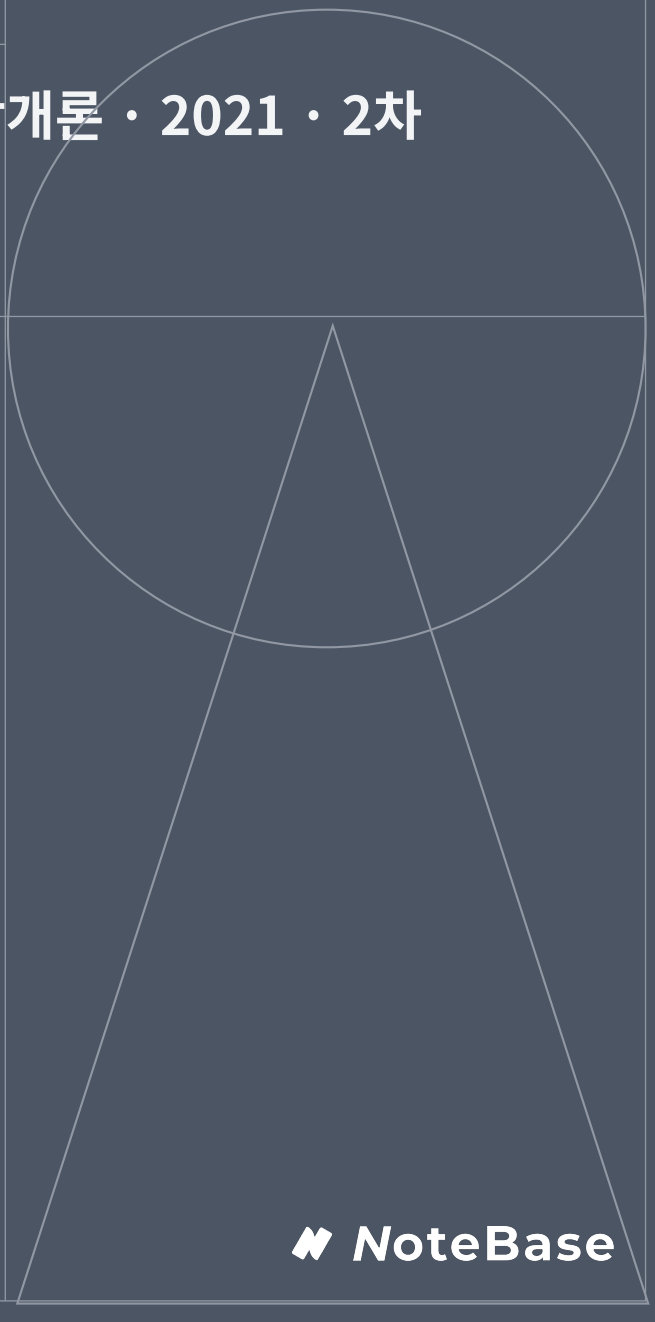
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2021 · 2차



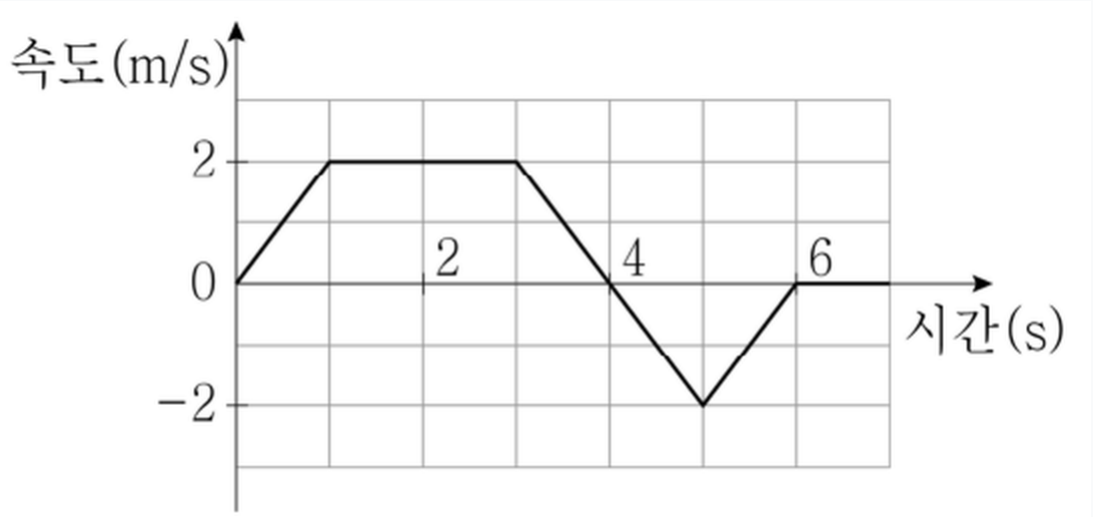
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2021 · 2차

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2021 · 2차

문 1. 그림은 직선도로를 따라 운동하는 어떤 물체의 속도-시간 그래프를 나타낸 것이다. 0초부터 6초까지 물체의 이동거리[m]는?



① 4

② 6

③ 8

④ 10

정답 3번

출제 포인트

속도-시간(v-t) 그래프에서 그래프와 시간축 사이의 넓이가 이동거리(변위의 절대값 합)임을 이용하는 문제이다. 속도의 부호가 도중에 바뀌므로, "이동거리"는 부호를 무시하고 각 구간 넓이의 절댓값을 모두 더해야 한다는 점이 핵심이다(부호를 그대로 더하면 변위가 되어 답이 달라진다).

NoteBase

조건 정리

그래프를 읽으면 꺾이는 점들은 다음과 같다. $t=0$에서 $v=0$, $t=1$에서 $v=2$로 증가, $t=1$부터 $t=3$까지 $v=2$로 일정, $t=3$부터 v가 감소하기 시작해 $t=4$에서 $v=0$을 지나 $t=5$에서 $v=-2$에 도달, 이후 다시 증가해 $t=6$에서 $v=0$이 된다. 즉 0~6초 구간은 $0\to1$(증가), $1\to3$(등속), $3\to5$(감소, 도중 부호 반전), $5\to6$(증가)의 네 구간으로 나뉜다.

사용할 공식

등가속도 구간에서 v-t 그래프 아래 넓이는 이동거리와 같다. 삼각형 넓이는 (1)/(2)×(밑변)×(높이), 직사각형 넓이는 (밑변)×(높이)이며, 속도가 음수인 구간은 넓이의 절댓값을 더한다.

계산 과정

구간별 넓이(모두 절댓값)를 구하면 다음과 같다.
① 0 ~ 1초: 삼각형, $\frac{1}{2}\times1\times2=1\text{m}$
② 1 ~ 3초: 직사각형, $2\times2=4\text{m}$
③ 3 ~ 4초: 삼각형(v가 2에서 0으로 감소), $\frac{1}{2}\times1\times2=1\text{m}$
④ 4 ~ 5초: 삼각형(v가 0에서 -2로 감소), 넓이의 절댓값 $\frac{1}{2}\times1\times2=1\text{m}$
⑤ 5 ~ 6초: 삼각형(v가 -2에서 0으로 증가), 넓이의 절댓값 $\frac{1}{2}\times1\times2=1\text{m}$
따라서 총 이동거리는 $1+4+1+1+1=8\text{m}$이다.

선지 판단

① 4 → 그래프의 부호를 그대로 더해 변위(순이동, $1+4+1-1-1=4$)만 계산한 값이므로 이동거리가 아니다.
② 6 → 4 ~ 6초 구간(음의 속도 구간, 넓이 2m)을 빠뜨리고 0 ~ 4초의 넓이만 더한 값이라 틀렸다.
③ 8 → 모든 구간의 넓이를 절댓값으로 더한 값과 일치한다. 정답.
④ 10 → 등속 구간(1 ~ 3초)을 실제보다 넓게(예: 3초 폭) 계산하거나 다른 구간을 중복 계산했을 때 나오는 값으로, 그래프의 꺾이는 시점을 잘못 읽은 경우이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 "이동거리"와 "변위"를 혼동하는 것이다. 변위는 부호를 살려 더하므로 4m(①)가 되지만, 문제는 이동거리를 물었으므로 속도가 음수인 구간도 넓이를 양수로 바꿔 더해야 한다. 또한 등속 구간이 $t=1$부터 $t=3$까지(폭 2초)라는 점과, 감소 구간이 $t=3$에서 시작해 $t=4$에서 0을 지나 $t=5$에서 -2에 이른다는 점을 정확히 읽어야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

v-t 그래프 문제에서는 먼저 "이동거리"인지 "변위"인지를 확인한다. 이동거리이면 그래프가 시간축 아래로 내려가는 구간(속도가 음수인 구간)의 넓이를 절댓값으로 바꿔서 더하고, 변위이면 부호를 그대로 살려 더한다. 그다음 그래프의 꺾이는 점(기울기가 바뀌는 시각)을 좌표로 정확히 짚어 구간을 나누고, 각 구간을 삼각형·사다리꼴·직사각형으로 쪼개 넓이를 구한다.

암기 포인트

v-t 그래프에서 그래프 아래 넓이(부호 포함)=변위, 넓이의 절댓값의 합=이동거리이다. 속도가 0이 되는 시각(그래프가 시간축과 만나는 점)이 구간을 나누는 기준점이 된다.

NoteBase

문 2. 물체가 반지름 r인 원을 따라 일정한 속력 v로 원운동한다. 이 물체의 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 속도의 방향은 계속 변한다.
ㄴ. 가속도의 크기는 v^2에 반비례한다.
ㄷ. 가속도의 방향은 원의 중심을 향한다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

등속 원운동에서 속도와 가속도(구심가속도)의 방향 및 크기 관계를 정확히 알고 있는지 묻는 문항이다. 등속 원운동은 속력은 일정하지만 속도의 방향이 매 순간 바뀌기 때문에 가속도가 존재하며, 이 가속도가 바로 구심가속도라는 점이 핵심이다.

조건 정리

물체가 반지름 r인 원을 따라 일정한 속력 v로 원운동한다. 속력 v는 일정하지만 운동 방향은 원의 접선 방향으로 계속 바뀐다.

사용할 공식

등속 원운동의 구심가속도 크기는 $a = \frac{v^2}{r}$이고, 방향은 항상 원의 중심을 향한다.

계산 과정

속도는 크기(속력) v는 일정하지만 방향이 원의 접선을 따라 계속 바뀌는 벡터이므로, 속도 자체는 매 순간 변한다. 따라서 ㄱ은 옳다.
속도가 방향만 바뀌어도 가속도가 생기며, 그 크기는 $a = \frac{v^2}{r}$이다. 이는 v^2에 비례하는 관계이지 반비례하는 관계가 아니므로 ㄴ은 틀리다.
이 가속도의 방향은 물체가 원운동을 유지하도록 항상 원의 중심을 향하는 구심가속도이므로 ㄷ은 옳다.
따라서 옳은 설명은 ㄱ, ㄷ이다.

NoteBase

선지 판단

① ㄱ: ㄱ만으로는 불완전하다. ㄷ도 옳은 설명이므로 ㄱ만 고르는 것은 틀린 선지이다.
② ㄴ: 틀린 선지이다. 가속도의 크기는 v^2에 반비례하는 것이 아니라 $a = \frac{v^2}{r}$로 v^2에 비례한다.
③ ㄱ, ㄷ: 옳은 선지이다. 속도의 방향은 계속 변하고(ㄱ), 가속도의 방향은 원의 중심을 향한다(ㄷ).
④ ㄴ, ㄷ: 틀린 선지이다. ㄷ은 옳지만 ㄴ이 틀린 설명이므로 함께 고를 수 없다.

오답 포인트

가장 흔한 혼동은 '반비례'와 '비례'를 헷갈리는 것이다. 구심가속도 공식 $a = \frac{v^2}{r}$에서 가속도는 속력의 제곱에 비례하고 반지름에 반비례한다. 이 둘을 뒤섞어 ㄴ을 옳다고 잘못 판단하지 않도록 주의한다. 또한 '속력이 일정하니 속도도 일정하다'고 착각하면 ㄱ을 틀렸다고 판단하는 오류가 생기는데, 속력(크기)과 속도(벡터)는 다른 개념이며 등속 원운동에서도 방향이 계속 바뀌므로 속도는 일정하지 않다.

다시 나오면 이렇게 판단

등속 원운동 문제에서는 먼저 '속력은 일정, 속도는 변함'이라는 기본 전제를 확인한 뒤, 가속도의 크기 공식 $a = \frac{v^2}{r}$과 방향(항상 원의 중심을 향함)을 각 보기에 대입해 판단한다. ㄱㄴㄷ 조합형 문제이므로 보기 하나하나를 독립적으로 참/거짓 판정한 후 조합을 맞춰 나가면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

등속 원운동: 속력 일정, 속도(방향) 계속 변함, 구심가속도 $a = \frac{v^2}{r}$(속력 제곱에 비례, 반지름에 반비례), 가속도 방향은 항상 원의 중심.

NoteBase

문 3. 볼츠만 상수(k)의 단위는?

① $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}$

② $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$

③ $kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$

④ $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-2}$

정답 2번

출제 포인트

볼츠만 상수 k의 물리적 정의와 그로부터 도출되는 SI 단위를 묻는 문항이다. k가 에너지를 온도로 나눈 양이라는 점을 알면 단위를 직접 유도할 수 있다.

조건 정리

볼츠만 상수는 이상기체 분자 하나의 평균 운동에너지와 절대온도를 연결하는 비례상수이다. 대표적으로 단원자 이상기체의 분자당 평균 운동에너지 식 $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$ 에서 k는 에너지를 온도로 나눈 양의 차원을 가진다.

사용할 공식

$k = \frac{2\bar{E}}{3T}$ 로부터 [k] = ([에너지])/([온도]) 이고, 에너지의 SI 단위는 줄(J) $= \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}$ 이며 온도의 단위는 켈빈(K)이다.

계산 과정

에너지 J을 기본단위로 풀면 $1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}$ 이다. 볼츠만 상수는 에너지를 온도로 나눈 값이므로 $[k] = \mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}}$ 이 된다. 실제로 $k \approx 1.38 \times 10^{-23}$ J/K 로 알려져 있는데, 여기서 단위 J/K를 기본단위로 풀어 쓰면 그대로 $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}}$ 이다.

