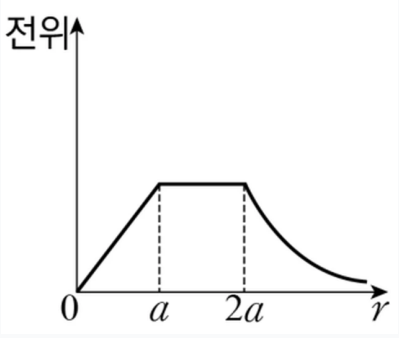
유도 전류는 I가 아니라 dI/dt를 본다. 방향은 변화를 방해하는 방향이고, 세기는 기울기 절댓값에 비례한다.

NoteBase

문 14. 그림은 안쪽 반지름이 a, 바깥쪽 반지름이 $2a$인 도체공 껍질의 중심 O에 점전하 P가 놓여있는 것을 나타낸 것이다. P는 양(+)전하이다. O에서부터 거리 r에 따라 전위를 나타낸 것으로 가장 적절한 것은? (단, O에서 무한히 먼 지점의 전위는 0이다)

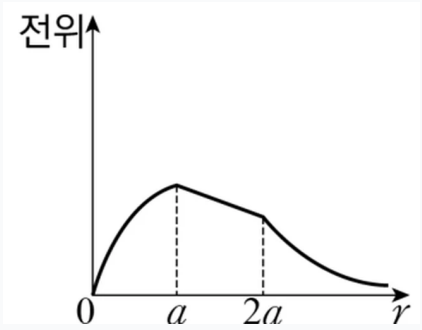


① 

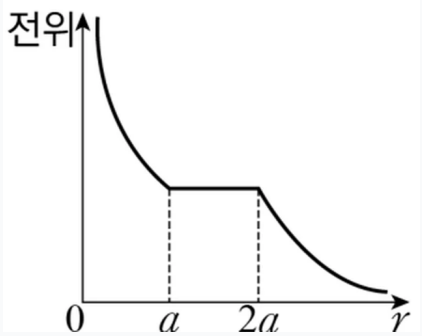
② 

NoteBase

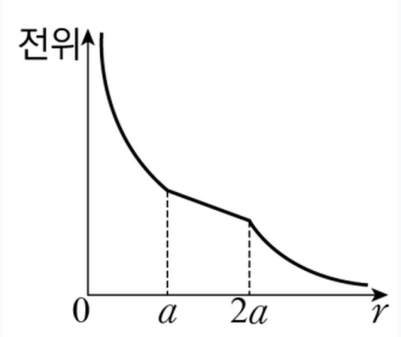
③



④



⑤



정답 4번

출제 포인트

이 문제는 중심에 양전하가 있는 도체 구 껍질에서 전위 $V(r)$가 구간별로 어떻게 변하는지 판단하는 문제이다.

조건 정리

안쪽 빈 공간은 $0 < r < a$, 도체 부분은 $a < r < 2a$, 바깥 공간은 $r > 2a$이다.
중심의 점전하 P는 양전하이므로 전위는 중심에 가까울수록 커진다.
무한히 먼 곳의 전위는 0으로 잡는다.
정전기 평형 상태의 도체 내부에서는 전기장이 0이므로 도체 전체의 전위가 일정하다.

사용할 공식

전기장과 전위의 관계는 $E = -dV/dr$이다.
정전기 평형의 도체 내부에서는 $E = 0$이므로 $dV/dr = 0$, 즉 전위가 일정하다.
구 껍질 바깥에서는 전체가 중심의 양전하처럼 작용하므로 전위가 대략 $V \propto 1/r$ 꼴로 0을 향해 감소한다.

NoteBase

계산 과정

1. $0 < r < a$에서는 중심 양전하에 가까워질수록 전위가 커지고, r이 증가하면 전위가 감소한다. 따라서 $r = 0$ 쪽에서 전위는 매우 크고 $r = a$까지 내려간다.
2. $a < r < 2a$는 도체 부분이다. 이 구간에서는 $E = 0$이므로 전위가 일정한 수평선이어야 한다.
3. $r > 2a$에서는 바깥 전위가 $1/r$ 꼴로 감소하여 무한대에서 0에 가까워진다.
4. 따라서 그래프는 중심 근처에서 크게 시작해 a까지 감소하고, a부터 $2a$까지 일정하며, $2a$ 밖에서 다시 감소하는 모양이어야 한다.

선지별 해설

① X

- $a < r < 2a$에서 전위가 일정한 점은 맞지만, $0 < r < a$에서 전위가 0에서 증가하는 모양이 틀리다. 중심의 양전하는 r이 작을수록 전위를 크게 만들므로, 올바르게는 $r = 0$ 쪽에서 매우 크고 $r = a$까지 감소해야 한다.

② X

- $a < r < 2a$와 $r > 2a$의 모양은 맞지만, $0 < r < a$를 직선 증가로 그린 것이 틀리다. 올바르게는 점전하 전위의 영향 때문에 중심 근처에서 크고 바깥으로 갈수록 감소하는 곡선이다.

③ X

- $r > 2a$에서 0을 향해 감소하는 점은 맞지만, 도체 내부인 $a < r < 2a$에서 전위가 기울어진 직선으로 감소하는 것이 틀리다. 올바르게는 도체 내부 전기장이 0이므로 이 구간의 전위는 일정해야 한다.

④ O

- $0 < r < a$에서 전위가 중심 근처에서 크고 a까지 감소하며, $a < r < 2a$에서 일정하고, $r > 2a$에서 0을 향해 감소한다. 도체 구 껍질과 중심 양전하의 전위 분포를 모두 만족한다.

⑤ X

- $0 < r < a$에서 감소하고 $r > 2a$에서 0을 향해 감소하는 경향은 맞지만, 도체 내부인 $a < r < 2a$를 기울어진 직선으로 그린 것이 틀리다. 올바르게는 a부터 $2a$까지 전위가 일정한 수평선이어야 한다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 도체 내부의 전기장과 전위를 혼동하는 것이다. 도체 내부에서 전기장이 0이라는 말은 전위가 0이라는 뜻이 아니라 전위가 일정하다는 뜻이다. 또 빈 공간 $0 < r < a$에서는 도체가 아니라 중심 점전하의 영향이 남아 있으므로 전위가 중심에서 멀어질수록 감소한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

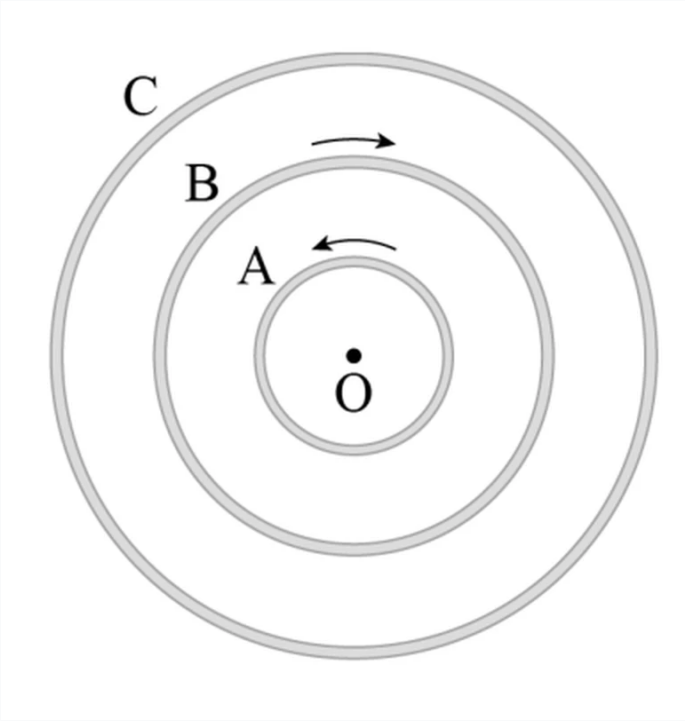
구간을 먼저 나누어 판단한다. 점전하가 있는 빈 공간에서는 V가 $1/r$ 성격을 가지며, 도체 물질 내부에서는 $E = 0$이라 전위가 일정하고, 바깥 공간에서는 무한대 전위 0을 향해 감소한다.

암기 포인트

도체 내부는 전위 0이 아니라 등전위이다. 중심 양전하 문제에서는 안쪽은 감소, 도체는 수평, 바깥은 0을 향해 감소로 기억한다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 중심이 O이고, 반지름이 r, $2r$, $3r$인 세 원형 도선 A, B, C가 종이면에 각각 고정되어 있다. A에는 반시계 방향으로 전류 I가 흐르고, B에는 시계 방향으로 전류 I가 흐른다. O에서 A, B, C에 의한 자기장의 세기는 0이다. C에 흐르는 전류의 방향과 세기로 옳은 것은?



① 전류의 방향: 해당 없음, 전류의 세기: 0

② 전류의 방향: 반시계 방향, 전류의 세기: $\frac{2}{3}I$

③ 전류의 방향: 시계 방향, 전류의 세기: $\frac{2}{3}I$

④ 전류의 방향: 반시계 방향, 전류의 세기: $\frac{3}{2}I$

⑤ 전류의 방향: 시계 방향, 전류의 세기: $\frac{3}{2}I$

정답 5번

출제 포인트

이 문제는 원형 도선 중심의 자기장 공식과 오른손 법칙을 이용해, 세 도선이 만드는 합성 자기장이 0이 되도록 C의 전류 방향과 세기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: A, B, C의 반지름은 각각 r, $2r$, $3r$이고, A에는 반시계 방향 전류 I, B에는 시계 방향 전류 I가 흐른다.
구해야 할 값: C에 흐르는 전류의 방향과 세기이다.
주의할 조건: 원형 도선 중심의 자기장 크기는 반지름에 반비례하고, 반시계 방향 전류는 종이면 밖, 시계 방향 전류는 종이면 안쪽 자기장을 만든다.