선지 판단

① $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-1} \cdot K^{-1}}$ → X. 시간 지수가 -1이면 에너지가 아니라 운동량×길이 차원이 되어 에너지/온도 차원과 맞지 않는다.
② $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}}$ → O. 이는 J/K와 정확히 같은 차원이며 에너지를 온도로 나눈 볼츠만 상수의 실제 단위이다.
③ $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}}$ → X. 시간 지수 -3인 $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}}$은 에너지가 아니라 일률(와트, W)의 차원이므로 W/K에 해당하여 볼츠만 상수의 단위가 아니다.
④ $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-2}}$ → X. $\mathrm{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}$는 에너지(J)로 맞지만 온도 지수가 -2로 되어 있어 $\mathrm{J/K^2}$의 차원이 되므로 틀렸다. 볼츠만 상수는 온도의 1제곱으로만 나눈 값이다.

NoteBase

오답 포인트

볼츠만 상수를 단순 암기해 단위를 헷갈리는 경우가 많은데, 에너지의 기본단위 $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-2}$(J)를 온도 K로 나눈다는 유도 과정을 거치면 혼동이 줄어든다. ③처럼 일률(W = J/s)의 단위와 착각하거나, ④처럼 온도 지수를 제곱으로 잘못 붙이는 실수에 유의해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

물리 상수의 단위를 묻는 문제는 그 상수가 등장하는 대표 공식(여기서는 $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$ 또는 이상기체 상태방정식 $PV = NkT$)에서 좌변과 우변의 단위를 맞춰보면 빠르게 답을 구할 수 있다. PV의 단위는 에너지(J)이고 N은 무차원, T는 K이므로 k의 단위는 곧바로 J/K로 얻어진다.

암기 포인트

볼츠만 상수의 단위는 J/K이며, 기본단위로 풀면 $\mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-2}\cdot\mathrm{K}^{-1}$이다. 에너지 $\mathrm{J} = \mathrm{kg}\cdot\mathrm{m}^2\cdot\mathrm{s}^{-2}$를 기억해 두면 온도로 나눈 형태를 바로 떠올릴 수 있다.

NoteBase

문 4. 입자에 x축 방향으로 작용하는 힘은 $F = ax + bx^2$이다. 입자를 $x = 0$에서 $x = L$까지 움직일 때 이 힘이 한 일은? (단, a, b는 상수이다)

① $a + 2bL$

② $aL + bL^2$

③ $aL^2 + bL^3$

④ $\frac{1}{2}aL^2 + \frac{1}{3}bL^3$

정답 4번

출제 포인트

위치에 따라 변하는 힘 $F(x) = ax + bx^2$이 한 일을 구하는 문제이다. 힘이 일정하지 않으므로 일은 힘과 거리의 단순 곱이 아니라 힘을 이동 구간에 대해 적분한 값이다.

조건 정리

힘 $F = ax + bx^2$, 이동 구간은 $x = 0$에서 $x = L$까지이다. a, b는 상수이다.

사용할 공식

위치에 따라 변하는 힘이 한 일은 $W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx$로 계산한다.

계산 과정

$W = \int_0^L (ax + bx^2)dx = \left[\frac{1}{2}ax^2 + \frac{1}{3}bx^3\right]_0^L = \frac{1}{2}aL^2 + \frac{1}{3}bL^3$ 따라서 힘이 한 일은 $\frac{1}{2}aL^2 + \frac{1}{3}bL^3$이다.

선지 판단

① a+2bL → X. 이는 F(x)를 x에 대해 미분한 형태에 가까운 식이며, 일의 계산과 무관하다.
② aL+bL^2 → X. 힘 F(x)를 적분하지 않고 x=L을 그대로 대입해 만든 값으로, 일정한 힘일 때의 표현을 잘못 적용한 결과이다.
③ aL^2+bL^3 → X. 적분에서 나와야 할 계수 1/2과 1/3을 빠뜨리고 각 항의 지수만 올린 값이다.
④ (1/2)aL^2+(1/3)bL^3 → O. 힘을 0에서 L까지 정적분하여 얻은 올바른 결과이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 힘이 위치에 따라 변함에도 불구하고 일정한 힘처럼 F(L)×L 형태로 계산하는 것이다(②, ③에 해당). 또한 적분을 미분과 혼동하여 차수를 반대로 조작하는 실수도 나온다(①). 항별로 ax의 적분은 $\frac{1}{2}ax^2$, bx^2의 적분은 $\frac{1}{3}bx^3$이 되어 계수가 각각 절반, 삼분의 일로 줄어드는 점을 놓치지 않아야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

힘이 위치의 함수로 주어지면 즉시 일을 정적분 $W = \int F(x)dx$으로 세운다. 힘 표현식이 다항식이면 각 항을 차수를 하나씩 올리고 그 차수로 나누는 방식으로 적분해 계산한다.

암기 포인트

가변력이 한 일은 $W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx$이다. x^n의 적분은 $\frac{x^{n+1}}{n+1}$이 된다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 5. 단색광이 굴절률 n인 매질에서 공기로 입사할 때 입사각이 45°보다 크면 전반사한다. 이 매질의 굴절률 n은? (단, 공기의 굴절률은 1이다)

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

정답 2번

출제 포인트

굴절률이 n인 매질에서 굴절률 1인 공기로 빛이 나아갈 때, 전반사가 일어나는 임계각 조건을 스넬의 법칙으로 세워 매질의 굴절률 n을 구하는 문항이다. '입사각이 45°보다 크면 전반사한다'는 문장이 임계각이 정확히 45°임을 뜻한다는 점을 읽어내는 것이 핵심이다.

조건 정리

빛은 굴절률 n인 매질에서 굴절률 1인 공기 쪽으로 진행한다(광밀 매질 → 광소 매질). 임계각 $\theta_c = 45^\circ$이며, 임계각에서는 굴절각이 90°가 된다.

사용할 공식

스넬의 법칙 $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$를 임계각 조건에 적용하면 $n \sin\theta_c = 1 \cdot \sin 90^\circ$이다.

계산 과정

$n \sin 45^\circ = \sin 90^\circ = 1$이므로 $n = \frac{1}{\sin 45^\circ} = \frac{1}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \sqrt{2}$이다.

선지 판단

① $\frac{\sqrt{2}}{2}$ → X. 이는 $\sin 45^\circ$의 값 자체이며 역수를 취하지 않은 값이므로 n이 될 수 없다.
② $\sqrt{2}$ → O. $n = 1/\sin 45^\circ = \sqrt{2}$로 계산 결과와 일치한다.
③ $\sqrt{3}$ → X. 임계각이 60°일 때 나오는 값($1/\sin 60^\circ = 2/\sqrt{3}$이 아니라 다른 각 조건과 혼동하기 쉬운 값)으로, 이 문제의 45° 조건과는 맞지 않는다.
④ 2 → X. 임계각이 30°일 때의 값($1/\sin 30^\circ = 2$)이며, 이 문제의 조건인 45°에는 해당하지 않는다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $n = \sin\theta_c$로 잘못 계산해 ①을 고르는 것이다. 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 나아갈 때 임계각 공식은 $n = 1/\sin\theta_c$로 역수 관계임을 놓치지 않아야 한다. 또한 '입사각이 45°보다 크면 전반사'라는 표현에서 45°가 임계각이라는 점을 놓치고 다른 각으로 착각하지 않도록 주의한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전반사·임계각 문제가 나오면 먼저 빛이 어느 매질에서 어느 매질로 향하는지(광밀 → 광소)를 확인하고, 문제에서 제시된 각이 임계각인지 확인한다. 이후 굴절각을 90 °로 놓고 스넬의 법칙에 대입해 $n = 1/\sin\theta_c$로 정리하면 빠르게 답을 구할 수 있다.

암기 포인트

굴절률 n인 매질에서 공기(굴절률 1)로 나아갈 때 임계각 θ_c와 굴절률의 관계는 $n = \frac{1}{\sin\theta_c}$이다. $\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$의 역수가 $\sqrt{2}$임을 기억해 둔다.

NoteBase

문 6. 직선도로를 따라 진동수 760 Hz의 사이렌을 울리는 소방차가 속력 40m/s로 달리고 있고, 소방차 뒤를 자동차가 속력 30m/s로 따라가고 있다. 이때, 자동차에 탄 운전자에게 들리는 사이렌의 진동수[Hz]는? (단, 공기 중 음속은 340m/s이다)

① 620

② 660

③ 700

④ 740

정답 4번

출제 포인트

음원(소방차)과 관측자(자동차)가 같은 방향으로 함께 움직이면서 음원이 관측자보다 더 빠른 상황의 도플러 효과를 계산하는 문제이다. 음원과 관측자의 운동 방향을 각각 판단해 도플러 효과 공식의 부호를 올바르게 정하는 것이 핵심이다.

조건 정리

사이렌 원래 진동수 $f_0 = 760$ Hz, 음속 $v = 340$ m/s, 소방차(음원) 속력 $v_s = 40$ m/s, 자동차(관측자) 속력 $v_o = 30$ m/s. 소방차가 자동차보다 앞서서 같은 방향으로 더 빠르게 달리므로 소방차는 자동차로부터 멀어지고, 자동차는 소방차를 쫓아가는 방향 즉 음원 쪽으로 다가가는 방향으로 움직인다.

사용할 공식

일반 도플러 효과 공식은 다음과 같다.

$f' = f_0 \cdot \frac{v + v_o}{v + v_s}$

여기서 관측자가 음원 쪽으로 다가가면 v_o는 분자에서 더하고, 음원이 관측자로부터 멀어지면 v_s는 분모에서 더한다.

계산 과정

자동차(관측자)는 소방차를 쫓아가는 방향, 즉 음원을 향해 다가가는 방향으로 이동하므로 분자에 $+v_o$를 적용한다. 소방차(음원)는 자동차보다 빠르게 같은 방향으로 달아나므로 자동차로부터 멀어지는 음원이 되어 분모에 $+v_s$를 적용한다.

$f' = 760 \times \frac{340 + 30}{340 + 40} = 760 \times \frac{370}{380}$

$f' = \frac{760 \times 370}{380} = \frac{281200}{380} = 740$ Hz

따라서 자동차 운전자에게 들리는 사이렌의 진동수는 740 Hz이다.

NoteBase

선지 판단

① 620: 음원과 관측자의 속력을 반대 부호로 적용하거나 계산을 잘못한 값으로, 740과 맞지 않는 오답이다.
② 660: 관측자 항과 음원 항을 서로 바꾸어 계산한 경우 나올 수 있는 값으로, 방향 설정이 틀린 오답이다.
③ 700: 관측자가 다가가는 효과($+v_o$)를 빠뜨리고 음원이 멀어지는 효과만 반영해 $760 \times 340/380$으로 계산하면 나오는 값으로, 관측자 운동을 누락한 오답이다.
④ 740: $f' = 760 \times (340 + 30)/(340 + 40) = 740$ Hz로 옳게 계산된 값이므로 정답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 음원과 관측자가 모두 움직이는데 두 물체가 같은 방향으로 이동한다는 점이다. 소방차가 자동차보다 빠르므로 소방차는 자동차로부터 멀어지지만, 자동차 자신은 소방차가 있는 방향으로 계속 다가가고 있다는 사실을 놓치면 관측자 항의 부호를 빠뜨리거나 반대로 적용하게 된다. 음원과 관측자의 부호를 각각 독립적으로, '멀어지는지/다가가는지'로만 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 물체가 같은 방향으로 움직이는 도플러 문제가 나오면, 먼저 음원이 관측자로부터 멀어지는지 다가가는지, 그리고 관측자가 음원 쪽으로 다가가는지 멀어지는지를 각각 따로 판단한다. 관측자가 다가가면 분자는 $v + v_o$, 멀어지면 $v - v_o$이고, 음원이 멀어지면 분모는 $v + v_s$, 다가가면 $v - v_s$이다. 이 네 가지 부호를 상황에 맞게 조합해 대입하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

도플러 효과 공식 $f' = f_0 \cdot \frac{v + v_o}{v + v_s}$에서 관측자가 음원에 다가가면 분자는 커지고(+), 음원이 관측자에서 멀어지면 분모도 커진다(+)는 것을 기억해 둔다. 같은 방향으로 두 물체가 움직일 때는 속력 차이가 아니라 각 물체의 이동 방향과 상대 위치를 기준으로 부호를 따로 정한다.

NoteBase

문 7. 출발점에서 도착점까지 움직이는 자동차가 있다. 처음 절반의 거리는 평균 속력 100km/h로, 나머지 절반의 거리는 평균 속력 25km/h로 이동했다면, 출발점에서 도착점까지 자동차의 평균 속력 [km/h]은?

① 40

② 50

③ 60

④ 70

정답 1번

출제 포인트

같은 거리를 서로 다른 속력으로 왕복(또는 구간 이동)할 때 전체 평균 속력을 구하는 문제이다. 평균 속력은 각 구간 속력의 산술평균이 아니라, 전체 이동 거리를 전체 이동 시간으로 나눈 값이라는 점이 핵심이다.

조건 정리

전체 거리를 $2d$라 하면 처음 절반 거리 d는 평균 속력 100 km/h로, 나머지 절반 거리 d는 평균 속력 25 km/h로 이동한다. 두 구간의 거리는 서로 같고 속력만 다르다.

사용할 공식

평균 속력 v_avg = 전체 이동 거리전체 이동 시간이다. 각 구간의 이동 시간은 $t = \frac{d}{v}$로 구한다.

계산 과정

처음 절반 구간의 이동 시간은 $t_1 = \frac{d}{100}$이고, 나머지 절반 구간의 이동 시간은 $t_2 = \frac{d}{25} = \frac{4d}{100}$이다. 전체 이동 시간은 $t_1 + t_2 = \frac{d}{100} + \frac{4d}{100} = \frac{5d}{100} = \frac{d}{20}$이다. 전체 이동 거리는 $2d$이므로 평균 속력은 $v_{avg} = \frac{2d}{d/20} = 2d \times \frac{20}{d} = 40$ km/h이다.