NoteBase

사용할 공식

원형 도선 중심의 자기장 크기는
$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 세 도선이 모두 중심 O가 같은 원형 도선이고, 물어보는 자기장이 바로 중심 O에서의 자기장이므로 각 도선의 자기장을 이 공식으로 비교할 수 있다.

계산 과정

1. A의 반지름은 r이므로 자기장 크기는 $B_A = \frac{\mu_0 I}{2r}$이다. A의 전류는 반시계 방향이므로 자기장 방향은 종이면 밖이다.
2. B의 반지름은 $2r$이므로 자기장 크기는 $B_B = \frac{\mu_0 I}{2 \cdot 2r} = \frac{\mu_0 I}{4r}$이다. B의 전류는 시계 방향이므로 자기장 방향은 종이면 안쪽이다.
3. A와 B의 합성 자기장은 $\frac{\mu_0 I}{2r} - \frac{\mu_0 I}{4r} = \frac{\mu_0 I}{4r}$이고, 방향은 종이면 밖이다.
4. 전체 자기장이 0이 되려면 C는 종이면 안쪽 자기장을 만들어야 하므로 전류 방향은 시계 방향이다.
5. C의 반지름은 $3r$이므로 $B_C = \frac{\mu_0 I_C}{2 \cdot 3r} = \frac{\mu_0 I_C}{6r}$이다. 이를 $\frac{\mu_0 I}{4r}$와 같게 두면 $\frac{\mu_0 I_C}{6r} = \frac{\mu_0 I}{4r}$, 따라서 $I_C = \frac{3}{2} I$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- A와 B만으로는 $\frac{\mu_0 I}{4r}$ 크기의 종이면 밖 방향 자기장이 남으므로 C에 전류가 필요하다. 틀린 표현 '해당 없음, 0'은 올바르게는 '시계 방향, $\frac{3}{2}I$'이다.

② X
- 반시계 방향 전류는 종이면 밖 방향 자기장을 만들어 A와 B의 남은 자기장을 상쇄하지 못하고 더한다. 또한 필요한 세기는 $\frac{2}{3}I$가 아니라 $\frac{3}{2}I$이다. 틀린 표현 '반시계 방향, $\frac{2}{3}I$'은 올바르게는 '시계 방향, $\frac{3}{2}I$'이다.

③ X
- 방향은 시계 방향이 맞지만, C의 반지름이 $3r$이어서 필요한 전류는 $\frac{\mu_0 I_C}{6r} = \frac{\mu_0 I}{4r}$를 만족하는 $\frac{3}{2}I$이다. 틀린 표현 '$\frac{2}{3}I$'은 올바르게는 '$\frac{3}{2}I$'이다.

④ X
- 세기 $\frac{3}{2}I$는 맞지만, 반시계 방향이면 C도 종이면 밖 방향 자기장을 만들어 전체 자기장이 0이 되지 않는다. 틀린 표현 '반시계 방향'은 올바르게는 '시계 방향'이다.

⑤ O
- C에 시계 방향으로 $\frac{3}{2}I$가 흐르면 C의 자기장은 종이면 안쪽이고 크기는 $\frac{\mu_0 (3I/2)}{6r} = \frac{\mu_0 I}{4r}$이다. 이는 A와 B가 남긴 종이면 밖 방향 자기장을 정확히 상쇄한다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 반지름이 커질수록 같은 전류가 만드는 중심 자기장이 작아진다는 점이다. C의 반지름이 $3r$이므로 A와 B의 남은 자기장 $\frac{\mu_0 I}{4r}$를 상쇄하려면 전류가 $\frac{2}{3}I$가 아니라 $\frac{3}{2}I$가 되어야 한다. 또 반시계 방향과 시계 방향이 만드는 자기장 방향을 반대로 잡으면 ④를 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

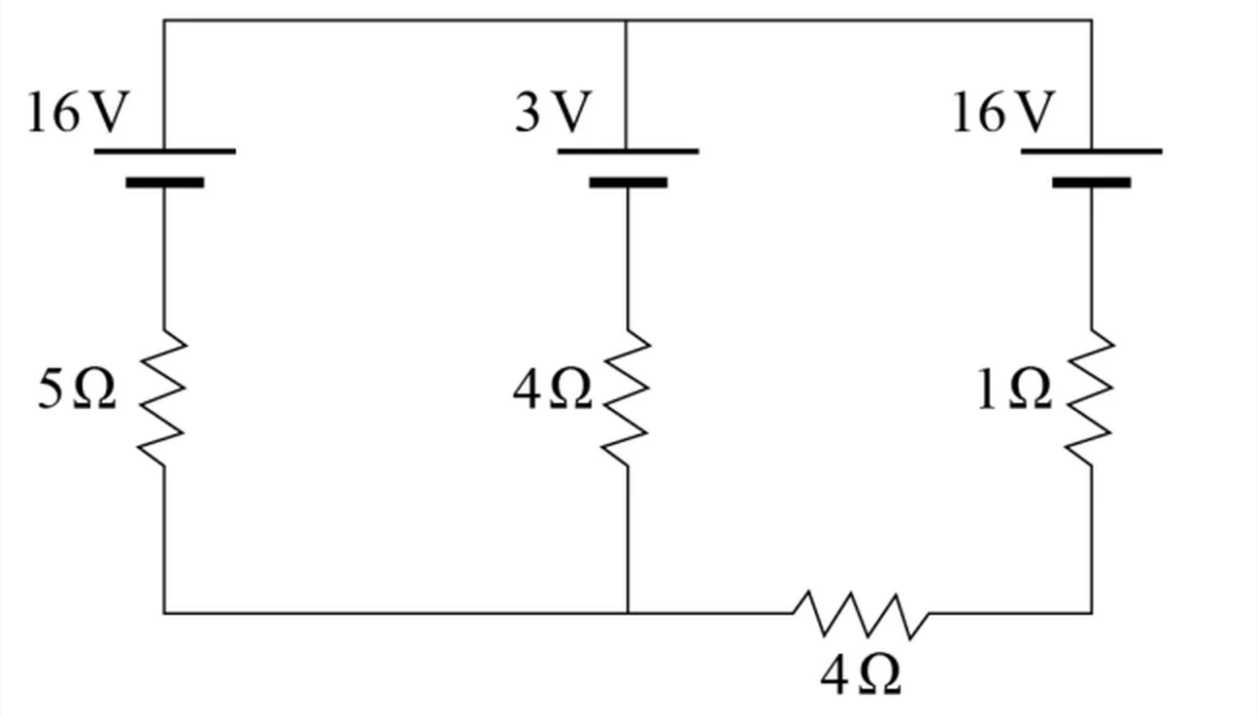
동심 원형 도선 문제는 먼저 오른손 법칙으로 각 도선의 자기장 방향을 정하고, 그다음 $B \propto \frac{I}{R}$ 관계로 크기를 비교한다. 전체 자기장이 0이라는 조건은 남은 자기장과 크기는 같고 방향은 반대인 자기장을 추가한다는 뜻이다.

암기 포인트

원형 도선 중심 자기장은 $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$이고, 반시계 방향은 종이면 밖, 시계 방향은 종이면 안쪽이다.

NoteBase

문 16. 그림의 회로에서 5Ω 저항에 흐르는 전류의 세기는?



① 4A
② 2A
③ 1A
④ 0.5A
⑤ 0.1A

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 여러 전원과 저항이 연결된 회로에서 키르히호프 전류 법칙과 옴의 법칙을 이용해 5Ω 저항의 전류 세기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 왼쪽 가지는 16V 전지와 5Ω 저항, 가운데 가지는 3V 전지와 4Ω 저항, 오른쪽 가지는 16V 전지와 1Ω 저항, 아래쪽 연결 저항은 4Ω이다.
구해야 할 값: 왼쪽 5Ω 저항에 흐르는 전류의 세기이다.
주의할 조건: 세기는 방향이 아니라 전류의 절댓값으로 판단한다. 전지의 긴 판이 위쪽이므로 세 전지의 위쪽 단자가 모두 양극이다.

NoteBase

사용할 공식

옴의 법칙과 키르히호프 전류 법칙을 사용한다.

$I = \frac{V}{R}$

$\sum I = 0$

이 공식을 쓰는 이유: 회로의 위쪽 도선은 하나의 공통 노드이고, 아래쪽은 왼쪽·가운데 공통 노드와 오른쪽 아래 노드가 4Ω 저항으로 이어져 있으므로 노드 전압을 잡아 각 가지 전류를 계산해야 한다.

계산 과정

왼쪽·가운데 아래 공통 노드를 $0V$, 위쪽 공통 노드를 V_A, 오른쪽 아래 노드를 V_C라고 둔다. 위에서 아래로 흐르는 전류를 양의 방향으로 잡으면 왼쪽 가지 전류는 $(V_A - 16)/5$, 가운데 가지 전류는 $(V_A - 3)/4$, 오른쪽 가지 전류는 $V_A - V_C - 16$이다.

위쪽 노드에서 KCL을 적용하면

$\frac{V_A - 16}{5} + \frac{V_A - 3}{4} + (V_A - V_C - 16) = 0$

오른쪽 아래 노드에서 KCL을 적용하면

$(V_C - V_A + 16) + \frac{V_C}{4} = 0$

두 번째 식을 V_A에 대해 정리하면 $V_A = V_C + 16 + \frac{V_C}{4} = 16 + \frac{5V_C}{4}$이다.

이것을 첫 번째 식의 각 항에 대입한다. $V_A - 16 = \frac{5V_C}{4}$이므로 첫 항은 $\frac{V_A - 16}{5} = \frac{V_C}{4}$이고, 셋째 항은 $V_A - V_C - 16 = \frac{5V_C}{4} - V_C = \frac{V_C}{4}$이며, 둘째 항은 $\frac{V_A - 3}{4} = \frac{13 + \frac{5V_C}{4}}{4} = \frac{13}{4} + \frac{5V_C}{16}$이다.

세 항을 모두 더하면

$\frac{V_C}{4} + \frac{13}{4} + \frac{5V_C}{16} + \frac{V_C}{4} = 0$

V_C 항끼리 통분하면 $\frac{4V_C + 5V_C + 4V_C}{16} = \frac{13V_C}{16}$이므로 $\frac{13V_C}{16} = -\frac{13}{4}$이고, 양변에 $\frac{16}{13}$을 곱하면 $V_C = -4V$이다.

이 값을 $V_A = 16 + \frac{5V_C}{4}$에 넣으면 $V_A = 16 - 5 = 11V$이다.

따라서 5Ω 저항 가지의 전류는

$I_5 = \frac{11 - 16}{5} = -1A$

이다. 음수는 처음 잡은 방향과 반대로 흐른다는 뜻이므로 전류의 세기는 $1A$이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- 계산 결과 전류의 세기는 $1A$이므로 $4A$는 맞지 않다. 틀린 표현 $4A$ → 올바르게는 $1A$이다.

② X
- 5Ω 저항에 걸리는 전압의 크기는 $5V$이고, $I = V/R$에 따라 전류는 $5V/5\Omega = 1A$이다. 틀린 표현 $2A$ → 올바르게는 $1A$이다.

③ O
- 노드 방정식으로 구한 왼쪽 가지 전류는 $-1A$이고, 전류의 세기는 절댓값이므로 $1A$이다.

④ X
- $0.5A$라면 5Ω 저항의 전압 강하가 $2.5V$이어야 하지만 실제 전압 차의 크기는 $5V$이다. 틀린 표현 $0.5A$ → 올바르게는 $1A$이다.

⑤ X
- $0.1A$라면 5Ω 저항의 전압 강하가 $0.5V$에 불과해야 하므로 회로 방정식 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현 $0.1A$ → 올바르게는 $1A$이다.

계산 결과 $1A$이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 전지가 여러 개라서 단순히 왼쪽 전지 $16V$를 5Ω으로 나누면 안 된다는 점이다. 또한 $I_5 = -1A$처럼 음수가 나오면 답이 음전류라는 뜻이 아니라, 처음 정한 전류 방향과 반대 방향으로 $1A$가 흐른다는 뜻이다.

다시 나오면 이렇게 판단

여러 가지가 공통 노드에 연결된 회로는 기준 노드를 정하고 각 가지 전류를 노드 전압으로 표현한 뒤 KCL을 적용한다. 전류의 방향을 임의로 잡아도 되며, 최종적으로 전류의 세기를 물으면 절댓값으로 판단한다.

암기 포인트

전류의 부호는 방향, 전류의 세기는 절댓값이다. 복잡한 전원 회로는 I=(노드전압-전지전압)/R 꼴로 가지 전류를 세운 뒤 KCL로 푼다.

NoteBase

문 17. RLC회로를 이용하여 5×10^8rad/s의 신호를 수신하는 공진회로를 만들었다. 회로의 저항은 100Ω, 인덕턴스는 2μH이다. 축전기의 전기 용량은?

① 2.5×10^{-9}F

② 2.5×10^{-12}F

③ 2×10^{-6}F

④ 2×10^{-9}F

⑤ 2×10^{-12}F

정답 5번

출제 포인트

이 문제는 RLC 공진회로의 공진각주파수 공식 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$를 이용해 축전기의 전기용량 C를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공진각주파수 $\omega_0 = 5 \times 10^8 rad/s$, 인덕턴스 $L = 2\mu H = 2 \times 10^{-6} H$, 저항 $R = 100\Omega$이다.
구해야 할 값: 축전기의 전기용량 C이다.
주의할 조건: μH는 $10^{-6} H$로 바꾸어 계산한다. 이상적인 RLC 공진 주파수 ω_0 계산에서 저항 R은 직접 사용하지 않는다.

사용할 공식

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
공진회로에서 유도 리액턴스와 용량 리액턴스의 크기가 같아지는 조건을 각주파수로 나타낸 공식이다. 이 식을 C에 대해 풀면 $C = \frac{1}{\omega_0^2 L}$ 이 된다.

계산 과정

1. 인덕턴스를 SI 단위로 바꾼다.
$2\mu H = 2 \times 10^{-6} H$
2. 공진각주파수의 제곱을 계산한다.
$(5 \times 10^8)^2 = 25 \times 10^{16} = 2.5 \times 10^{17}$
3. $C = 1/(\omega_0^2 L)$에 대입한다.
$C = \frac{1}{(2.5 \times 10^{17})(2 \times 10^{-6})} = \frac{1}{5 \times 10^{11}} = 2 \times 10^{-12} F$
따라서 축전기의 전기용량은 $2 \times 10^{-12} F$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: $2.5 \times 10^{-9} F$는 계산 결과 $2 \times 10^{-12} F$보다 10^{3}배 이상 크다. 틀린 표현 $2.5 \times 10^{-9} F$는 올바르게는 $2 \times 10^{-12} F$이다.
② X: $2.5 \times 10^{-12} F$는 지수는 같지만 계수가 다르다. $(5 \times 10^{8})^{2}$와 2×10^{-6}을 곱하면 분모가 5×10^{11}이므로 올바르게는 $2 \times 10^{-12} F$이다.
③ X: $2 \times 10^{-6} F$는 인덕턴스의 μ 단위와 축전기 용량 단위를 혼동한 값에 가깝다. 틀린 표현 $2 \times 10^{-6} F$는 올바르게는 $2 \times 10^{-12} F$이다.
④ X: $2 \times 10^{-9} F$는 μH를 $10^{-6} H$로 바꾸는 과정이나 지수 계산에서 세 자릿수 차이가 난 값이다. 올바른 전기용량은 $2 \times 10^{-12} F$이다.
⑤ O: 계산 결과가 $2 \times 10^{-12} F$와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 저항 100Ω을 공식에 넣으려는 점과 $2\mu H$의 단위 변환을 놓치는 점이다. 이 문항의 공진각주파수 공식에서는 R이 아니라 L과 C만으로 ω_0가 정해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

RLC 공진 주파수 계산형 문제는 먼저 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$를 떠올리고, 구하는 미지수를 정리한 뒤 모든 단위를 SI 단위로 바꾸어 지수를 검산한다.

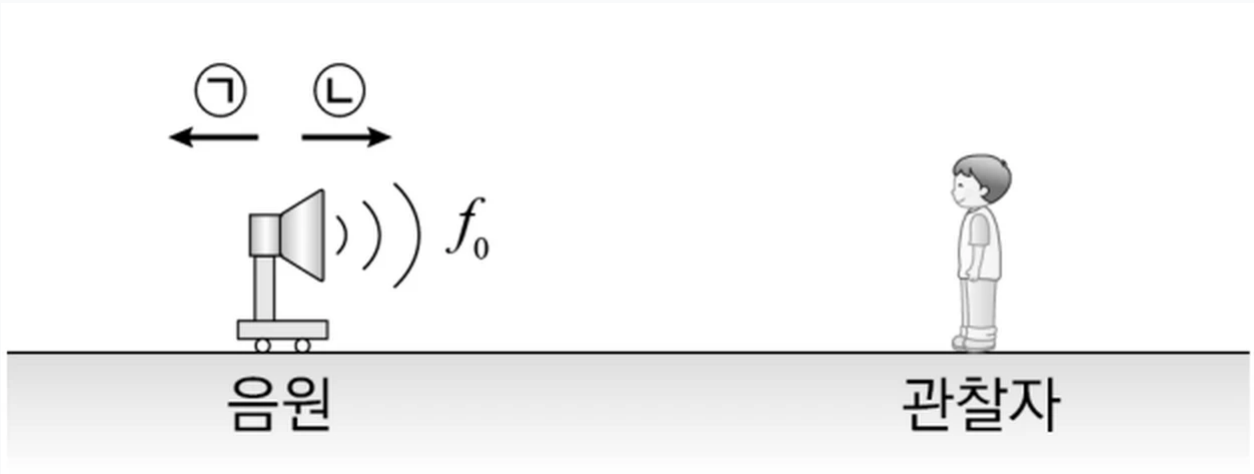
암기 포인트

RLC 공진각주파수는 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$이고, 축전기 용량은 $C = 1/(\omega_0^2 L)$로 바로 구한다.

NoteBase

문 18. 그림은 정지해 있는 관찰자와 동일 직선상에서 속력 v로 등속 직선 운동하는 음원을 나타낸 것이다. 음원에서 발생하는 음파의 진동수는 f_0이고, 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 f_1이다. 음원의 운동 방향은 유지한 채 속력만 $2v$로 변화했을 때, 관찰자가 측정한 음파의 진동수는 $\frac{6}{7}f_1$이다.

음원의 운동 방향과 v의 크기로 옳은 것은? (단, 음속은 V이다)



① 운동방향: ㉠, v의 크기: $\frac{1}{5}V$

② 운동방향: ㉠, v의 크기: $\frac{1}{4}V$

③ 운동방향: ㉠, v의 크기: $\frac{1}{3}V$

④ 운동방향: ㉡, v의 크기: $\frac{1}{5}V$

⑤ 운동방향: ㉡, v의 크기: $\frac{1}{4}V$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정지한 관찰자와 운동하는 음원 사이의 도플러 효과 공식을 이용해 음원의 운동 방향과 v의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 음속은 V, 음원의 고유 진동수는 f_0, 처음 관찰 진동수는 f_1이다.
구해야 할 값: 음원의 운동 방향과 v의 크기이다.
주의할 조건: 음원의 운동 방향은 유지되고 속력만 v에서 $2v$로 바뀐다. 관찰자가 측정한 진동수는 $\frac{6}{7}f_1$로 작아졌으므로, 속력이 커질 때 관찰 진동수가 더 작아지는 경우를 찾아야 한다.