선지 판단

① 40: 위 계산대로 전체 평균 속력은 40 km/h이므로 옳다.
② 50: 두 속력 100과 25의 산술평균 $\frac{100+25}{2} = 62.5$도 아니고, 다른 값과도 맞지 않는 오답이다. 거리가 같을 때는 산술평균이 아니라 조화평균 개념을 써야 한다는 점을 놓치면 나오기 쉬운 값이다.
③ 60: 산술평균 62.5에 가깝게 어림해 계산 실수를 했을 때 나올 수 있는 오답이다.
④ 70: 속력 값을 시간 대신 거리처럼 취급해 잘못 평균한 경우 나올 수 있는 오답이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 속력의 단순 산술평균 $\frac{100+25}{2}=62.5$를 답으로 고르는 것이다. 이동 거리가 같고 속력이 다를 때는 이동 시간이 서로 다르기 때문에, 시간이 더 오래 걸리는 느린 구간(25 km/h)의 영향이 더 커져 전체 평균 속력은 산술평균보다 작아진다. 실제로 40은 62.5보다 훨씬 작은 값으로, 느린 구간에 가중치가 더 실린 결과이다.

다시 나오면 이렇게 판단

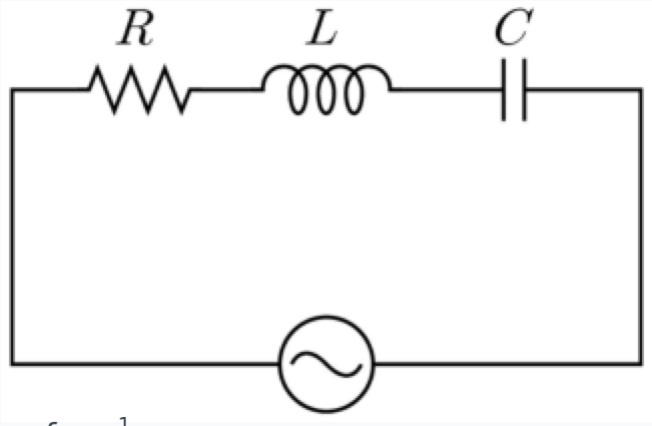
같은 거리를 두 속력으로 나누어 이동한 뒤 전체 평균 속력을 묻는 문제는 항상 거리를 d(또는 임의의 공통값, 예를 들어 두 속력의 최소공배수)로 두고 각 구간의 시간을 직접 구해 더한 뒤, 전체 거리를 전체 시간으로 나누는 방식으로 푼다. 두 속력이 v_1, v_2이면 전체 평균 속력은 $\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$로 정리되므로, 이번 문제에서는 $\frac{2\times100\times25}{100+25}=\frac{5000}{125}=40$으로 바로 검산할 수 있다.

암기 포인트

같은 거리를 서로 다른 속력으로 이동할 때 전체 평균 속력은 두 속력의 조화평균 $\frac{2v_1v_2}{v_1+v_2}$이며, 이는 항상 두 속력의 산술평균보다 작거나 같다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 8. 그림은 저항값이 R인 저항기, 유도용량이 L인 유도기, 전기 용량이 C인 축전기가 직렬로 연결된 회로를 나타낸 것이다. 교류 전원의 공명 진동수 f_0로 구동될 때, 이 회로에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?



ㄱ. $f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$이다.

ㄴ. 이 회로의 임피던스는 R이다.

ㄷ. 유도기 양단과 축전기 양단 각각에 걸린 전압의 위상차는 $180\,^\circ$이다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄱ, ㄷ

④ ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

R, L, C가 직렬로 연결된 교류 회로에서 공명(공진) 조건이 성립할 때의 공명 진동수 공식, 임피던스의 크기, 그리고 유도기와 축전기 각각에 걸리는 전압의 위상 관계를 정확히 아는지 묻는 문항이다. ㄱ, ㄴ, ㄷ 세 진술의 참·거짓을 각각 판정한 뒤 옳은 것만 골라야 한다.

조건 정리

직렬 RLC 회로에 교류 전원이 연결되어 있고, 전원의 각진동수가 공명 각진동수 ω_0와 같아지도록(즉 진동수가 공명 진동수 f_0가 되도록) 구동되는 상황이다. 공명 조건에서는 유도 리액턴스와 용량 리액턴스의 크기가 서로 같아진다.

사용할 공식

직렬 RLC 회로의 임피던스는 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 이며, 여기서 유도 리액턴스는 $X_L = \omega L$, 용량 리액턴스는 $X_C = \frac{1}{\omega C}$이다. 공명 조건은 $X_L = X_C$, 즉 $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$이며 이를 풀면 공명 각진동수는 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, 공명 진동수는 $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이다.

NoteBase

계산 과정

공명 진동수 공식을 유도하면 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이므로 2π가 반드시 포함되어야 한다. 공명 조건에서 임피던스는 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + 0^2} = R$이 되어 리액턴스 성분이 사라지고 저항 성분만 남는다. 한편 유도기에 걸리는 전압 V_L은 전류보다 위상이 90° 앞서고, 축전기에 걸리는 전압 V_C는 전류보다 위상이 90° 뒤처지므로, V_L과 V_C 사이의 위상차는 $90^\circ - (-90^\circ) = 180^\circ$로 항상 서로 반대 방향(역상)이다.

선지 판단

ㄱ: X. 공명 진동수는 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$이며 분모에 2π가 빠진 $f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$는 틀린 식이다(이것은 공명 각진동수 ω_0에 해당하는 값이지 진동수 f_0가 아니다).
ㄴ: O. 공명 시 유도 리액턴스와 용량 리액턴스가 서로 상쇄되어 임피던스는 저항 성분만 남아 $Z = R$이 된다.
ㄷ: O. 직렬 회로에서 전류는 공통이고, 유도기 전압은 전류보다 90° 앞서며 축전기 전압은 전류보다 90° 뒤처지므로 두 전압의 위상차는 항상 180°이다(공명 여부와 무관하게 성립하는 관계이다).
따라서 옳은 것은 ㄴ, ㄷ이므로 정답은 ④번이다.

오답 포인트

①, ③번은 ㄱ을 옳다고 판단한 경우인데, $f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$는 각진동수 ω_0의 식이지 진동수 f_0의 식이 아니라는 점을 놓친 것이다. 진동수와 각진동수를 혼동하면 이 함정에 빠지기 쉽다. ②번은 ㄷ을 틀렸다고 판단한 경우인데, 유도기와 축전기의 전압 위상이 전류를 기준으로 각각 +90°, -90°로 정반대 방향이라는 사실을 놓친 것이다.

다시 나오면 이렇게 판단

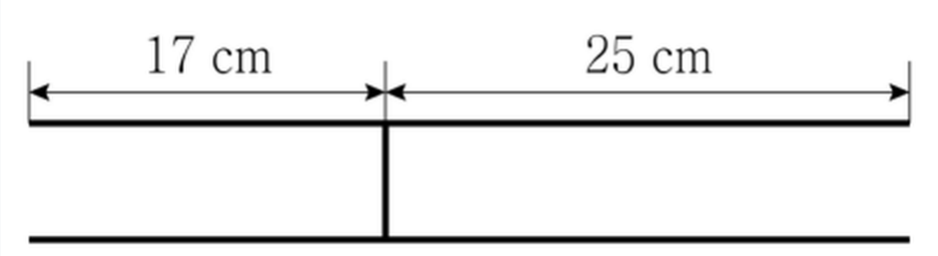
직렬 RLC 회로 문제에서는 먼저 공명 조건($X_L = X_C$)을 적용해 임피던스가 R로 단순화된다는 점부터 확인한다. 그다음 공명 진동수 공식에 반드시 2π가 들어가는지(각진동수 식과 진동수 식을 구분) 확인하고, 마지막으로 L과 C에 걸리는 전압이 전류 대비 각각 +90°, -90° 위상이므로 서로 180° 위상차(역상)를 이룬다는 성질을 떠올린다.

암기 포인트

직렬 RLC 공명 진동수는 $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$(각진동수는 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$), 공명 시 임피던스는 $Z = R$로 최소가 되어 전류가 최대가 되며, 유도기 전압과 축전기 전압은 공명 여부와 관계없이 항상 180° 위상차(역상)를 이룬다는 세 가지를 함께 묶어 기억해 둔다.

NoteBase

문 9. 그림과 같이 양쪽이 열려 있고 중간 부분이 막혀 있는 관이 있다. 이 관에서 발생하는 3차 조화모드까지의 정상파들에 의한 맥놀이 진동수[Hz]가 아닌 것은? (단, 공기 중 음속은 340m/s이다)



① 160

② 320

③ 520

④ 1,160

정답 2번

출제 포인트

양쪽 끝이 열려 있고 중간이 막힌 관은 막힌 지점을 경계로 서로 독립된 두 개의 '한쪽 막힌 관(폐관)'으로 나뉜다는 점을 파악하는 것이 핵심이다. 왼쪽 구간(17 cm)과 오른쪽 구간(25 cm)은 각각 열린 끝과 막힌 끝을 하나씩 가지므로, 두 구간 모두 폐관의 고유진동수 공식(홀수 배음만 존재)을 따른다. 이렇게 구한 여러 정상파 진동수들 중 두 개씩 짝지어 차이를 낸 값(맥놀이 진동수)에 해당하지 않는 것을 고르는 문제이다.

조건 정리

음속 $v = 340$ m/s. 막힌 지점을 기준으로 왼쪽 구간 길이 $L_1 = 17$ cm $= 0.17$ m(한쪽 열림·한쪽 막힘), 오른쪽 구간 길이 $L_2 = 25$ cm $= 0.25$ m(한쪽 열림·한쪽 막힘). 한쪽 막힌 관(폐관)은 홀수차 배음($n = 1, 3, 5, \ldots$)만 존재하므로, '3차 조화모드까지'는 각 구간에서 $n = 1$과 $n = 3$에 해당하는 정상파까지를 의미한다.

사용할 공식

한쪽 막힌 관의 고유진동수: $f_n = \frac{nv}{4L}, \quad n = 1, 3, 5, \ldots$ 두 정상파의 맥놀이(beat) 진동수: $f_{beat} = |f_a - f_b|$

NoteBase

계산 과정

왼쪽 구간($L_1 = 0.17$ m)의 진동수: $f_1 = \frac{1 \times 340}{4 \times 0.17} = 500$ Hz, $f_3 = \frac{3 \times 340}{4 \times 0.17} = 1500$ Hz 오른쪽 구간($L_2 = 0.25$ m)의 진동수: $f_1' = \frac{1 \times 340}{4 \times 0.25} = 340$ Hz, $f_3' = \frac{3 \times 340}{4 \times 0.25} = 1020$ Hz 이렇게 얻은 네 개의 정상파 진동수는 500, 1500, 340, 1020 Hz이다. 이 중 서로 다른 두 값의 차이(맥놀이 진동수)를 모두 구하면 다음과 같다. $500 - 340 = 160$ Hz / $1020 - 500 = 520$ Hz / $1500 - 340 = 1160$ Hz / $1500 - 1020 = 480$ Hz / $1500 - 500 = 1000$ Hz / $1020 - 340 = 680$ Hz. 즉 가능한 맥놀이 진동수는 160, 480, 520, 680, 1000, 1160 Hz이며, 320 Hz는 이 조합 어디에서도 나오지 않는다.

선지 판단

① 160: $500 - 340 = 160$ Hz로 실제 나타나는 맥놀이 진동수이다. X

② 320: 네 정상파 진동수(500, 1500, 340, 1020) 중 어떤 두 값의 차이로도 320 Hz가 나오지 않는다. 이 관에서 발생할 수 없는 맥놀이 진동수이므로 이것이 정답이다. O

③ 520: $1020 - 500 = 520$ Hz로 실제 나타나는 맥놀이 진동수이다. X

④ 1,160: $1500 - 340 = 1160$ Hz로 실제 나타나는 맥놀이 진동수이다. X

오답 포인트

가장 흔한 실수는 중간이 막혀 있다는 것을 무시하고 관 전체 길이(42 cm)를 하나의 관으로 놓고 고유진동수를 구하는 것이다. 이 경우 완전히 다른 값들이 나와 정답을 찾을 수 없다. 또한 폐관이라는 것을 알아도 짝수차 배음(2차, 4차 등)까지 포함시키면 안 되며, '3차까지'라는 표현이 홀수차 배음 중 $n = 1, 3$만 의미한다는 점을 놓치지 않아야 한다. 마지막으로 맥놀이 진동수를 구할 때는 같은 구간 내 두 배음끼리의 차이뿐 아니라 서로 다른 구간의 배음끼리의 차이도 모두 고려해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

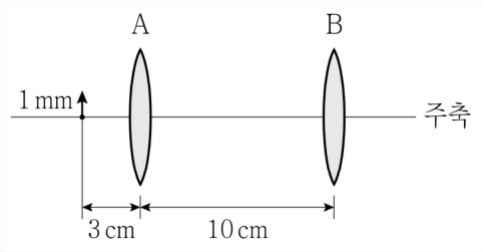
관의 중간이 막혀 있으면 그 지점을 경계로 두 개의 독립된 폐관(한쪽 열림·한쪽 막힘)으로 나누어 각각 홀수차 배음 공식을 적용한다. 이후 구해진 모든 정상파 진동수를 나열하고, 두 개씩 짝을 지어 차이를 전부 계산한 뒤 선택지와 대조하면 어느 값이 실제로 나타날 수 없는지 바로 확인할 수 있다.

암기 포인트

한쪽 열림·한쪽 막힘 관(폐관)의 고유진동수는 $f_n = \frac{nv}{4L}$이고 n은 홀수(1, 3, 5, ⋯)만 가능하다. 맥놀이 진동수는 항상 두 진동수의 차이의 절댓값이며, 여러 정상파가 있을 때는 가능한 모든 쌍의 차이를 빠짐없이 확인해야 한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 얇은 볼록렌즈 A, B가 10 cm 간격을 두고 떨어져 있고, A로부터 3 cm 떨어진 지점에 1 mm 크기의 물체가 놓여 있다. A, B의 초점거리는 각각 2 cm, 3 cm이다. A, B의 조합에 의해 생기는 물체의 상의 크기[mm]는?



① 3

② 6

③ 12

④ 16

정답 2번

출제 포인트

두 개의 얇은 볼록렌즈를 순서대로 통과하는 상 형성 문제이다. 렌즈 A가 만든 상이 렌즈 B에 대한 새로운 물체가 되므로, 렌즈 공식과 배율식을 두 번 연속 적용하고 각 단계의 배율을 곱해 최종 상의 크기를 구하는 것이 핵심이다.