NoteBase

사용할 공식

정지한 관찰자에 대해 음원이 멀어질 때
$f' = \frac{V}{V+v_s} f_0$
정지한 관찰자에 대해 음원이 가까워질 때
$f' = \frac{V}{V-v_s} f_0$
이 공식을 쓰는 이유: 관찰자는 정지해 있고 음원만 직선 운동하므로, 분모에 음원의 속력이 들어가는 운동 음원 도플러 효과 상황이다.

계산 과정

그림에서 ㄱ은 음원이 관찰자에게서 멀어지는 방향이고, ㄴ은 관찰자에게 가까워지는 방향이다.

ㄱ 방향이라고 두면 처음에는
$f_1 = \frac{V}{V+v} f_0$
이고, 속력이 $2v$가 된 뒤에는
$f_2 = \frac{V}{V+2v} f_0$
이다. 문제에서 $f_2 = \frac{6}{7} f_1$이므로
$\frac{f_2}{f_1} = \frac{V+v}{V+2v} = \frac{6}{7}$
이다. 따라서
$7(V+v) = 6(V+2v)$
$7V + 7v = 6V + 12v$
$V = 5v$
이므로
$v = \frac{1}{5} V$
이다.

반대로 ㄴ 방향이면 속력이 커질수록 음원은 관찰자에게 더 빠르게 가까워지므로 관찰 진동수는 증가한다.
그런데 문제에서는 관찰 진동수가 $\frac{6}{7} f_1$로 감소했으므로 ㄴ 방향은 조건과 맞지 않는다.

NoteBase

선지 판단

① O
- ㄱ 방향은 관찰자에게서 멀어지는 방향이다. 이때 $\frac{V+v}{V+2v}=\frac{6}{7}$에서 $v=\frac{1}{5}V$가 나오므로 옳다.

② X
- 방향 ㄱ은 맞지만 v의 크기가 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{4}V \rightarrow$ 올바르게는 $\frac{1}{5}V$이다.

③ X
- 방향 ㄱ은 맞지만 v의 크기가 틀리다. 틀린 표현 $\frac{1}{3}V \rightarrow$ 올바르게는 $\frac{1}{5}V$이다.

④ X
- $v=\frac{1}{5}V$라는 크기는 맞지만 방향이 틀리다. 틀린 표현 ㄴ → 올바르게는 ㄱ이다. ㄴ 방향이면 속력이 커질 때 관찰 진동수가 증가하므로 $\frac{6}{7}f_1$이 될 수 없다.

⑤ X
- 방향도 ㄴ으로 틀리고, v의 크기도 틀리다. 틀린 표현 ㄴ, $\frac{1}{4}V \rightarrow$ 올바르게는 ㄱ, $\frac{1}{5}V$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 도플러 효과에서 분모의 부호를 운동 방향과 연결하는 부분이다. 음원이 관찰자에게서 멀어지면 분모가 $V+v_s$가 되어 속력이 커질수록 관찰 진동수가 감소한다. 문제에서 진동수가 $\frac{6}{7}f_1$로 줄었으므로 ㄱ 방향을 먼저 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

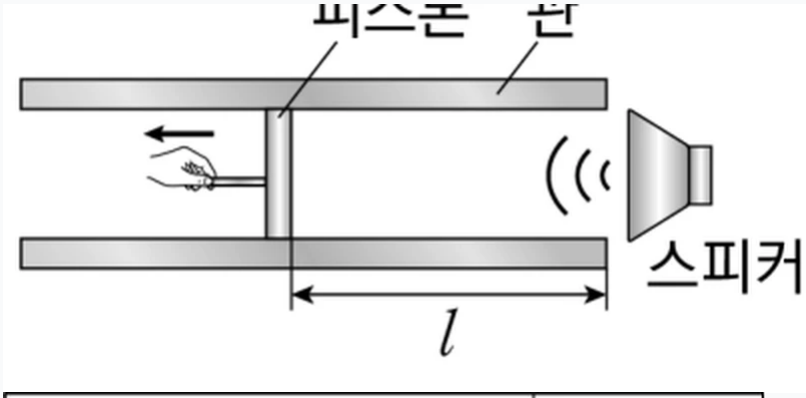
운동 음원 도플러 문제는 관찰 진동수가 증가하는지 감소하는지를 먼저 본다. 가까워지는 음원은 진동수가 커지고, 멀어지는 음원은 진동수가 작아진다. 그다음 처음 속력과 바뀐 속력의 관찰 진동수 비를 세워 v를 구한다.

암기 포인트

정지 관찰자와 운동 음원에서는 가까워질 때 $V-v_s$, 멀어질 때 $V+v_s$가 분모에 들어간다. 멀어지는 음원은 더 빨리 멀어질수록 관찰 진동수가 더 작아진다.

NoteBase

문 19. 그림은 피스톤이 움직일 수 있는 관의 끝에 스피커를 놓은 후, 스피커에서 진동수가 f인 소리를 발생시키는 모습을 나타낸 것이다. 표는 피스톤을 왼쪽으로 천천히 움직이면서 소리가 크게 들릴 때, 관의 끝에서 피스톤까지의 거리 l을 측정한 것이다. f는? (단, 소리의 속력은 340m/s이다)



피스톤의 위치	l(cm)
첫 번째로 소리가 크게 들릴 때	8.5
두 번째로 소리가 크게 들릴 때	25.5

① 800Hz

② 1,000Hz

③ 1,250Hz

④ 1,600Hz

⑤ 2,000Hz

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 한쪽 끝이 피스톤으로 막힌 관에서 연속해서 소리가 크게 들리는 위치 차이를 이용해 파장과 진동수 f를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값: 첫 번째 공명 위치 $l_1 = 8.5cm$, 두 번째 공명 위치 $l_2 = 25.5cm$, 소리의 속력 $v = 340m/s$이다.
구해야 할 값: 스피커 소리의 진동수 f이다.
주의할 조건: 피스톤을 움직이며 소리가 크게 들리는 두 이웃한 위치의 간격은 $\lambda/2$이고, 길이 단위는 cm에서 m로 바꾸어 계산한다.

사용할 공식

$\Delta l = \frac{\lambda}{2}$
$v = f\lambda$
이 공식을 쓰는 이유: 관의 한쪽 끝은 피스톤 때문에 닫힌 끝이고 스피커 쪽은 열린 끝이므로 공명 길이는 홀수배 $\lambda/4$ 조건을 따른다. 따라서 첫 번째 공명과 두 번째 공명처럼 이웃한 공명 길이의 차이는 $\lambda/2$가 된다.

계산 과정

1. 연속해서 소리가 크게 들린 위치 차이를 구한다.
$\Delta l = 25.5cm - 8.5cm = 17.0cm$
2. 이 차이가 $\lambda/2$이므로 파장은 다음과 같다.
$\lambda = 2\Delta l = 34.0cm = 0.340m$
3. 파동의 속력 관계식 $v = f\lambda$에서 진동수를 구한다.
$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340m/s}{0.340m} = 1000Hz$
따라서 계산 결과는 $1000Hz$이다.

NoteBase

선지 판단

① X

- 800Hz는 계산 결과 1000Hz와 다르다. 틀린 표현은 800 Hz이고, 올바르게는 1,000 Hz이다.

② O

- 연속 공명 위치 차이 17.0cm를 $\lambda/2$로 두면 $\lambda = 0.340m$이고, $f = 340/0.340 = 1000Hz$가 된다.

③ X

- 1250Hz는 계산 결과보다 크다. 틀린 표현은 1,250 Hz이고, 올바르게는 1,000 Hz이다.

④ X

- 1600Hz는 연속 공명 간격 17.0cm에서 나온 파장 0.340m와 맞지 않는다. 틀린 표현은 1,600 Hz이고, 올바르게는 1,000 Hz이다.

⑤ X

- 2000Hz는 17.0cm를 그대로 파장처럼 써서 340/0.170으로 계산하면 나오는 값이다. 그러나 17.0cm는 파장이 아니라 반파장이므로 틀린 표현은 2,000 Hz이고, 올바르게는 1,000 Hz이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 두 공명 위치의 차이 $25.5 - 8.5 = 17.0cm$를 곧바로 파장으로 착각하는 것이다. 연속한 공명 위치 차이는 $\lambda/2$이므로, 반드시 두 배 해서 $\lambda = 34.0cm$로 만든 뒤 진동수를 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

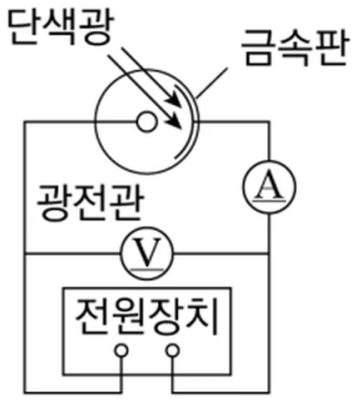
관 공명 계산형 문제는 소리가 크게 들리는 위치들이 연속 공명인지 먼저 확인하고, 이웃한 공명 길이 차이를 $\lambda/2$로 둔 뒤 $v = f\lambda$에 대입해 판단한다.

암기 포인트

한쪽이 막힌 관에서도 이웃한 공명 길이의 간격은 $\lambda/2$이다. 첫 공명 길이는 $\lambda/4$, 공명 간격은 $\lambda/2$로 구분한다.

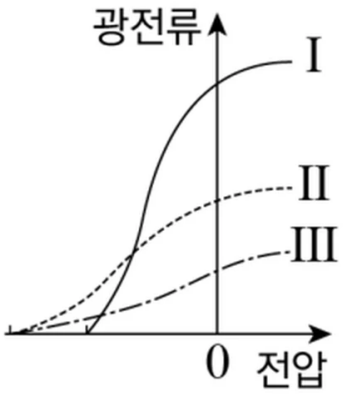
NoteBase

문 20. 그림 (가)는 광전 효과 실험 장치를 이용한 실험 I, II, III에서, 사용한 단색광의 진동수와 세기를 나타낸 것이다. 그림 (나)는 (가)의 실험에서 측정된 전압에 따른 광전류의 세기를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 실험 I, II, III에서 사용한 금속판은 같다)



실험	단색광의 진동수	단색광의 세기
I	f_{I}	I_{I}
II	f_{II}	I_{II}
III	f_{III}	I_{III}

(가)



(나)

<보기>

ㄱ. 정지 전압의 크기는 실험 II보다 실험 I에서 크다.

ㄴ. 단색광의 진동수는 $f_I < f_{II} = f_{III}$이다.

ㄷ. 단색광의 세기는 $I_{II} > I_{III}$이다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄷ

④ ㄱ, ㄴ

⑤ ㄴ, ㄷ

정답 5번

출제 포인트

이 문제는 광전류-전압 그래프에서 정지 전압, 문턱 진동수, 포화 광전류를 읽어 단색광의 진동수와 세기를 비교하는 문제이다.

자료 읽는 순서

1. 가로축 전압과 세로축 광전류를 확인한다.
2. 광전류가 0이 되는 음의 전압, 즉 정지 전압의 크기를 비교한다.
3. 충분히 큰 양의 전압에서 더 이상 증가하지 않는 포화 광전류를 비교한다.
4. 같은 금속판에서는 정지 전압이 진동수를, 포화 광전류가 빛의 세기를 반영한다.

NoteBase

핵심 근거

광전 효과에서 광전자의 최대 운동 에너지는 $K_{max} = hf - W$이고, 정지 전압은 $eV_s = K_{max}$와 연결된다. 따라서 같은 금속판을 쓰면 정지 전압의 크기가 클수록 단색광의 진동수가 크다. 그래프에서 II와 III은 광전류가 0이 되는 전압이 같고, I은 그 크기가 더 작다. 그러므로 $f_I < f_{II} = f_{III}$이다. 또 포화 광전류는 같은 진동수에서 빛의 세기가 클수록 커지므로, 그래프의 포화 광전류가 더 큰 II의 세기가 III보다 크다.

선지별 해설

① ㄱ만: X
- ㄱ이 틀렸다. 근거 위치는 그래프의 광전류가 0이 되는 전압이다. I의 정지 전압 크기는 II보다 크지 않고, 오히려 II보다 작다. 틀린 표현 '실험 II보다 실험 I에서 크다'는 '실험 I보다 실험 II에서 크다'로 고쳐야 한다.

② ㄴ만: X
- ㄴ은 맞지만 ㄱ이 틀리고 ㄷ도 맞으므로 ㄴ만 고르는 것은 틀리다. 근거 위치는 정지 전압의 크기이다. II와 III은 같은 정지 전압을 가지므로 같은 진동수이고, I은 정지 전압의 크기가 더 작으므로 $f_I < f_{II} = f_{III}$이다.

③ ㄷ만: X
- ㄷ은 맞지만 ㄴ도 맞으므로 ㄷ만 고르는 것은 틀리다. 근거 위치는 그래프의 포화 광전류 높이이다. II의 포화 광전류가 III보다 크므로 단색광의 세기는 $I_{II} > I_{III}$이다.

④ ㄱ, ㄴ: X
- ㄴ은 맞지만 ㄱ이 틀리고 ㄷ이 맞다. ㄱ의 잘못은 정지 전압의 크기 비교를 반대로 읽은 것이다. 올바르게는 정지 전압의 크기가 실험 I보다 실험 II에서 크다.

⑤ ㄴ, ㄷ: O
- ㄴ은 정지 전압 비교에서 맞고, ㄷ은 포화 광전류 비교에서 맞다. 따라서 옳은 설명만 고르면 ㄴ, ㄷ이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 광전류의 포화값과 정지 전압을 혼동하는 것이다. 포화 광전류가 크다고 해서 진동수가 큰 것은 아니다. 진동수는 광전류가 0이 되는 정지 전압의 크기로 판단하고, 세기는 포화 광전류의 크기로 판단한다.

다시 나오면 이렇게 판단

광전 효과 그래프에서는 먼저 x축 절편을 보아 진동수를 비교하고, 그다음 포화 광전류의 높이를 보아 빛의 세기를 비교한다. 같은 금속판이면 일함수는 같으므로 정지 전압 차이는 금속판 차이가 아니라 입사광 진동수 차이로 해석된다.

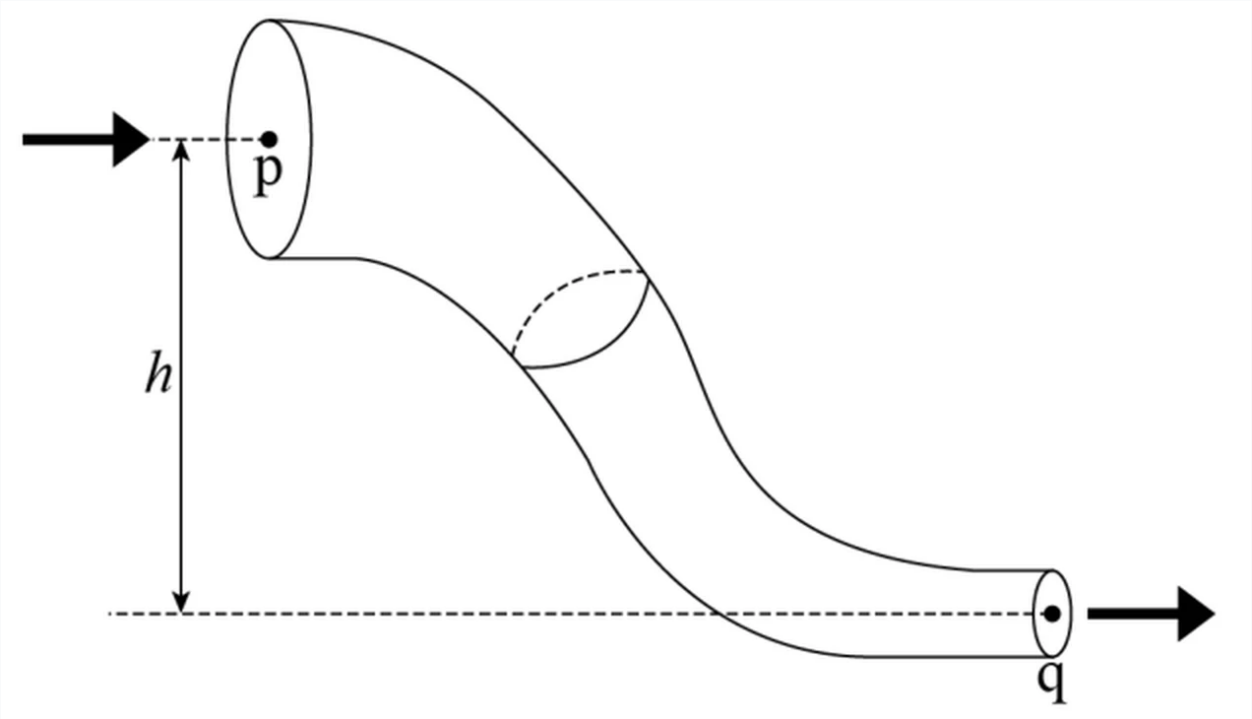
NoteBase

암기 포인트

광전 효과 그래프에서 정지 전압은 진동수, 포화 광전류는 세기를 알려 준다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 파이프 안에 물이 p지점에서 q지점으로 흐르고 있다. p지점의 단면적은 q지점의 3배이고, p지점의 압력은 q지점의 압력보다 $\frac{1}{3}\rho gh$ 만큼 크다. q지점에서 물의 속력은? (단, 중력가속도는 g, 물의 밀도는 ρ이고, 물은 이상 유체로 가정한다)



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

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상 유체의 연속방정식과 베르누이 방정식을 함께 이용해 q지점의 속력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: p지점의 단면적은 q지점의 3배이므로 $A_p = 3A_q$이다. p지점은 q지점보다 높이 h만큼 높고, p지점의 압력은 q지점보다 $\frac{1}{3}\rho gh$만큼 크므로 $P_p - P_q = \frac{1}{3}\rho gh$이다.
구해야 할 값: q지점에서 물의 속력 v_q이다.
주의할 조건: 물은 이상 유체이므로 같은 유선에서 연속방정식과 베르누이 방정식을 적용할 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

연속방정식:

$A_p v_p = A_q v_q$

베르누이 방정식:

$P_p + \frac{1}{2}\rho v_p^2 + \rho g h = P_q + \frac{1}{2}\rho v_q^2$

이 공식을 쓰는 이유: 파이프 안의 정상적인 이상 유체 흐름에서는 유량이 일정하고,
압력에너지 · 운동에너지 · 위치에너지의 합이 보존되기 때문이다.

계산 과정

1. 연속방정식에서 $A_p = 3A_q$이므로

$3A_q v_p = A_q v_q$

따라서 $v_q = 3v_p$이다.

2. q지점의 높이를 기준으로 잡으면 p지점의 위치에너지항은 $\rho g h$, q지점의 위치에너지항은 0이다. 베르누이 방정식은

$P_p + \frac{1}{2}\rho v_p^2 + \rho g h = P_q + \frac{1}{2}\rho v_q^2$

이다.