조건 정리

물체 크기 $h_0 = 1\text{mm}$, 물체와 렌즈 A 사이 거리 $u_1 = 3\text{cm}$, 렌즈 A의 초점거리 $f_1 = 2\text{cm}$, 두 렌즈 사이 간격 $d = 10\text{cm}$, 렌즈 B의 초점거리 $f_2 = 3\text{cm}$이다. 렌즈 A가 만든 상이 렌즈 B에 대해서는 물체 역할을 하며, 이때 B로부터의 물체 거리는 d에서 A의 상까지 거리를 뺀 값이 된다.

사용할 공식

얇은 렌즈 공식 $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{u}$ (물체측 거리 u는 음수로 대입)과 배율 공식 $m = \frac{v}{u}$를 각 렌즈에 순서대로 적용하고, 전체 배율은 $m = m_1 \times m_2$로 계산한다.

NoteBase

계산 과정

1단계(렌즈 A): $u_1 = -3\text{cm}$, $f_1 = 2\text{cm}$이므로 $\frac{1}{v_1} = \frac{1}{2} - \frac{1}{3} = \frac{1}{6}$, 즉 $v_1 = 6\text{cm}$이다. 배율 $m_1 = \frac{v_1}{u_1} = \frac{6}{-3} = -2$이다. 즉 A는 A로부터 6 cm 뒤(B 쪽)에 물체 크기의 2배인 도립상을 만든다.
2단계(렌즈 B): A의 상은 A와 B 사이 10 cm 중 6 cm 지점에 생기므로, B 앞쪽으로 $10 - 6 = 4\text{cm}$ 떨어진 곳에 위치한 실물체가 된다. 따라서 $u_2 = -4\text{cm}$, $f_2 = 3\text{cm}$이고 $\frac{1}{v_2} = \frac{1}{3} - \frac{1}{4} = \frac{1}{12}$, 즉 $v_2 = 12\text{cm}$이다. 배율 $m_2 = \frac{v_2}{u_2} = \frac{12}{-4} = -3$이다.
전체 배율은 $m = m_1 \times m_2 = (-2) \times (-3) = 6$이므로, 최종 상의 크기는
$h = |m| \times h_0 = 6 \times 1\text{mm} = 6\text{mm}$이다.

선지 판단

① 3 — X. A 단독 배율(2배)만 반영하거나 계산 과정에서 두 렌즈의 배율을 곱하지 않고 하나만 반영하면 나올 수 있는 값이나, B에 의한 추가 확대를 빠뜨린 값이다.
② 6 — O. A의 배율 -2와 B의 배율 -3을 모두 곱한 전체 배율 6배를 물체 크기 1 mm에 곱한 값과 일치한다.
③ 12 — X. A가 만든 상의 크기(2 mm)를 B의 초점거리(3 cm)와 단순히 곱하는 등 배율 공식을 잘못 적용하면 나올 수 있는 값이다.
④ 16 — X. B에 대한 물체 거리를 $10 - 6 = 4\text{cm}$가 아니라 다른 값으로 잘못 설정했을 때 나올 수 있는 값이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 렌즈 B에 대한 물체 거리를 정하는 부분이다. A와 B 사이 간격이 10 cm라고 해서 B의 물체 거리를 그대로 10 cm로 두면 안 되고, 반드시 A가 만든 상의 위치(A로부터 6 cm)를 먼저 구한 뒤 그 상과 B 사이의 거리인 $10 - 6 = 4\text{cm}$를 B의 물체 거리로 사용해야 한다. 또한 최종 배율은 각 렌즈 배율의 합이 아니라 곱이라는 점도 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

렌즈 두 개 이상이 조합된 문제는 항상 앞 렌즈의 상의 위치부터 구하고, 그 상이 뒤 렌즈에 대한 물체가 된다는 점을 확인한다. 뒤 렌즈의 물체 거리는 두 렌즈 사이 간격에서 앞 렌즈 상까지의 거리를 뺀 값으로 정하고, 최종 배율은 각 단계 배율의 곱으로 계산한다.

암기 포인트

얇은 렌즈 공식 $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{u}$(물체 거리는 음수)과 배율 $m = \frac{v}{u}$를 기억해 둔다. 렌즈 조합 문제에서 전체 배율은 각 렌즈 배율의 곱이며, 뒤 렌즈의 물체 거리는 렌즈 간격에서 앞 렌즈의 상까지 거리를 뺀 값임을 기억해 둔다.

NoteBase

문 11. 일정량의 이상기체가 단열팽창하여 부피가 두 배가 되었다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 이 기체의 압력은 감소하였다.
ㄴ. 이 기체의 내부 에너지는 감소하였다.
ㄷ. 이 과정 동안 기체는 일을 하지 않았다.

① ㄱ
② ㄷ
③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

단열과정(斷熱過程)에서 이상기체가 팽창할 때 압력·내부에너지·일의 관계를 열역학 제1법칙과 단열 상태방정식으로 판단할 수 있는지를 묻는다. 단열팽창은 외부와 열 교환이 없는 상태($Q = 0$)에서 기체가 스스로 부피를 넓히며 외부에 일을 하는 과정이라는 점이 핵심이다.

조건 정리

일정량의 이상기체가 단열팽창($Q = 0$)하여 부피가 처음의 두 배($V_2 = 2V_1$)가 되었다. 이 과정에서 압력, 내부에너지, 기체가 한 일의 변화를 따진다.

사용할 공식

열역학 제1법칙: $\Delta U = Q - W$ (여기서 W는 기체가 외부에 한 일). 단열 과정에서는 $Q = 0$이므로 $\Delta U = -W$ 이다. 또한 단열 과정의 상태방정식 PV^γ=일정($\gamma > 1$)과 이상기체 상태방정식 $PV = nRT$를 함께 사용한다.

계산 과정

단열팽창이므로 $Q = 0$이고, 기체가 부피를 넓히면서 외부에 양(+)의 일 $W > 0$을 한다. 열역학 제1법칙 $\Delta U = Q - W = -W < 0$에 의해 내부에너지는 감소한다. 이상기체의 내부에너지는 온도에만 비례하므로($U \propto T$) 내부에너지 감소는 곧 온도 하락을 의미한다. 한편 단열 과정에서는 PV^γ=일정이 성립하고 $\gamma > 1$ 이므로, 부피 V가 2배로 늘어나면 압력 P는 $1/2^{\gamma}$배로 줄어들어 처음보다 감소한다(등온팽창의 단순한 $P \propto 1/V$ 보다도 더 크게 감소한다). 즉 부피 증가와 온도 하락이 동시에 작용해 압력은 확실히 낮아진다. 정리하면 압력 감소(ㄱ 참), 내부에너지 감소(ㄴ 참), 기체가 일을 함(ㄷ 거짓)이 된다.

NoteBase

선지 판단

ㄱ. 이 기체의 압력은 감소하였다 → 참. 단열팽창에서 부피가 늘고 온도가 내려가므로 $PV = nRT$에 의해 압력은 감소한다.
ㄴ. 이 기체의 내부 에너지는 감소하였다 → 참. $Q = 0$인 상태에서 기체가 외부에 일을 했으므로 $\Delta U = -W < 0$이 되어 내부에너지가 줄어든다.
ㄷ. 이 과정 동안 기체는 일을 하지 않았다 → 거짓. 부피가 늘어나는 팽창 과정이므로 기체는 외부에 양의 일을 한다(일을 하지 않는 경우는 진공으로의 자유팽창처럼 외부 압력이 없을 때에 한정되며, 이 경우는 그런 조건이 제시되지 않았다).
① ㄱ: ㄴ이 옳은데도 포함하지 않아 오답이다.
② ㄷ: 옳지 않은 보기를 골라 오답이다.
③ ㄱ, ㄴ: 옳은 보기만 모두 골라 정답이다.
④ ㄴ, ㄷ: ㄷ이 옳지 않은데 포함되어 오답이다.

오답 포인트

단열팽창을 등온팽창과 혼동해 압력이 단순히 $P \propto 1/V$로만 준다고 생각하면 안 된다. 단열팽창은 온도까지 함께 떨어지므로 압력 감소 폭이 등온팽창보다 크다는 점, 그리고 '단열'이라는 말이 '일을 하지 않는다'는 뜻이 아니라 '열 출입이 없다'는 뜻이라는 점을 구분해야 한다. 기체가 스스로 부피를 늘리는 팽창 과정에서는 진공으로의 자유팽창이 아닌 이상 항상 외부에 양의 일을 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

'단열'이라는 단어를 보면 먼저 $Q = 0$을 적어 놓고 $\Delta U = -W$ 관계부터 세운다. 팽창(부피 증가)인지 압축(부피 감소)인지에 따라 일의 부호와 내부에너지 증감이 반대로 결정된다는 점, 그리고 압력은 PV^γ=일정 또는 이상기체 상태방정식으로 부피·온도 변화를 종합해 판단한다는 점을 순서대로 적용한다.

암기 포인트

단열과정: $Q = 0$, $\Delta U = -W$. 단열팽창(V ↑) → 기체가 일을 함($W > 0$) → 내부에너지·온도 하락 → 압력은 등온팽창보다 더 크게 하락. 단열압축은 반대로 내부에너지·온도·압력이 모두 상승한다.

NoteBase

문 12. 양(+)전하와 음(-)전하 사이의 전기력선과 등전위면에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 등전위면은 전기력선과 평행하다.

② 전기력선의 수는 전하의 크기에 비례한다.

③ 양전하에서 나온 전기력선은 음전하로 들어간다.

④ 한 등전위면에서 서로 다른 두 지점 사이의 전위차는 0이다.

정답 1번

출제 포인트

전기력선과 등전위면의 기하학적 관계, 그리고 전기력선의 방향·개수·전위차에 대한 기본 성질을 정확히 알고 있는지 묻는 문항이다. 등전위면과 전기력선이 서로 수직이라는 사실을 알면 옳지 않은 선지를 바로 찾아낼 수 있다.

핵심 개념

전기력선은 전위가 가장 빠르게 감소하는 방향을 가리키는 선이고, 등전위면은 전위가 같은 점들을 이은 면이다. 전위가 일정한 방향(등전위면을 따르는 방향)으로는 전위 변화가 없으므로, 전기력선(전위 변화가 가장 큰 방향)과 등전위면은 서로 수직을 이룬다. 전기력선의 수는 가우스 법칙에 의해 전하량 크기에 비례하고, 전기력선은 양전하에서 나와 음전하로 들어가는 방향을 가진다. 또한 등전위면 위의 모든 점은 전위가 동일하므로 그 위의 어느 두 지점 사이의 전위차도 항상 0이다.

선지별 해설

① X: 등전위면은 전기력선과 평행한 것이 아니라 수직(직각)을 이룬다. 전기력선을 따라 이동하면 전위가 변하는 반면, 등전위면을 따라 이동하면 전위가 변하지 않기 때문에 두 곡선(면)은 항상 서로 수직으로 만난다. 틀린 표현 '평행하다' → 올바른 표현 '수직이다(직각으로 만난다)'.

② O: 전기력선의 수는 전하의 크기에 비례한다. 가우스 법칙에 의해 어떤 폐곡면을 통과하는 전기력선의 총수는 그 안에 있는 전하량에 비례하므로, 전하가 클수록 전기력선의 수도 많아진다.

③ O: 전기력선은 양전하에서 나와 음전하로 들어가는 방향으로 그려진다. 양(+)전하와 음(-)전하 사이에서는 전기력선이 양전하 표면에서 출발해 음전하 표면으로 도달하는 형태를 이룬다.

④ O: 등전위면 위의 모든 점은 전위 값이 동일하므로, 같은 등전위면 위에 있는 서로 다른 두 지점 사이의 전위차는 항상 0이다.

오답 포인트

등전위면과 전기력선의 관계를 '평행'과 '수직'으로 혼동하기 쉽다. 전기력선은 전위가 변하는 방향(가장 급하게 감소하는 방향)을 나타내고, 등전위면은 전위가 변하지 않는 면이므로 둘은 항상 직각으로 만난다는 점을 명확히 구분해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전기력선과 등전위면이 함께 등장하는 문제에서는 먼저 두 선(면)의 방향 관계(수직)를 확인한 뒤, 전기력선의 개수(전하량 비례), 방향(양전하→음전하), 등전위면 위 전위차(항상 0)를 순서대로 점검하면 옳지 않은 선지를 빠르게 찾을 수 있다.

암기 포인트

등전위면과 전기력선은 항상 수직으로 만난다는 것을 핵심으로 기억해 둔다. 전기력선 수는 전하량에 비례, 방향은 양전하에서 음전하로, 같은 등전위면 위 전위차는 0이라는 세 가지 성질도 함께 정리해 둔다.

NoteBase

문 13. 수평면에서 용수철에 연결된 물체가 단순조화진동을 하고 있다. 물체의 질량, 용수철 상수, 진동의 진폭이 다음과 같을 때, 역학에너지가 가장 큰 것은?

① 질량: m, 용수철 상수: k, 진폭: $2A$

② 질량: m, 용수철 상수: $2k$, 진폭: A

③ 질량: $2m$, 용수철 상수: k, 진폭: A

④ 질량: $2m$, 용수철 상수: k, 진폭: $\frac{A}{2}$

정답 1번

출제 포인트

단순조화진동을 하는 용수철진자의 역학에너지가 질량, 용수철 상수, 진폭 중 무엇에 의해 결정되는지를 묻는 문제이다. 역학에너지는 질량과는 무관하고 용수철 상수와 진폭의 제곱에 비례한다는 점이 핵심이다.

조건 정리

네 가지 경우 각각의 질량, 용수철 상수, 진폭이 표로 주어져 있다. ① 질량 m, 용수철 상수 k, 진폭 $2A$. ② 질량 m, 용수철 상수 $2k$, 진폭 A. ③ 질량 $2m$, 용수철 상수 k, 진폭 A. ④ 질량 $2m$, 용수철 상수 k, 진폭 $A/2$.

사용할 공식

단순조화진동의 역학에너지(전체 에너지)는 진폭이 최대일 때의 탄성 위치에너지와 같으므로 $E = \frac{1}{2}kA^2$ 로 주어진다. 이 식에는 질량이 포함되지 않으므로 질량은 역학에너지의 크기에 영향을 주지 않는다.

계산 과정

각 보기의 역학에너지를 $E = \frac{1}{2}k'A'^2$에 대입하여 비교한다.

① $E_1 = \frac{1}{2}k(2A)^2 = 2kA^2$

② $E_2 = \frac{1}{2}(2k)A^2 = kA^2$

③ $E_3 = \frac{1}{2}kA^2$

④ $E_4 = \frac{1}{2}k\left(\frac{A}{2}\right)^2 = \frac{1}{8}kA^2$

네 값을 비교하면 $2kA^2 > kA^2 > \frac{1}{2}kA^2 > \frac{1}{8}kA^2$이므로 ①의 역학에너지가 가장 크다.