3. $P_p - P_q = \frac{1}{3}\rho g h$, $v_q = 3v_p$를 대입하면

$\frac{1}{3}\rho g h + \rho g h = \frac{1}{2}\rho(v_q^2 - v_p^2)$

$\frac{4}{3} g h = \frac{1}{2}(9v_p^2 - v_p^2) = 4v_p^2$

이므로

$v_p^2 = \frac{gh}{3}$

이다.

4. 따라서

$v_q^2 = 9v_p^2 = 9 \cdot \frac{gh}{3} = 3gh$

이고,

$v_q = \sqrt{3gh}$

이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- $2\sqrt{gh}$는 제곱하면 $4gh$가 되어 계산 결과 $3gh$와 맞지 않는다. 틀린 표현 $2\sqrt{gh}$ → 올바르게는 $\sqrt{3gh}$이다.

② O
- 계산 결과 q지점의 속력은 $v_q = \sqrt{3gh}$이므로 맞다.

③ X
- $\sqrt{2gh}$는 토리첼리 식처럼 압력차와 단면적 효과를 제대로 반영하지 않을 때 나올 수 있는 값이다. 틀린 표현 $\sqrt{2gh}$ → 올바르게는 $\sqrt{3gh}$이다.

④ X
- $\sqrt{gh}$는 연속방정식에 따른 $v_q = 3v_p$ 관계와 주어진 압력차를 함께 반영하지 못한 값이다. 틀린 표현 $\sqrt{gh}$ → 올바르게는 $\sqrt{3gh}$이다.

⑤ X
- $\sqrt{\frac{gh}{2}}$는 에너지식의 $\frac{1}{2}\rho v^2$ 항을 속력 제곱 차 계산으로 처리하지 못한 값이다. 틀린 표현 $\sqrt{\frac{gh}{2}}$ → 올바르게는 $\sqrt{3gh}$이다.

계산 결과 $\sqrt{3gh}$이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 압력차만 보거나 높이차만 보고 바로 $\sqrt{2gh}$형으로 처리하는 것이다. 이 문항은 단면적비가 있으므로 먼저 연속방정식으로 $v_q = 3v_p$를 만든 뒤, 그 관계를 베르누이 방정식에 넣어야 한다.

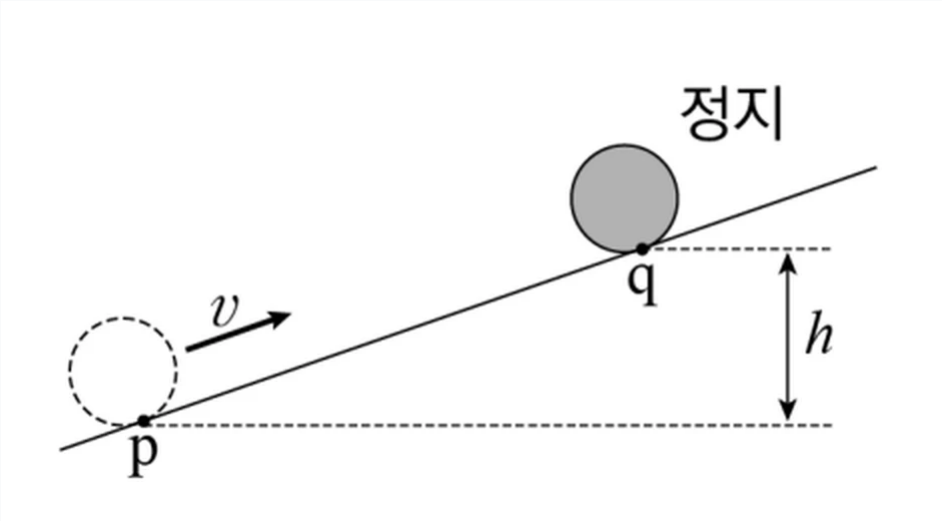
다시 나오면 이렇게 판단

관 속 이상 유체 문제에서 단면적비와 높이차와 압력차가 함께 주어지면, 연속방정식으로 속력비를 먼저 구하고 그다음 베르누이 방정식에 압력차와 위치에너지 차를 대입해 판단한다.

암기 포인트

단면적이 3배이면 속력은 반대로 $\frac{1}{3}$배가 된다. 즉 $A_p = 3A_q$이면 $v_q = 3v_p$이다.

문 22. 그림은 밀도가 균일하고 질량이 M, 반지름이 R인 원통이 경사면을 따라 굴러 점 p를 속력 v로 지나 점 q에서 정지한 순간을 나타낸 것이다. p에서 q까지 높이차는 h이고, 원통은 운동하는 동안 미끄러지지 않는다. h는? (단, 원통의 관성모멘트는 $\frac{1}{2}MR^2$이고, 공기의 저항은 무시한다)



① $\frac{v^2}{2g}$
② $\frac{7v^2}{10g}$
③ $\frac{3v^2}{4g}$
④ $\frac{5v^2}{6g}$
⑤ $\frac{v^2}{g}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 미끄러지지 않고 구르는 원통의 병진 운동 에너지와 회전 운동 에너지를 모두 중력 퍼텐셜 에너지로 바꾸어 높이 h를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 원통의 질량은 M, 반지름은 R, 관성모멘트는 $I = \frac{1}{2}MR^2$, 점 p에서 속력은 v이다.
구해야 할 값: 점 p에서 점 q까지의 높이차 h이다.
주의할 조건: 원통은 미끄러지지 않으므로 $v = R\omega$이고, 점 q에서 정지하므로 최종 운동 에너지는 0이다.

NoteBase

사용할 공식

에너지 보존식은 K_병진+K_회전=Mgh이다.
$\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 = Mgh$
이 공식을 쓰는 이유는 공기 저항이 무시되고 미끄러지지 않으므로 역학적 에너지가 보존되며, 원통의 처음 운동 에너지가 높이 h만큼 올라가는 데 필요한 중력 퍼텐셜 에너지로 전환되기 때문이다.

계산 과정

미끄러지지 않는 구름 운동에서 $\omega = \frac{v}{R}$이다.
K_회전=(1)/(2)Iω^2=(1)/(2)≤ft((1)/(2)MR^2)≤ft((v)/(R))^2=(1)/(4)Mv^2
따라서 처음 전체 운동 에너지는 다음과 같다.
$K = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{4}Mv^2 = \frac{3}{4}Mv^2$
점 q에서 정지하므로 $Mgh = \frac{3}{4}Mv^2$이고, 질량 M을 약분하면 $h = \frac{3v^2}{4g}$이다.

선지 판단

① X: $\frac{v^2}{2g}$는 병진 운동 에너지 $\frac{1}{2}Mv^2$만 중력 퍼텐셜 에너지로 바꾼 값이다. 틀린 표현 $\frac{v^2}{2g}$ → 올바르게는 회전 운동 에너지까지 더한 $\frac{3v^2}{4g}$이다.
② X: $\frac{7v^2}{10g}$는 이 문제의 관성모멘트 $I = \frac{1}{2}MR^2$를 대입한 결과가 아니다. 틀린 표현 $\frac{7v^2}{10g}$ → 올바르게는 $I = \frac{1}{2}MR^2$와 $\omega = \frac{v}{R}$를 사용한 $\frac{3v^2}{4g}$이다.
③ O: 전체 운동 에너지는 $\frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{4}Mv^2 = \frac{3}{4}Mv^2$이고, 이를 Mgh와 같게 두면 $h = \frac{3v^2}{4g}$가 된다.
④ X: $\frac{5v^2}{6g}$는 회전 에너지 항의 계수를 잘못 계산한 값이다. 틀린 표현 $\frac{5v^2}{6g}$ → 올바르게는 회전 에너지 $\frac{1}{4}Mv^2$를 더한 $\frac{3v^2}{4g}$이다.
⑤ X: $\frac{v^2}{g}$는 병진 운동 에너지와 같은 크기의 에너지를 추가로 더한 것처럼 계산한 값이다. 틀린 표현 $\frac{v^2}{g}$ → 올바르게는 회전 운동 에너지가 $\frac{1}{4}Mv^2$이므로 $\frac{3v^2}{4g}$이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 원통이 단순히 속력 v로 이동하는 물체가 아니라 회전하면서 굴러간다는 점이다. ①처럼 병진 운동 에너지만 쓰면 회전 운동 에너지를 빠뜨리고, ⑤처럼 회전 운동 에너지를 병진 운동 에너지와 같다고 보면 원통의 관성모멘트 $I = \frac{1}{2}MR^2$를 반영하지 못한다.

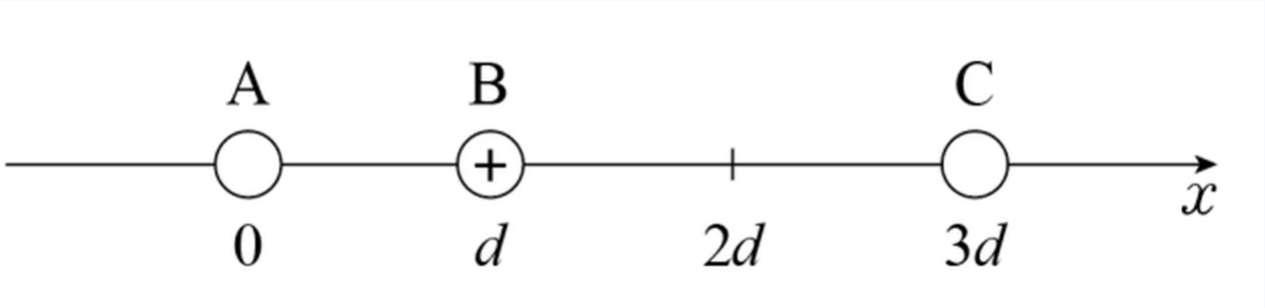
다시 나오면 이렇게 판단

굴림 운동 에너지 문제는 먼저 미끄러짐 여부를 확인하고, 미끄러지지 않으면 $v = R\omega$를 적용한 뒤 $\frac{1}{2}Mv^2$와 $\frac{1}{2}I\omega^2$를 함께 에너지 보존식에 넣어 판단한다.