선지 판단

① O: 역학에너지 $2kA^2$로 네 보기 중 가장 크다.

② X: 역학에너지 kA^2로 ①보다 작다.

③ X: 역학에너지 $\frac{1}{2}kA^2$로 ①, ②보다 작다.

④ X: 역학에너지 $\frac{1}{8}kA^2$로 네 보기 중 가장 작다.

NoteBase

오답 포인트

질량이 2배로 커진 ③, ④를 보고 질량이 클수록 에너지가 크다고 착각하기 쉬운데, 단순조화진동의 역학에너지 공식 $E = \frac{1}{2}kA^2$에는 질량이 들어가지 않으므로 질량의 크기는 비교에 영향을 주지 않는다. 대신 용수철 상수와 진폭에만 주목해야 하며, 특히 진폭은 제곱으로 반영되므로 진폭이 커지는 쪽이 유리하다.

다시 나오면 이렇게 판단

표 형태로 질량, 용수철 상수, 진폭이 함께 제시되고 역학에너지의 크고 작음을 묻는다면, 먼저 질량은 소거하고 용수철 상수와 진폭만 $E = \frac{1}{2}kA^2$에 대입해 값을 비교한다. 진폭이 2배가 되면 에너지는 4배가 되고, 용수철 상수가 2배가 되면 에너지도 2배가 된다는 점을 기준으로 빠르게 대소를 비교한다.

암기 포인트

단순조화진동의 역학에너지는 $E = \frac{1}{2}kA^2$로 질량과 무관하며, 용수철 상수에는 비례, 진폭에는 제곱으로 비례한다는 사실을 암기해 둔다.

NoteBase

문 14. 반지름이 R인 속이 꽉 찬 금속구가 전하량 Q로 대전되어 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 금속구의 내부에서 전기장은 0이다.
ㄴ. 금속구 표면에서 전기장의 크기는 R에 비례한다.
ㄷ. 금속구 표면에서 전기장의 방향은 표면과 수직이다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

속이 꽉 찬 대전된 금속구(도체구)의 내부와 표면에서 전기장의 크기·방향이 어떻게 결정되는지를 묻는 문항이다. 도체의 정전기적 평형 상태에서 성립하는 성질과, 점전하처럼 취급되는 도체구 외부(및 표면) 전기장의 거리 의존성을 함께 확인해야 한다.

조건 정리

금속구는 속이 꽉 찬 도체이고 반지름은 R, 총 전하량은 Q로 대전되어 있다. 정전기 평형 상태이므로 도체 내부에는 전하의 이동이 끝난 상태이고, 대전된 전하는 모두 도체 표면에 균일하게 분포한다.

사용할 공식

도체 내부 전기장: E_내부 = 0. 도체구 표면(및 외부)의 전기장은 전하가 중심에 모인 점전하와 같게 취급되어 $E(r) = \frac{kQ}{r^2}$이며, 표면($r = R$)에서는 E_표면 = (kQ)/(R^2)이다. 전기장의 방향은 등전위면인 도체 표면에 항상 수직이다.

계산 과정

정전기 평형에 도달한 도체 내부에서는 자유전자가 재배치되어 알짜 전기장이 존재하지 않으므로 E_내부 = 0이다 → ㄱ은 옳다.
표면에서의 전기장 크기는 E_표면 = (kQ)/(R^2)로 R^2에 반비례하는 관계이지 R에 비례하는 관계가 아니다 → ㄴ은 틀렸다.
도체 표면은 등전위면이고, 전기장은 등전위면에 항상 수직이므로 표면에서 전기장의 방향은 표면과 수직이다 → ㄷ은 옳다.
따라서 옳은 것은 ㄱ, ㄷ이다.

NoteBase

선지 판단

① ㄱ: 옳은 내용이지만 ㄷ도 옳으므로 ㄱ만 고르는 것은 틀린 선지 → X

② ㄴ: 표면 전기장 크기는 R에 비례하지 않고 $\frac{1}{R^2}$에 비례하므로 틀린 진술 → X

③ ㄱ, ㄷ: 도체 내부 전기장이 0이라는 것과 표면 전기장이 표면에 수직이라는 것 모두 정전기 평형의 성질과 일치 → O

④ ㄴ, ㄷ: ㄴ이 틀린 진술(비례가 아니라 반비례)이므로 틀림 → X

오답 포인트

ㄴ을 옳다고 판단하는 실수는 전기장 공식 $E = \frac{kQ}{r^2}$에서 분모의 r^2 반비례 관계를 반비례가 아닌 비례로 착각하거나, 표면전하밀도 $\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$의 R^2 의존성을 전기장 자체의 의존성과 혼동하는 데서 나온다. 표면에서 전기장 크기는 반지름이 커질수록 오히려 작아진다는 점을 정확히 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

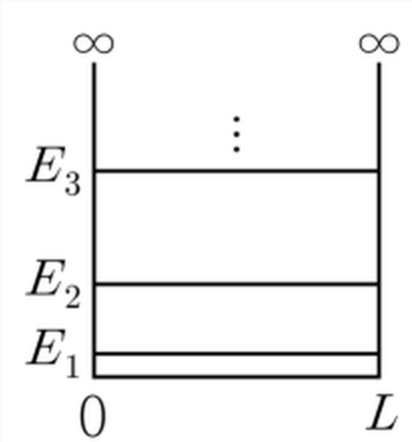
대전된 도체구 문제가 나오면 먼저 내부 전기장은 항상 0이라는 점을 확정하고, 표면(및 외부)은 전하가 중심에 모인 점전하로 치환해 $E = \frac{kQ}{r^2}$를 적용한다. 전기장의 방향은 도체 표면이 등전위면이라는 사실로부터 항상 표면에 수직임을 바로 떠올린다.

암기 포인트

대전된 도체(속이 꽉 찬 도체구)는 내부 전기장 0, 표면 전기장은 점전하 공식 $E = \frac{kQ}{r^2}$을 따르며 항상 표면에 수직이라는 세 가지 성질을 한 세트로 기억해 둔다.

NoteBase

문 15. 그림은 폭이 L인 1차원 무한 퍼텐셜 우물 안에 갇힌 입자의 양자화된 에너지 준위 $E_n(n = 1, 2, 3, \ldots)$을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 에너지 준위는 n에 비례한다.

② 에너지 준위는 L이 커질수록 낮아진다.

③ 우물 밖에서 입자를 발견할 확률이 존재한다.

④ E_2 상태에서 E_1 상태로 입자가 전이할 때 에너지를 흡수한다.

정답 2번

출제 포인트

폭 L인 1차원 무한 퍼텐셜 우물에 갇힌 입자의 양자화된 에너지 준위 공식을 이용해 n과 L에 대한 의존성, 파동함수의 경계조건, 준위 간 전이 시 에너지 방출·흡수를 종합적으로 판단하는 문제이다.

조건 정리

우물의 폭은 L이고 양쪽 벽에서 퍼텐셜이 무한대이므로 벽에서 파동함수는 반드시 0이 되어야 한다. 이 경계조건에 의해 우물 내부에는 정상파만 허용되고, 양자수 $n = 1, 2, 3, \ldots$에 따라 에너지가 불연속적으로 양자화된다.

사용할 공식

1차원 무한 퍼텐셜 우물의 에너지 준위는 $E_n = \frac{n^2\pi^2\hbar^2}{2mL^2} = \frac{n^2h^2}{8mL^2}$ 로 주어진다. 여기서 m은 입자의 질량, h는 플랑크 상수, $\hbar = h/2\pi$이다.

NoteBase

계산 과정

공식에서 $E_n \propto n^2$이므로 에너지는 양자수 n의 제곱에 비례하고 n에 단순 비례하지 않는다. 또한 $E_n \propto 1/L^2$이므로 우물의 폭 L이 커지면 분모가 커져 에너지 준위는 낮아진다. 한편 무한 퍼텐셜 우물의 파동함수는 우물 경계 밖에서 항상 0이므로 입자가 우물 밖에서 발견될 확률은 없다. E_2에서 E_1로 전이하는 것은 높은 준위에서 낮은 준위로 내려가는 것이므로 그 차이만큼 에너지를 방출(광자 방출)하며, 흡수는 낮은 준위에서 높은 준위로 올라갈 때 일어난다.

선지 판단

① X: 에너지 준위는 n에 비례하는 것이 아니라 n^2에 비례한다.
② O: $E_n \propto 1/L^2$이므로 우물의 폭 L이 커질수록 에너지 준위는 낮아진다.
③ X: 무한 퍼텐셜 우물에서는 벽 밖의 퍼텐셜이 무한대이므로 파동함수가 벽 밖에서 완전히 0이 되어 입자를 발견할 확률이 존재하지 않는다.
④ X: E_2에서 E_1로 전이할 때는 에너지가 낮아지는 방향이므로 에너지를 흡수하는 것이 아니라 방출한다.

오답 포인트

①은 에너지가 n에 비례한다고 착각하기 쉬운데 실제로는 n^2에 비례한다는 지수 차이를 놓치면 안 된다. ③은 유한 우물(터널링이 가능한 경우)과 혼동하기 쉬운데, 이 문제는 무한 퍼텐셜 우물이므로 벽 밖 확률은 항상 0이다. ④는 전이 방향(높은 준위→낮은 준위)과 에너지 출입(방출↔흡수) 관계를 반대로 기억하면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

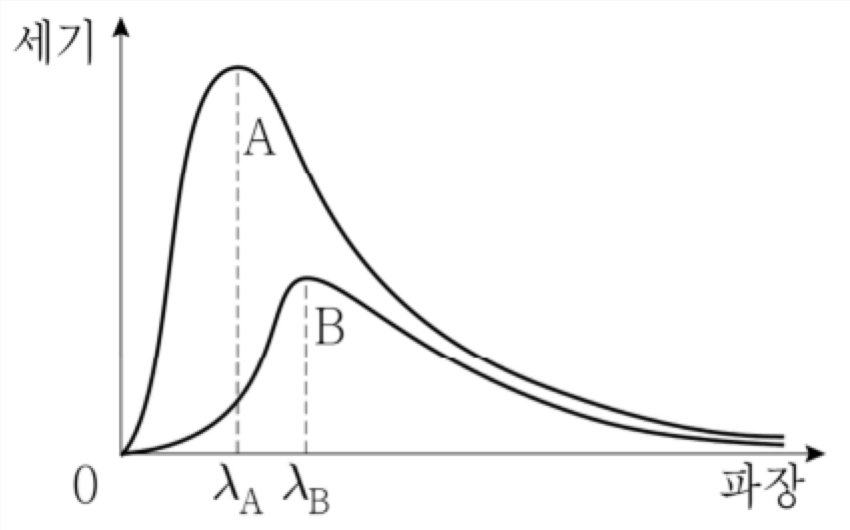
무한 퍼텐셜 우물 문제가 나오면 먼저 $E_n \propto n^2/L^2$ 공식을 떠올리고, n과 L에 대한 비례·반비례 관계를 각각 따로 확인한다. 그다음 벽 밖 확률은 유한 우물(터널링)과 무한 우물(항상 0)을 구분해서 판단하고, 마지막으로 전이 시 방출·흡수는 항상 '높은 준위→낮은 준위는 방출, 낮은 준위→높은 준위는 흡수'로 정리해서 적용한다.

암기 포인트

무한 우물 에너지 공식은 $E_n = n^2\pi^2\hbar^2/2mL^2$로 에너지는 n^2에 비례, L^2에 반비례한다고 정리해 둔다. 무한 우물은 벽 밖 확률 0(유한 우물만 터널링 가능), 전이는 '내려가면 방출, 올라가면 흡수'로 기억해 둔다.

NoteBase

문 16. 그림은 표면적이 같고 표면의 절대온도가 각각 T_A, T_B인 흑체 A, B에서 방출되는 단위 시간당 복사에너지의 세기를 파장에 따라 나타낸 것이다. λ_A, λ_B는 복사에너지의 세기가 최대인 파장이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?



ㄱ. T_A는 T_B보다 높다.

ㄴ. $\lambda_A T_A$는 $\lambda_B T_B$보다 작다.

ㄷ. 단위 시간당 방출되는 복사에너지는 A와 B가 서로 같다.

① ㄱ

② ㄷ

③ ㄱ, ㄴ

④ ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

흑체 복사 그래프에서 최대 세기 파장(λ)과 표면 온도(T)의 관계인 빈의 변위법칙, 그리고 전체 복사에너지(단위 시간당 방출 에너지)와 온도의 관계인 스테판-볼츠만 법칙을 함께 묻는 문항이다. 그래프에서 A의 그래프가 B보다 왼쪽(짧은 파장)에서 정점을 찍고, 정점의 높이(세기)도 A가 B보다 크다는 두 가지 시각 정보를 정확히 읽어내야 한다.

사용할 공식

빈의 변위법칙: $\lambda_{max} T = b$ (b는 빈의 상수로 흑체에 관계없이 일정하다). 스테판-볼츠만 법칙: 단위 시간당 단위 면적에서 방출되는 복사에너지는 $E = \sigma T^4$이므로, 표면적이 같을 때 전체 복사에너지는 T^4에 비례한다.

NoteBase

조건 정리

그래프에서 $\lambda_A < \lambda_B$이고, A 곡선의 최대 세기(높이)가 B 곡선의 최대 세기보다 크다. 두 흑체는 표면적이 서로 같다는 조건이 주어져 있다.

계산 과정

빈의 변위법칙 $\lambda T = b$에 의해 $\lambda_A T_A = \lambda_B T_B = b$로 항상 같다. 그런데 $\lambda_A < \lambda_B$이므로, 곱이 같으려면 $T_A > T_B$이어야 한다. 즉 최대 세기 파장이 짧을수록 표면 온도는 높다. 한편 표면적이 같은 두 흑체가 단위 시간당 방출하는 전체 복사에너지는 스테판-볼츠만 법칙에 따라 각각 T_A^4, T_B^4에 비례하는데, $T_A > T_B$이므로 A가 방출하는 복사에너지가 B보다 크다. 이는 그래프에서 A 곡선 아래의 면적(전체 복사에너지에 해당)이 B보다 넓게 보이는 것과도 일치한다.

선지 판단

ㄱ. T_A는 T_B보다 높다 → O. 빈의 변위법칙에 의해 $\lambda_A < \lambda_B$이면 $T_A > T_B$이므로 옳다.
ㄴ. $\lambda_A T_A$는 $\lambda_B T_B$보다 작다 → X. 빈의 변위법칙에 의해 $\lambda_A T_A = \lambda_B T_B$로 서로 같으므로 틀린 표현이다. "작다" → "같다"로 고쳐야 한다.
ㄷ. 단위 시간당 방출되는 복사에너지는 A와 B가 서로 같다 → X. 표면적이 같아도 $T_A > T_B$이므로 스테판-볼츠만 법칙에 의해 A가 방출하는 복사에너지가 B보다 크다. "서로 같다" → "A가 B보다 크다"로 고쳐야 한다.
따라서 옳은 것은 ㄱ뿐이므로 정답은 ① ㄱ이다.

오답 포인트

빈의 변위법칙의 곱 λT는 흑체의 온도나 종류에 관계없이 항상 같은 상수(빈의 상수)라는 점을 놓치면 ㄴ을 옳다고 착각하기 쉽다. 또한 그래프의 정점 파장만 보고 온도를 비교하는 데 그치지 말고, 곡선 아래 면적(또는 정점의 높이)이 스테판-볼츠만 법칙에 따른 전체 복사에너지의 크기를 반영한다는 점까지 함께 고려해야 ㄷ의 오류를 잡아낼 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

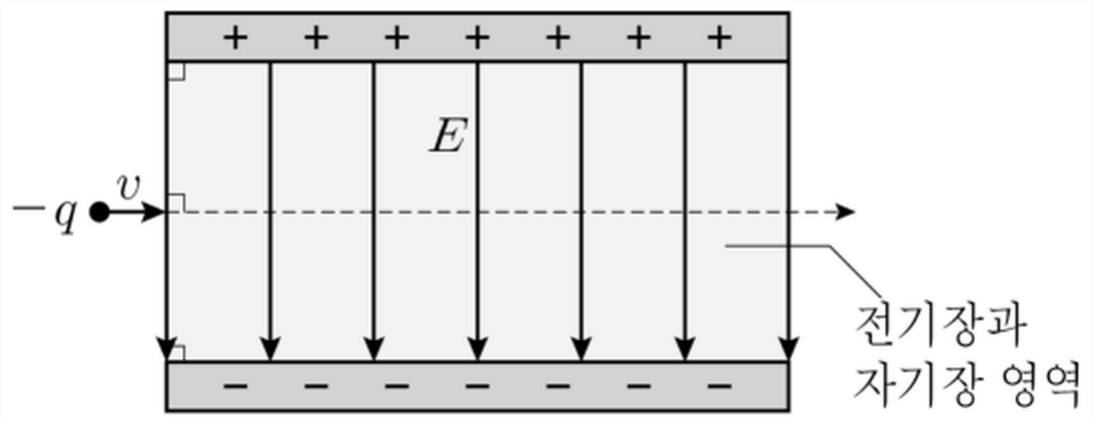
그래프에서 두 흑체의 최대 세기 파장 위치를 먼저 비교해 어느 쪽 온도가 높은지 빈의 변위법칙으로 판단한 뒤, 그 온도 비교 결과를 스테판-볼츠만 법칙에 대입해 전체 복사에너지의 대소를 판단하는 순서로 접근한다. λT가 일정하다는 조건과 $E \propto T^4$이라는 조건을 혼동하지 않는 것이 핵심이다.

암기 포인트

빈의 변위법칙: $\lambda_{max} T = b$(일정), 파장이 짧을수록 온도가 높다. 스테판-볼츠만 법칙: 단위 시간당 단위 면적당 복사에너지 $E = \sigma T^4$, 온도가 높을수록 전체 복사에너지도 커진다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 균일한 전기장 E와 균일한 자기장 B가 작용하는 영역을 속도 v로 입사한 입자가 등속 직선 운동하여 통과하였다. 이 입자의 전하량은 $-q$이고, v, E, B는 서로 수직이다. E가 아래 방향으로 작용할 때 B의 크기와 방향은? (단, 중력은 무시한다)



① B의 크기: $\left|\frac{E}{v}\right|$, B의 방향: 지면으로 들어가는 방향

② B의 크기: $\left|\frac{E}{v}\right|$, B의 방향: 지면에서 나오는 방향

③ B의 크기: $|vE|$, B의 방향: 지면으로 들어가는 방향

④ B의 크기: $|vE|$, B의 방향: 지면에서 나오는 방향

정답 1번

출제 포인트

전기장과 자기장이 동시에 작용하는 영역을 하전 입자가 편향 없이 등속 직선 운동으로 통과하는 상황, 즉 속도 선택기(velocity selector)의 힘 평형 조건을 다루는 문제이다. 전기력과 자기력이 서로 반대 방향으로 정확히 상쇄될 때만 입자가 직진하므로, 두 힘의 크기를 같게 놓고 방향을 좌표축으로 따져 B의 크기와 방향을 구하는 것이 핵심이다.

조건 정리

입자의 전하량은 $-q$이고 속도 v는 오른쪽 방향, 전기장 E는 아래 방향이다. v, E, B는 서로 수직이므로 자기장 B는 지면에 수직한 방향(들어가거나 나오는 방향)이다. 입자가 등속 직선 운동을 했다는 것은 알짜힘이 0이라는 뜻이며, 이는 전기력과 자기력이 크기가 같고 방향이 반대임을 의미한다.

사용할 공식

전기력은 $\vec{F}_E = q\vec{E}$, 자기력은 $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$이다. 등속 직선 운동(힘의 평형) 조건은 $\vec{F}_E + \vec{F}_B = 0$, 즉 $q\vec{E} + q(\vec{v} \times \vec{B}) = 0$이다.

NoteBase

계산 과정

오른쪽을 $+x$, 위쪽을 $+y$, 지면에서 나오는 방향을 $+z$로 놓는다. 전하가 $-q$이고 E가 아래 방향($-y$)이므로 전기력은 $\vec{F}_E = (-q)(-E\hat{y}) = qE\hat{y}$, 즉 위쪽으로 크기 qE이다. 등속 직선 운동을 위해서는 자기력이 이와 반대로 아래쪽 크기 qE여야 한다. 힘의 평형식 $\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0$에 $\vec{E} = -E\hat{y}$, $\vec{v} = v\hat{x}$, $\vec{B} = B_z\hat{z}$를 대입하면 $\vec{v} \times \vec{B} = vB_z(\hat{x} \times \hat{z}) = -vB_z\hat{y}$이므로 $-E\hat{y} - vB_z\hat{y} = 0$, 즉 $B_z = -E/v$를 얻는다. B_z가 음수라는 것은 B가 $+z$(지면에서 나오는 방향)의 반대, 즉 지면으로 들어가는 방향임을 뜻하며 크기는 $|B| = E/v$이다.

선지 판단

① $|E/v|$, 지면으로 들어가는 방향 - O. 계산 결과와 정확히 일치한다.
② $|E/v|$, 지면에서 나오는 방향 - X. 크기는 맞지만 방향이 반대이다. 자기력이 전기력(위쪽)을 상쇄하려면 아래쪽으로 작용해야 하는데, B가 지면에서 나오는 방향이면 자기력도 위쪽이 되어 오히려 전기력과 같은 방향으로 더해지므로 등속 직선 운동이 성립하지 않는다.
③ $|vE|$, 지면으로 들어가는 방향 - X. 방향은 맞지만 크기가 틀렸다. 자기력의 크기는 qvB이므로 전기력 qE와 같아지려면 $B = E/v$이어야 하며 $B = vE$는 차원부터 맞지 않는다.
④ $|vE|$, 지면에서 나오는 방향 - X. 크기와 방향이 모두 틀렸다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 전하가 음수($-q$)라는 사실을 놓치고 전기력의 방향을 전기장과 같은 아래쪽으로 잘못 정하는 것이다. 음전하는 전기장과 반대 방향으로 힘을 받으므로 전기력은 위쪽이 되고, 이를 상쇄할 자기력은 아래쪽이어야 한다. 자기력의 방향을 벡터곱 $\vec{v} \times \vec{B}$이 아니라 전하 부호를 반영하지 않은 $q\vec{v} \times \vec{B}$의 부호 그대로 판단하면 방향이 반대로 나오기 쉬우므로, 반드시 전하의 부호까지 곱해서 최종 힘의 방향을 정해야 한다. 또한 자기력의 크기 공식은 qvB이지 qEv나 vE가 아니므로, 힘의 균형식 $qE = qvB$에서 $B = E/v$가 나온다는 것을 차원적으로도 확인해 두어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

속도 선택기 유형은 항상 같은 순서로 접근한다. 먼저 전하의 부호를 반영해 전기력의 방향과 크기(qE)를 정하고, 등속 직선 운동이라는 조건에서 자기력이 전기력과 정반대 방향, 같은 크기여야 함을 확정한다. 그다음 자기력의 크기식 $qvB = qE$에서 $B = E/v$를 얻고, 마지막으로 오른손 법칙(또는 벡터곱)에 전하 부호를 곱해 필요한 자기력 방향이 나오도록 B의 방향(지면 안/밖)을 역으로 결정한다.

암기 포인트

속도 선택기의 힘 평형 조건은 $qE = qvB$이므로 $B = E/v$이다. 전하가 음수이면 전기력의 방향이 전기장과 반대가 된다는 점, 그리고 자기력의 방향은 전하 부호까지 곱한 $q\vec{v} \times \vec{B}$로 판단해야 한다는 점을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 18. 전기용량이 각각 C, $4C$인 평행판 축전기 A, B가 있다. A, B에는 유전율이 각각 ε, 2ε인 유전체가 채워져 있다. A의 평행판 사이의 간격이 d일 때, B의 평행판 사이의 간격은? (단, 평행판의 면적은 A, B가 같다)

① $\frac{1}{4}d$

② $\frac{1}{2}d$

③ $2d$

④ $4d$

정답 2번

출제 포인트

평행판 축전기의 전기용량 공식 $C = \frac{\varepsilon A}{d}$를 이용해, 유전율과 전기용량이 다른 두 축전기 사이에서 극판 간격의 비를 구하는 문제이다. 면적이 같다는 조건을 이용해 미지수 하나(간격)로 정리하는 능력을 확인한다.

조건 정리

축전기 A: 전기용량 C, 유전율 ε, 극판 간격 d.
축전기 B: 전기용량 4C, 유전율 2ε, 극판 간격 d_B(구하는 값).
두 축전기의 극판 면적 A는 서로 같다.

사용할 공식

평행판 축전기의 전기용량 공식은 $C = \frac{\varepsilon A}{d}$이다. 여기서 ε은 유전체의 유전율, A는 극판 면적, d는 극판 사이 간격이다.

계산 과정

축전기 A에 대해 식을 세우면 $C = \frac{\varepsilon A}{d}$이므로, 양변을 정리하면 $\varepsilon A = Cd$이다.
축전기 B에 대해서도 같은 공식을 적용하면 $4C = \frac{2\varepsilon A}{d_B}$이다.
이 식을 d_B에 대해 정리하면 $d_B = \frac{2\varepsilon A}{4C}$이다.
앞서 구한 $\varepsilon A = Cd$를 대입하면 $d_B = \frac{2Cd}{4C} = \frac{1}{2}d$이다.
따라서 B의 극판 사이 간격은 A의 절반이다.

NoteBase

선지 판단

① $\frac{1}{4}d$: X. 유전율이 2배가 되면서 전기용량 증가에 이미 기여하므로 간격이 4분의 1까지 줄어들 필요는 없다.
② $\frac{1}{2}d$: O. 계산 결과 $d_B = \frac{1}{2}d$로 정확히 일치한다.
③ $2d$: X. 간격이 늘어나면 전기용량이 오히려 줄어드는 방향이므로, 유전율이 커지고 전기용량도 4배로 커진 B의 조건과 맞지 않는다.
④ $4d$: X. 마찬가지로 전기용량이 커지려면 간격은 줄어들어야 하는데 4배로 늘어나는 것은 조건과 반대 방향이다.

오답 포인트

전기용량 공식에서 유전율과 간격이 각각 분자, 분모에 있다는 점을 놓치면 부호(비례·반비례 방향)를 반대로 적용하기 쉽다. 유전율이 커지거나 면적이 커지면 전기용량은 커지고, 간격이 커지면 전기용량은 작아진다는 방향을 먼저 확인한 뒤 비율 계산을 해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 축전기를 비교하는 문제는 공통으로 소거되는 항(이 문제에서는 면적 A)을 먼저 찾아 양쪽 식에서 없앤 뒤, 남은 변수(간격)에 대해 정리하면 계산이 빨라진다. $C = \frac{\varepsilon A}{d}$에서 $\varepsilon A = Cd$ 꼴로 바꿔두면 대입이 쉬워진다.

암기 포인트

평행판 축전기 전기용량 공식 $C = \frac{\varepsilon A}{d}$: 유전율·면적에 비례, 간격에 반비례한다는 관계를 기억해 둔다.

NoteBase

문 19. 밀도가 균일한 원판이 5rad/s^2의 일정한 각가속도로 회전하고 있다. $t=0$초에서 각속도가 3rad/s일 때, $t=4$초에서 원판의 각속도[rad/s]는?

① 12

② 15

③ 20

④ 23

정답 4번

출제 포인트

등각가속도 운동에서 시간에 따른 각속도 변화를 구하는 문제이다. 직선운동의 등가속도 공식 $v=v_0+at$와 정확히 대응하는 회전운동 공식 $\omega=\omega_0+\alpha t$를 적용할 수 있는지 확인한다.

조건 정리

각가속도 $\alpha=5\text{rad/s}^2$로 일정하다. $t=0$초에서 초기 각속도 $\omega_0=3\text{rad/s}$이다. 구하는 값은 $t=4$초에서의 각속도 ω이다.

사용할 공식

등각가속도 회전운동에서 각속도는 $\omega=\omega_0+\alpha t$ 로 주어진다. 이는 직선운동의 $v=v_0+at$에서 속도를 각속도로, 가속도를 각가속도로 바꾼 것과 같은 형태이다.

계산 과정

$\omega=\omega_0+\alpha t$에 값을 대입하면 $\omega=3+5\times4=3+20=23\text{rad/s}$ 가 된다.