암기 포인트

속이 찬 원통은 $I = \frac{1}{2}MR^2$이므로 구름 운동 전체 운동 에너지가 $\frac{3}{4}Mv^2$이다. 따라서 최고 높이는 $h = \frac{3v^2}{4g}$로 연결된다.

문 23. 그림과 같이 점전하 A, B, C가 각각 $x = 0$, $x = d$, $x = 3d$에 고정되어 있다. 전하량의 크기는 C가 A의 4배이고, B는 양(+)전하이다. A와 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$방향이고, 크기는 F이다. B를 $x = 2d$로 옮겨 고정시킬 때, A와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는?



① $\frac{11}{8}F$
② $\frac{13}{8}F$
③ $\frac{15}{8}F$
④ $\frac{17}{8}F$
⑤ $\frac{19}{8}F$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 쿨롱 법칙 $F = k|q_1q_2|/r^2$과 전하의 부호에 따른 힘의 방향을 이용해, B의 위치를 바꾸었을 때 A와 C가 B에 작용하는 전기력의 합력을 구하는 문제이다.

조건 정리

A는 $x = 0$, 처음 B는 $x = d$, C는 $x = 3d$에 있다.
C의 전하량 크기는 A의 4배이고, B는 양전하이다.
처음 B에서 A까지의 거리는 d, C까지의 거리는 $2d$이다.
처음 A와 C가 B에 작용하는 합력은 $+x$ 방향이고 크기는 F이다.
나중에 B는 $x = 2d$로 옮겨진다.

사용할 공식

점전하 사이의 전기력 크기는
$F_e = k\frac{|q_1q_2|}{r^2}$
이다.
거리가 r에서 $2r$로 커지면 힘의 크기는 1/4배가 되고, 전하량 크기가 4배이면 힘의 크기는 4배가 된다. B가 양전하이므로 같은 부호의 전하는 B를 밀고, 반대 부호의 전하는 B를 끌어당긴다.

NoteBase

계산 과정

A가 처음 B에 작용하는 힘의 크기를 T라 하면

$T = k\frac{|q_A q_B|}{d^2}$

이다.

C의 전하량 크기는 A의 4배이고 처음 C와 B 사이의 거리는 $2d$이므로, C가 처음 B에 작용하는 힘의 크기는

$k\frac{|q_C q_B|}{(2d)^2} = k\frac{4|q_A q_B|}{4d^2} = T$

이다.

처음 두 힘의 크기가 같은데 합력이 $+x$ 방향이고 0이 아니므로, A는 B를 오른쪽으로 밀고 C는 B를 오른쪽으로 끌어당겨야 한다. 따라서 A는 양전하, C는 음전하이고 처음 합력은 $2T = F$이므로 $T = F/2$이다.

B를 $x = 2d$로 옮기면 A와 B의 거리는 $2d$가 되어 A의 힘은

$\frac{T}{4} = \frac{F}{8}$

이다. C와 B의 거리는 d가 되어 C의 힘은

$4T = 2F$

이다.

A는 양전하라서 B를 $+x$ 방향으로 밀고, C는 음전하라서 B를 $+x$ 방향으로 끌어당긴다. 따라서 합력의 크기는

$\frac{F}{8} + 2F = \frac{17}{8}F$

이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- 계산 결과는 $17F/8$이다. $11F/8$은 A의 힘 $F/8$과 C의 힘 $2F$를 제대로 합한 값이 아니다. 틀린 표현 $11F/8$ → 올바르게는 $17F/8$이다.

② X
- 이동 후 C가 B에 작용하는 힘은 $2F$이고 A의 힘은 $F/8$이므로 합력은 $13F/8$이 될 수 없다. 틀린 표현 $13F/8$ → 올바르게는 $17F/8$이다.

③ X
- 두 힘은 모두 $+x$ 방향이므로 서로 빼면 안 된다. $15F/8$은 힘의 방향 또는 거리 제곱 관계를 잘못 처리한 값이다. 틀린 표현 $15F/8$ → 올바르게는 $17F/8$이다.

④ O
- 이동 후 A의 힘은 $F/8$, C의 힘은 $2F = 16F/8$이고 두 힘이 같은 방향이므로 합력의 크기는 $17F/8$이다.

⑤ X
- $19F/8$은 이동 후 C의 힘 $2F$에 A의 힘 $F/8$보다 큰 값을 더한 경우에 나오는 오답이다. A와 B 사이 거리가 $2d$가 되므로 A의 힘은 커지는 것이 아니라 1/4배가 된다. 틀린 표현 $19F/8$ → 올바르게는 $17F/8$이다.

오답 포인트

처음 위치에서 A와 C가 만드는 힘의 크기가 같다는 점을 놓치기 쉽다. C의 전하량은 4배이지만 거리가 $2d$라서 거리 제곱 때문에 처음 힘의 크기는 A와 같아진다. 또한 처음 합력이 $+x$ 방향이라는 조건으로 A와 C의 부호 조합을 먼저 정해야 하며, B를 옮긴 뒤에는 두 힘이 모두 $+x$ 방향이라는 점을 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

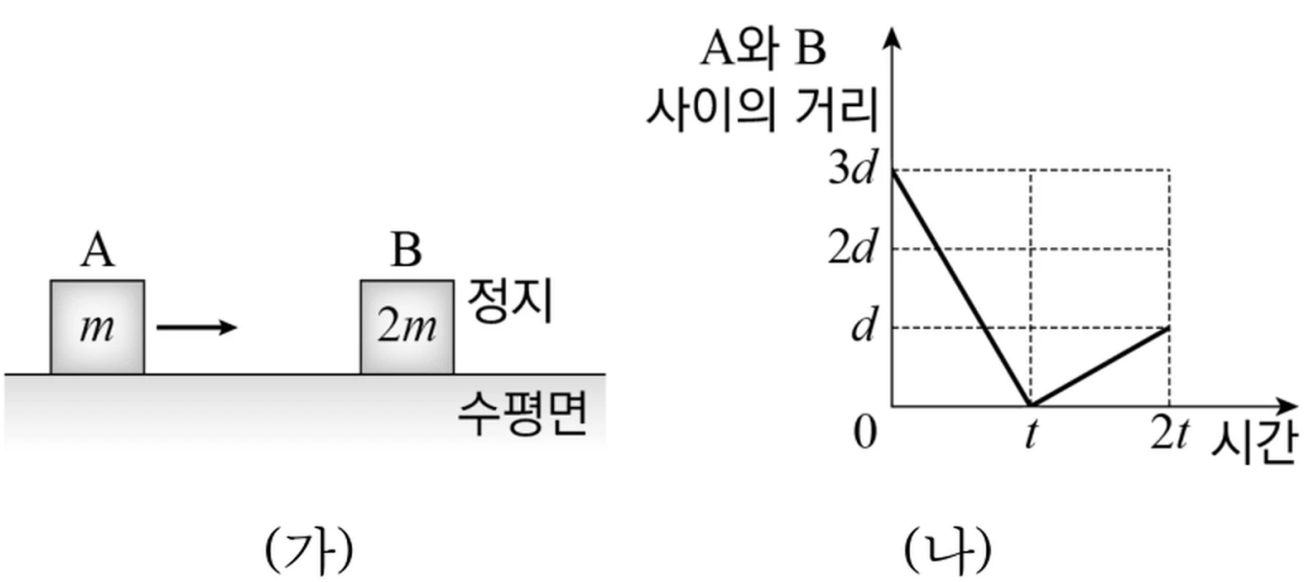
점전하 힘 문제는 먼저 각 전하 사이의 거리와 전하량 비로 힘의 크기 비를 정하고, 그다음 전하 부호로 방향을 정한 뒤 같은 방향이면 더하고 반대 방향이면 뺀다.

암기 포인트

쿨롱 힘은 전하량에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 전하량 4배와 거리 2배는 서로 상쇄되어 힘의 크기를 같게 만든다.

NoteBase

문 24. 그림 (가)는 수평면에 정지해 있는 물체 B를 향해 물체 A가 등속 직선 운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 m, $2m$이다. 그림 (나)는 충돌 전부터 충돌 후까지 A와 B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다. 충돌 후 B의 속력은? (단, A, B는 동일 직선상에서 운동하고, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다)



① $\frac{2d}{3t}$
② $\frac{5d}{6t}$
③ $\frac{d}{t}$
④ $\frac{7d}{6t}$
⑤ $\frac{4d}{3t}$

정답 5번

출제 포인트

이 문제는 A와 B 사이의 거리-시간 그래프에서 충돌 전후의 상대속도를 구하고, 운동량 보존을 이용해 충돌 후 B의 속력을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값: A의 질량은 m, B의 질량은 $2m$, 충돌 전 B는 정지해 있다.
그래프에서 충돌 전 거리는 $3d$에서 0까지 시간 t 동안 줄어들므로 충돌 전 상대속도는 $3d/t$이다.
그래프에서 충돌 후 거리는 0에서 d까지 시간 t 동안 늘어나므로 충돌 후 상대속도는 d/t이다.
구해야 할 값: 충돌 후 B의 속력이다.
주의할 조건: 마찰이 없으므로 수평방향 운동량은 보존되고, 거리 그래프의 기울기는 각 물체의 속도가 아니라 두 물체의 상대속도이다.