선지 판단

① 12: $\alpha t=5\times4=20$을 무시하고 다른 값으로 잘못 계산한 경우에 나오는 오답이다. X
② 15: ω_0를 더하지 않고 αt만 절반 정도로 계산하거나 단위를 착각한 경우의 오답이다. X
③ 20: 초기 각속도 $\omega_0=3\text{rad/s}$를 더하지 않고 $\alpha t=5\times4=20$만 답으로 쓴 경우이다. ω_0를 빠뜨린 오답이다. X
④ 23: $\omega=\omega_0+\alpha t=3+20=23\text{rad/s}$로 옳게 계산된 값이다. O

오답 포인트

이 문제의 함정은 초기 각속도 $\omega_0=3\text{rad/s}$를 빠뜨리고 αt만 계산해 20(③)으로 답하는 것이다. 등가속도 공식은 항상 초기값과 변화량을 모두 더해야 한다는 점을 놓치지 않아야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

각속도·각가속도 문제가 나오면 먼저 직선운동 공식과 1대1로 대응시켜 본다: 속도↔각속도, 가속도↔각가속도, 변위↔각변위. 그다음 주어진 초기값과 시간을 공식에 그대로 대입해 계산한다.

암기 포인트

등각가속도 회전운동 공식 $\omega = \omega_0 + \alpha t$, $\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$, $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$를 직선운동의 $v = v_0 + at$, x=v_0t+12at^2, $v^2 = v_0^2 + 2ax$와 짝지어 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 20. 보어의 수소 원자 모형에서 질량이 m인 전자가 양자수 $n=2$인 상태에서 궤도 반지름 r로 운동한다. 이때, 전자의 운동에너지는? (단, h는 플랑크 상수이다)

① $\frac{h^2}{8\pi^2mr^2}$
② $\frac{h^2}{4\pi^2mr^2}$
③ $\frac{h^2}{2\pi^2mr^2}$
④ $\frac{h^2}{\pi^2mr^2}$

정답 3번

출제 포인트

보어의 수소 원자 모형에서 각운동량 양자화 조건을 이용해 전자의 속력을 양자수 n과 궤도 반지름 r로 표현한 뒤, 이를 운동에너지 식에 대입해 정리하는 문제이다. 공식을 아는지보다 대입·정리 과정을 정확히 수행하는지가 핵심이다.

조건 정리

전자의 질량은 m, 양자수는 $n=2$, 궤도 반지름은 r이다. 구하는 것은 전자의 운동에너지이다.

사용할 공식

보어 모형의 각운동량 양자화 조건은 $mvr=\frac{nh}{2\pi}$이다. 운동에너지는 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$이다.

계산 과정

각운동량 양자화 조건에서 속력을 구하면 $v=\frac{nh}{2\pi mr}$이다. 이를 운동에너지 식에 대입하면 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{nh}{2\pi mr}\right)^2=\frac{n^2h^2}{8\pi^2mr^2}$이다. 여기에 $n=2$를 대입하면 $E_k=\frac{4h^2}{8\pi^2mr^2}=\frac{h^2}{2\pi^2mr^2}$이다.

선지 판단

① $\frac{h^2}{8\pi^2mr^2}$ → 이는 $n=1$일 때의 운동에너지 식이다. $n=2$를 반영하지 않아 틀렸다.
② $\frac{h^2}{4\pi^2mr^2}$ → $n^2=4$를 분모의 8 대신 잘못 약분하거나 계산 과정에서 실수한 값으로, 옳은 결과인 $\frac{h^2}{2\pi^2mr^2}$와 다르다. 틀렸다.
③ $\frac{h^2}{2\pi^2mr^2}$ → $n=2$를 대입해 정리한 값과 정확히 일치한다. 옳다.
④ $\frac{h^2}{\pi^2mr^2}$ → 옳은 값의 2배로, 계산 과정에서 2를 잘못 곱한 값이다. 틀렸다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 n^2을 계산할 때 $n=2$를 넣지 않고 $n=1$일 때의 식(①)을 그대로 답으로 고르는 것이다. 또한 제곱을 취하는 과정에서 $\left(\frac{n}{2\pi}\right)^2$의 분모 $4\pi^2$과 원래 있던 계수 2가 곱해져 $8\pi^2$이 되는 과정을 놓치면 ②나 ④처럼 계수가 어긋난 값이 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

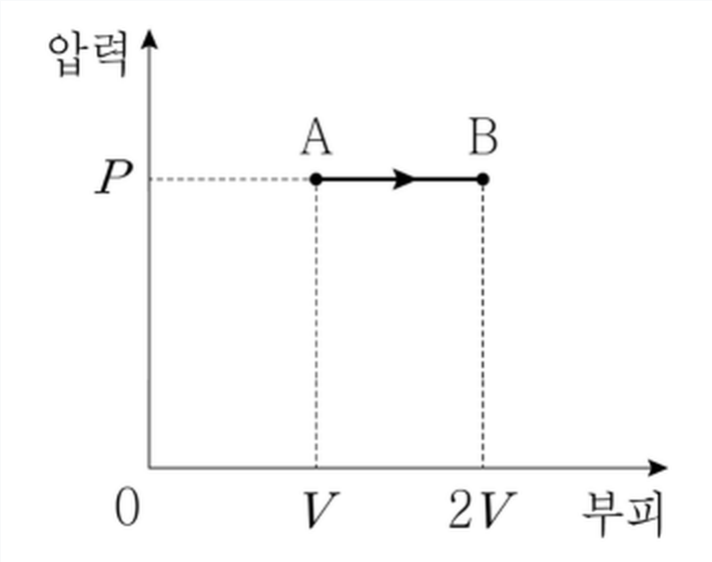
양자수 n이 주어진 보어 모형 문제는 먼저 각운동량 양자화 조건 $mvr = \frac{nh}{2\pi}$에서 속력 v를 n, h, m, r로 표현한 뒤, 구하는 물리량(운동에너지, 속력, 진동수 등)의 식에 그대로 대입해 정리한다. 마지막에 주어진 n의 구체적인 수치를 대입하는 순서를 지키면 계수 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

보어 모형의 각운동량 양자화: $mvr = \frac{nh}{2\pi}$. 일반 양자수 n에서의 운동에너지: $E_k = \frac{n^2h^2}{8\pi^2mr^2}$.

NoteBase

문 21. 그림은 일정량의 단원자 분자 이상기체의 상태가 A→B를 따라 변할 때 기체의 압력과 부피를 그래프로 나타낸 것이다. A→B 과정에서 기체가 흡수한 열량은?



① PV

② $\frac{3}{2}PV$

③ $2PV$

④ $\frac{5}{2}PV$

정답 4번

출제 포인트

P-V 그래프에서 등압(정압) 과정임을 읽어내고, 단원자 이상기체의 정압 몰비열을 이용해 흡수한 열량 Q를 구하는 문제다. 그래프에서 압력이 P로 일정하고 부피만 V에서 $2V$로 늘어나는 수평선으로 A→B가 표시되어 있으므로 정압 과정임을 먼저 파악하는 것이 핵심이다.

조건 정리

단원자 분자 이상기체, 정압 과정(압력 P로 일정), 부피 변화 $\Delta V = 2V - V = V$. 단원자 이상기체의 정적 몰비열은 $C_V = \frac{3}{2}R$, 정압 몰비열은 $C_P = C_V + R = \frac{5}{2}R$이다.

사용할 공식

내부에너지 변화 $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}P\Delta V$ (정압 과정에서 $nR\Delta T = \Delta(PV) = P\Delta V$이므로). 기체가 외부에 한 일 $W = P\Delta V$ (정압 과정). 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$.

NoteBase

계산 과정

부피 변화는 $\Delta V = 2V - V = V$이다.
내부에너지 변화: $\Delta U = \frac{3}{2}P\Delta V = \frac{3}{2}PV$.
기체가 외부에 한 일: $W = P\Delta V = PV$.
따라서 흡수한 열량은 $Q = \Delta U + W = \frac{3}{2}PV + PV = \frac{5}{2}PV$이다.
이는 정압 몰비열 공식으로도 확인된다: $Q = nC_P\Delta T = \frac{5}{2}nR\Delta T = \frac{5}{2}P\Delta V = \frac{5}{2}PV$.

선지 판단

① PV — X. 이는 기체가 외부에 한 일 W만 계산한 값이며, 내부에너지 증가분을 빠뜨렸다.
② $\frac{3}{2}PV$ — X. 이는 내부에너지 변화 ΔU만 계산한 값이며, 기체가 외부에 한 일을 더하지 않았다.
③ $2PV$ — X. ΔU와 W를 더했으나 계수 계산에서 오차가 생긴 값으로, $\frac{3}{2}PV + PV = \frac{5}{2}PV$가 되어야 한다.
④ $\frac{5}{2}PV$ — O. $Q = \Delta U + W = \frac{3}{2}PV + PV = \frac{5}{2}PV$로 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 정압 과정에서 흡수한 열량을 기체가 한 일 $W = P\Delta V$와 같다고 착각하는 것이다(①). 등압 과정에서는 부피가 늘어나며 내부에너지도 함께 증가하므로, 일만 계산하면 열량을 과소평가하게 된다. 반대로 내부에너지 변화만 계산하고 일을 더하지 않는 실수(②)도 흔하다. 열량은 반드시 내부에너지 변화와 외부에 한 일을 모두 더한 값이어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

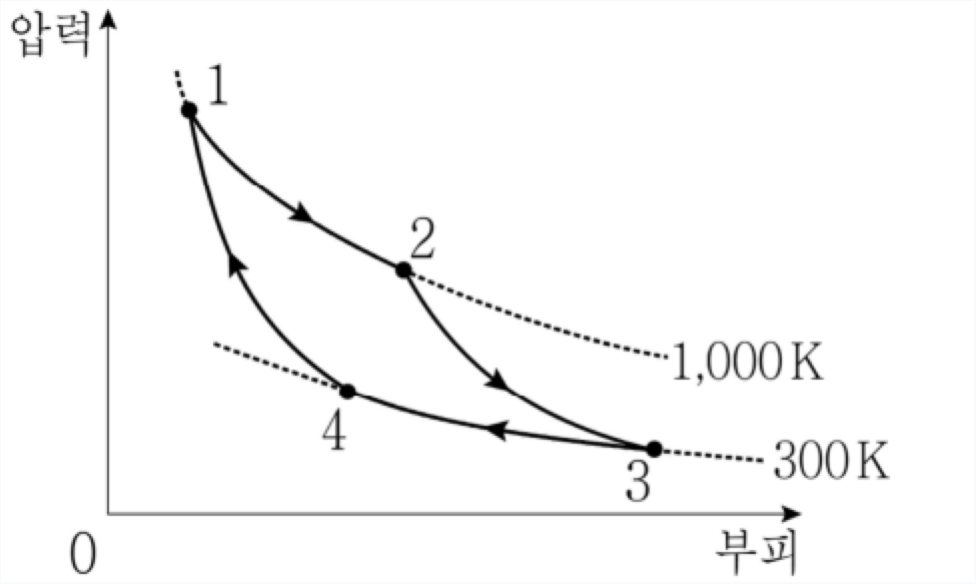
P-V 그래프에서 두 점을 잇는 선이 수평(압력 일정)이면 정압 과정, 수직(부피 일정)이면 정적 과정임을 가장 먼저 확인한다. 정압 과정이면 부피 변화 ΔV를 구하고, 단원자 기체라면 $\Delta U = \frac{3}{2}P\Delta V$, $W = P\Delta V$를 각각 구한 뒤 $Q = \Delta U + W$로 합산한다. 이때 $nR\Delta T$는 이상기체 상태방정식에서 $\Delta(PV)$와 같다는 점을 이용하면 온도를 몰랐다더라도 P, ΔV만으로 계산할 수 있다.

암기 포인트

단원자 이상기체: $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$. 정압 과정에서 흡수 열량 $Q = nC_P\Delta T = \frac{5}{2}P\Delta V$이고, 이는 $\Delta U(= \frac{3}{2}P\Delta V)$와 일 $W(= P\Delta V)$의 합과 같다는 것을 공식처럼 외워 둔다.

NoteBase

문 22. 다음은 300K와 1,000K 사이에서 작동하는 카르노 기관의 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?



ㄱ. 이 기관의 효율은 0.7이다.

ㄴ. 1→2 과정은 열을 흡수한다.

ㄷ. 2→3 과정은 엔트로피가 증가한다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

카르노 기관의 P-V 순환 그래프를 보고 각 과정(등온 팽창·단열 팽창·등온 압축·단열 압축)을 구분하고, 이로부터 효율·열 출입·엔트로피 변화를 판단하는 문제이다. 그래프에서 점선으로 표시된 두 등온선(1,000 K, 300 K)의 위치와 화살표 방향이 각 과정의 성격을 결정한다.

NoteBase

선지별 해설

ㄱ. 이 기관의 효율은 0.7이다 → O. 카르노 기관의 효율은 두 열저장체의 절대온도만으로 정해지며 $e = 1 - \frac{T_C}{T_H}$이다. 여기서 저온 저장체는 300 K, 고온 저장체는 1,000 K이므로 $e = 1 - \frac{300}{1000} = 0.7$이 되어 옳은 설명이다.
ㄴ. 1→2 과정은 열을 흡수한다 → O. 점 1과 점 2는 모두 1,000 K 등온선 위에 있고 화살표가 1에서 2로 향하며 부피가 증가하는 방향이므로, 1→2는 고온(1,000 K) 등온 팽창 과정이다. 등온 팽창에서는 기체가 외부에 일을 하는 만큼 내부에너지 감소를 막기 위해 고온 열원으로부터 열을 흡수하므로 옳은 설명이다.
ㄷ. 2→3 과정은 엔트로피가 증가한다 → X. 점 2는 1,000 K 등온선 위, 점 3은 300 K 등온선 위에 있고 그 사이를 잇는 곡선이므로 2→3은 등온선을 가로지르는 단열 팽창 과정이다. 카르노 순환의 단열 과정은 열 출입이 없는 가역 단열 과정이므로 엔트로피는 변하지 않는다(일정하다) → 엔트로피가 증가한다는 서술은 틀렸고, 옳게 고치면 '엔트로피는 일정하게 유지된다'가 된다.
따라서 옳은 것은 ㄱ, ㄴ이다.