사용할 공식

충돌 전 A의 속도를 v, 충돌 후 A와 B의 속도를 각각 v'_A, v'_B라 하면
$v = \frac{3d}{t}$
$v'_B - v'_A = \frac{d}{t}$
$mv = mv'_A + 2mv'_B$
이 공식을 쓰는 이유: 외력이 없고 마찰을 무시하므로 충돌 전후의 전체 운동량이 보존되며, 충돌 후 A와 B 사이의 거리가 증가하는 속도는 $v'_B - v'_A$로 나타난다.

계산 과정

1. 충돌 전에는 B가 정지해 있으므로 A의 속도는 거리 감소율과 같다.
$v = \frac{3d}{t}$
2. 충돌 후 두 물체 사이의 거리가 시간 t 동안 d만큼 증가하므로
$v'_B - v'_A = \frac{d}{t}$
이다.
3. 운동량 보존식을 세우면
$m\frac{3d}{t} = mv'_A + 2mv'_B$
이므로
$v'_A + 2v'_B = \frac{3d}{t}$
이다.
4. $v'_A = v'_B - \frac{d}{t}$를 대입하면
$v'_B - \frac{d}{t} + 2v'_B = \frac{3d}{t}$
$3v'_B = \frac{4d}{t}$
$v'_B = \frac{4d}{3t}$
이다.

NoteBase

선지 판단

① X
- $2d/(3t)$는 계산 결과 $4d/(3t)$와 다르다. 틀린 표현 $2d/(3t)$ → 올바르게는 $4d/(3t)$이다.

② X
- $5d/(6t)$는 운동량 보존식과 충돌 후 상대속도 조건을 동시에 만족하지 않는다. 틀린 표현 $5d/(6t)$ → 올바르게는 $4d/(3t)$이다.

③ X
- d/t는 충돌 후 B의 속력이 아니라 충돌 후 A와 B의 상대속도이다. 틀린 표현 d/t → 올바르게는 B의 속력 $4d/(3t)$이다.

④ X
- $7d/(6t)$는 충돌 전 상대속도 $3d/t$와 충돌 후 상대속도 d/t를 운동량 보존식에 정확히 결합한 값이 아니다. 틀린 표현 $7d/(6t)$ → 올바르게는 $4d/(3t)$이다.

⑤ O
- 충돌 후 상대속도 조건 $v_B' - v_A' = d/t$와 운동량 보존식 $v_A' + 2v_B' = 3d/t$를 풀면 $v_B' = 4d/(3t)$가 된다.

오답 포인트

그래프의 기울기를 B의 속력으로 바로 읽으면 ③ d/t를 고르기 쉽다. 그러나 그래프는 A와 B 사이의 거리이므로 기울기는 상대속도이고, 실제 B의 속력은 운동량 보존식까지 함께 사용해야 구해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

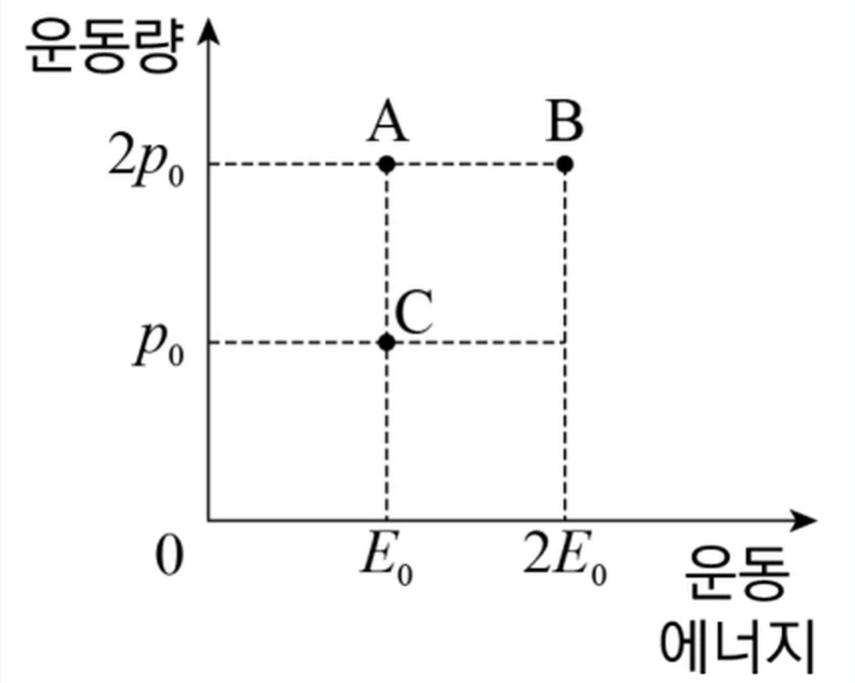
거리-시간 그래프가 두 물체 사이의 거리를 나타내면 먼저 기울기로 상대속도를 구하고, 충돌 문제에서는 그 상대속도 조건을 운동량 보존식과 연립해 각 물체의 속도를 판단한다.

암기 포인트

두 물체 사이 거리의 기울기는 개별 속도가 아니라 상대속도이다. 충돌 후 개별 속도는 상대속도식과 운동량 보존식을 함께 풀어 구한다.

NoteBase

문 25. 그림은 입자 A, B, C의 운동량과 운동 에너지를 나타낸 것이다. 입자에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



<보기>

ㄱ. 질량은 A가 C의 4배이다.

ㄴ. 속력은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. 물질파의 파장은 B가 C의 2배이다.

① ㄱ

② ㄷ

③ ㄱ, ㄴ

④ ㄴ, ㄷ

⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 운동량 p, 운동 에너지 K, 질량 m, 속력 v의 관계와 드브로이 파장 λ의 운동량 의존성을 이용해 보기 ㄱ~ㄷ의 참거짓을 판단하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

그래프에서 A는 $K = E_0, p = 2p_0$이다.
B는 $K = 2E_0, p = 2p_0$이다.
C는 $K = E_0, p = p_0$이다.
구해야 할 값은 A와 C의 질량비, B와 A의 속력비, B와 C의 물질파 파장비이다.

사용할 공식

운동량과 운동 에너지의 관계는 $K = \frac{p^2}{2m}$이므로 $m = \frac{p^2}{2K}$이다.
또한 $p = mv$, $K = \frac{1}{2}mv^2$에서 $K = \frac{1}{2}pv$이므로 $v = \frac{2K}{p}$이다.
물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{p}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 그래프가 각 입자의 운동량과 운동 에너지를 직접 주고, 질량·속력·물질파 파장이 모두 이 두 물리량으로 비교되기 때문이다.

계산 과정

1. 질량은 $m = \frac{p^2}{2K}$로 비교한다.
$m_A = \frac{(2p_0)^2}{2E_0} = \frac{2p_0^2}{E_0}$
$m_C = \frac{p_0^2}{2E_0}$
따라서 $m_A = 4m_C$이다.

2. 속력은 $v = \frac{2K}{p}$로 비교한다.
$v_A = \frac{2E_0}{2p_0} = \frac{E_0}{p_0}$
$v_B = \frac{2 \cdot 2E_0}{2p_0} = \frac{2E_0}{p_0}$
따라서 $v_B = 2v_A$이다.

3. 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{p}$로 비교한다. B의 운동량은 $2p_0$, C의 운동량은 p_0이므로 $\lambda_B = \frac{1}{2}\lambda_C$이다.

NoteBase

선지 판단

① O

- ㄱ만 옳다. A와 C는 운동 에너지가 같고 A의 운동량이 C의 2배이므로, $m \propto p^2$에 따라 A의 질량은 C의 4배가 된다.

② X

- ㄷ만 옳다는 선택지이다. 그러나 B의 운동량은 C의 2배이므로 물질파 파장은 B가 C의 2배가 아니라 C의 $\frac{1}{2}$배이다. 틀린 표현 "B가 C의 2배"는 "B가 C의 $\frac{1}{2}$배"가 되어야 한다.

③ X

- ㄱ, ㄴ이 옳다는 선택지이다. ㄱ은 옳지만 ㄴ이 틀리다. B와 A는 운동량이 같고 B의 운동 에너지가 A의 2배이므로 $v = \frac{2K}{p}$에 따라 B의 속력은 A의 2배이다. 틀린 표현 "B가 A의 4배"는 "B가 A의 2배"가 되어야 한다.

④ X

- ㄴ, ㄷ이 옳다는 선택지이다. ㄴ은 속력비를 4배로 잘못 본 것이고, ㄷ은 물질파 파장과 운동량의 반비례 관계를 반대로 본 것이다. 올바르게는 $v_B = 2v_A$, $\lambda_B = \frac{1}{2}\lambda_C$이다.

⑤ X

- ㄱ, ㄴ, ㄷ이 모두 옳다는 선택지이다. ㄱ만 옳고 ㄴ, ㄷ은 틀리므로 맞지 않는다. 올바른 조합은 ㄱ뿐이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 운동량이 2배일 때 질량·속력·물질파 파장이 모두 같은 비율로 변한다고 착각하게 만드는 데 있다. 질량 비교에는 $m = \frac{p^2}{2K}$가 쓰이므로 운동량이 제곱으로 들어가지만, 속력 비교에는 $v = \frac{2K}{p}$, 물질파 파장 비교에는 $\lambda = \frac{h}{p}$가 쓰인다.

다시 나오면 이렇게 판단

운동량-운동에너지 그래프에서는 먼저 각 점의 p와 K를 좌표로 읽고, 질량은 $\frac{p^2}{K}$, 속력은 $\frac{K}{p}$, 물질파 파장은 $\frac{1}{p}$에 비례한다고 판단한다.

암기 포인트

운동량-운동에너지 비교에서 질량은 p^2/K, 속력은 K/p, 물질파 파장은 $1/p$이다.

NoteBase