오답 포인트

2→3, 4→1처럼 그래프에서 등온선과 등온선 사이를 잇는 곡선을 보고도 습관적으로 '온도가 변하니까 열 출입이 있겠지'라고 생각해 ㄷ을 옳다고 판단하기 쉽다. 그러나 카르노 순환에서 온도가 변하는 두 과정은 항상 단열(열 출입 없음) 과정으로 설계되어 있고, 가역 단열 과정의 엔트로피 변화는 0이라는 점을 놓치면 안 된다. 반대로 같은 등온선 위에서 부피가 변하는 두 과정(1→2, 3→4)만 열 출입이 있는 등온 과정이라는 점도 함께 기억한다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 P-V 그래프 문제는 먼저 두 등온선(고온·저온)을 점선으로 찾고, 네 점 중 어느 것이 어느 등온선 위에 있는지부터 표시한다. 같은 등온선 위의 두 점을 잇는 과정은 등온 과정(열 흡수 또는 방출), 서로 다른 등온선을 잇는 과정은 단열 과정(열 출입 없음, 엔트로피 일정)으로 분류한 뒤, 화살표 방향으로 부피가 늘어나는지 줄어드는지를 보고 팽창인지 압축인지, 그리고 고온부인지 저온부인지에 따라 흡열·방열을 판단한다. 효율은 항상 $e = 1 - \frac{T_C}{T_H}$로 두 온도값만 대입하면 되고 그래프의 곡선 모양과는 무관하다는 점도 함께 확인한다.

암기 포인트

카르노 효율 $e = 1 - \frac{T_C}{T_H}$; 같은 등온선을 잇는 과정=등온(열 출입 O); 서로 다른 등온선을 잇는 과정=단열(열 출입 X, 엔트로피 일정); 고온에서 팽창=흡열, 저온에서 압축=방열.

NoteBase

문 23. 파장이 λ인 단색광을 이용한 영의 이중 슬릿 간섭 실험에서 다른 조건은 그대로 두고 간섭무늬가 넓어지는 조건으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 슬릿의 간격을 증가시킨다.
ㄴ. λ보다 긴 파장의 단색광을 사용한다.
ㄷ. 슬릿과 스크린 사이의 거리를 증가시킨다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

영의 이중 슬릿 간섭 실험에서 스크린에 나타나는 간섭무늬 간격(줄무늬 폭)이 파장, 슬릿 간격, 슬릿-스크린 거리에 어떻게 의존하는지를 묻는 문항이다. 간섭무늬 간격 공식에서 각 변수의 비례·반비례 관계를 정확히 구분할 수 있는지가 핵심이다.

조건 정리

파장을 λ, 슬릿 간격을 d, 슬릿과 스크린 사이의 거리를 L이라 하면, 인접한 밝은 무늬(또는 어두운 무늬) 사이의 간격 Δy는 다음과 같다. 다른 조건은 모두 고정한 채 λ, d, L 중 하나만 바꾸었을 때 Δy가 커지는지 작아지는지를 판단하면 된다.

사용할 공식

$\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$
즉 무늬 간격 Δy는 파장 λ 및 슬릿-스크린 거리 L에 비례하고, 슬릿 간격 d에 반비례한다.

계산 과정

ㄱ. 슬릿의 간격 d를 증가시키면 $\Delta y = \lambda L/d$에서 분모가 커지므로 Δy는 작아진다. 즉 무늬 간격이 좁아지므로 '넓어지는 조건'이 아니다.
ㄴ. λ보다 긴 파장의 단색광을 사용하면 분자의 λ가 커지므로 Δy도 커진다. 즉 무늬 간격이 넓어지므로 '넓어지는 조건'에 해당한다.
ㄷ. 슬릿과 스크린 사이의 거리 L을 증가시키면 분자의 L이 커지므로 Δy도 커진다. 즉 무늬 간격이 넓어지므로 '넓어지는 조건'에 해당한다.
따라서 간섭무늬가 넓어지는 조건은 ㄴ, ㄷ이다.

NoteBase

선지 판단

① ㄱ: 슬릿 간격 증가는 무늬 간격을 좁게 만들므로 틀린 선택이다 → 넓어지는 조건이 아니라 좁아지는 조건이다.
② ㄴ: 파장이 길어지면 무늬 간격이 넓어지므로 옳지만 ㄷ도 함께 옳으므로 답에서 누락된 불완전한 선지이다.
③ ㄱ, ㄷ: ㄱ이 틀린 조건이므로 옳지 않다 → ㄱ 대신 ㄴ이 포함되어야 한다.
④ ㄴ, ㄷ: 둘 다 무늬 간격을 넓히는 조건이므로 옳다.

오답 포인트

간섭무늬 간격 공식에서 슬릿 간격 d는 분모에 있어 반비례 관계라는 점을 놓치고 '슬릿 간격을 늘리면 무늬도 넓어진다'고 거꾸로 착각하는 경우가 많다. d는 오히려 슬릿 사이가 좁을수록 무늬 간격이 넓어진다는 점을 반드시 구분해야 한다. 반면 λ와 L은 분자에 있어 값이 커질수록 무늬 간격도 함께 커진다.

다시 나오면 이렇게 판단

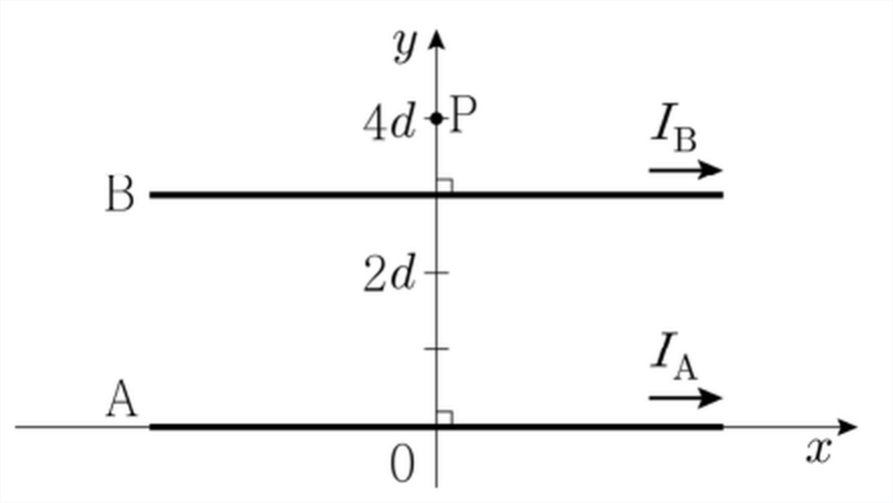
무늬 간격 조건 문제는 $\Delta y = \lambda L/d$ 공식을 먼저 적어 놓고, 바뀌는 변수가 분자(λ, L)에 있는지 분모(d)에 있는지부터 확인한다. 분자 변수가 커지면 무늬 간격도 커지고, 분모 변수인 d가 커지면 무늬 간격은 오히려 작아진다는 방향성만 기억하면 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

간섭무늬 간격 $\Delta y = \lambda L/d$: 파장(λ)↑ → 무늬 간격↑, 슬릿-스크린 거리(L)↑ → 무늬 간격↑, 슬릿 간격(d)↑ → 무늬 간격↓(반비례).

NoteBase

문 24. 그림과 같이 xy평면에 고정된 x축에 나란한 무한히 긴 두 직선 도선 A, B에 전류가 각각 I_A, I_B가 흐른다. A, B로부터 y축 위의 점 P까지의 수직거리는 각각 $4d$, d이다. 점 P에서 I_A, I_B가 만드는 자기장은 서로 같다. A, B 사이에서 I_A, I_B에 의한 자기장의 합이 0인 y축 위의 위치는?



① $\frac{3}{5}d$

② $\frac{6}{5}d$

③ $\frac{9}{5}d$

④ $\frac{12}{5}d$

정답 4번

출제 포인트

무한히 긴 평행 직선 도선 두 개가 만드는 자기장을 각 도선으로부터의 거리와 전류 세기, 그리고 자기장의 방향(중첩의 부호)까지 함께 고려해 중첩시키는 문제이다. 먼저 점 P에서의 조건으로 두 전류의 비를 구하고, 그 비를 이용해 두 도선 사이에서 자기장이 상쇄되는 지점을 찾는다.

조건 정리

그림에서 도선 A는 y=0(즉 x축과 겹치는 위치)에 있고 도선 B는 A보다 위쪽에 있으며, 점 P는 y축 위 y=4d 지점이다. A에서 P까지의 수직거리는 4d이므로 A는 y=0에 위치하고, B에서 P까지의 수직거리는 d이므로 B는 P보다 d만큼 아래인 y=3d에 위치한다. 두 도선의 전류 I_A, I_B는 모두 +x 방향이다. 무한 직선 도선의 자기장 크기는 도선으로부터의 수직거리에 반비례하고, 방향은 도선을 오른손으로 감아쥐었을 때 네 손가락이 가리키는 방향(오른손 법칙)을 따른다. 전류가 +x 방향인 도선의 경우, 도선보다 위쪽(y가 더 큰 쪽)에서는 자기장이 종이면 밖으로(+z), 도선보다 아래쪽에서는 종이면 안으로(-z) 향한다.

NoteBase

사용할 공식

무한 직선 도선 주위의 자기장 크기는 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$이다(r은 도선으로부터의 수직거리). 두 자기장이 반대 방향이면 크기의 차로, 같은 방향이면 크기의 합으로 중첩된다.

계산 과정

1) 점 P(y=4d)는 A(y=0)와 B(y=3d)보다 모두 위쪽에 있으므로, A·B가 P에 만드는 자기장은 둘 다 같은 방향(+z, 종이면 밖으로)이다. 두 자기장의 크기가 같다는 조건으로부터 $\frac{\mu_0 I_A}{2\pi(4d)} = \frac{\mu_0 I_B}{2\pi d}$가 성립하고, 이를 정리하면 $I_A = 4I_B$이다.

2) A와 B 사이의 임의의 점을 y축 위의 y(0<y<3d)라 하면, 이 점은 A보다 위쪽이므로 A가 만드는 자기장은 +z 방향으로 크기 $\frac{\mu_0 I_A}{2\pi y}$이고, 동시에 B보다는 아래쪽이므로 B가 만드는 자기장은 -z 방향으로 크기 $\frac{\mu_0 I_B}{2\pi(3d-y)}$이다. 두 자기장은 서로 반대 방향이므로 합이 0이 되려면 크기가 같아야 한다.

3) $\frac{\mu_0 I_A}{2\pi y} = \frac{\mu_0 I_B}{2\pi(3d-y)}$에서 $I_A(3d-y) = I_B y$이고, $I_A = 4I_B$를 대입하면 $4I_B(3d-y) = I_B y$, 즉 $12d - 4y = y$이다.

4) 이를 정리하면 $5y = 12d$, 따라서 $y = \frac{12}{5}d$이다.

선지 판단

① $\frac{3}{5}d$: X — $5y = 12d$를 만족하지 않는 값이다.
② $\frac{6}{5}d$: X — 마찬가지로 방정식을 만족하지 않는다.
③ $\frac{9}{5}d$: X — 방정식을 만족하지 않는다.
④ $\frac{12}{5}d$: O — 점 P 조건에서 얻은 $I_A = 4I_B$를 A, B 사이 상쇄 조건식에 대입해 풀면 정확히 이 값이 나온다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지이다. 첫째, 점 P가 A와 B 둘 다보다 위쪽에 있으므로 두 자기장이 같은 방향(합)임을 이용해 전류비를 구해야 하는데, A와 B 사이의 점에서는 한쪽 도선보다는 위, 다른 쪽 도선보다는 아래에 있으므로 두 자기장이 서로 반대 방향(상쇄)이 된다는 점을 놓치면 부호를 잘못 세워 다른 선지가 나온다. 둘째, 거리를 잴 때 A로부터의 거리(y)와 B로부터의 거리(3d-y)를 헷갈려 식을 세우면 답이 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

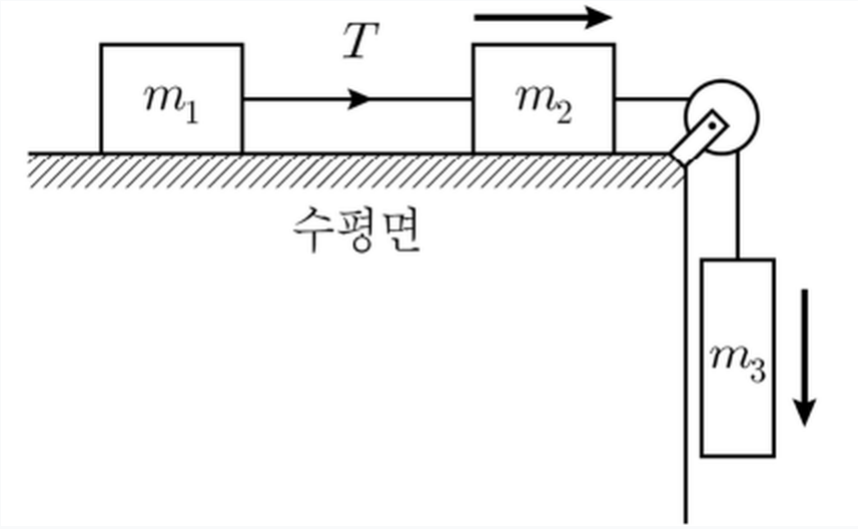
평행한 두 무한 직선 도선 문제는 먼저 각 도선의 위치를 y좌표로 명확히 잡고, 문제에서 준 한 점의 조건(자기장이 같다 등)으로 전류비부터 구한다. 그다음 자기장이 0이 되는 지점을 찾을 때는 그 지점이 각 도선을 기준으로 위쪽인지 아래쪽인지를 먼저 판단해 두 자기장이 같은 방향인지 반대 방향인지부터 정한 뒤 식을 세운다.

암기 포인트

무한 직선 도선의 자기장 크기는 거리에 반비례($B \propto 1/r$)하고, 방향은 오른손 법칙으로 결정되며, 두 도선 사이의 영역에서는 두 도선의 전류 방향이 같아도 자기장은 서로 반대 방향이 되어 상쇄될 수 있다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 25. 그림과 같이 질량이 각각 m_1, m_2, m_3인 3개의 물체가 줄에 연결되어 화살표 방향으로 등가속도로 움직이고 있다. m_1, m_2와 수평면 사이의 운동 마찰계수는 μ로 같다. m_1과 m_2 사이의 줄의 장력 T의 크기는? (단, 중력가속도는 g이고, 줄의 질량, 도르래의 질량과 마찰은 무시한다)



① $\frac{(1+\mu)m_1m_2}{m_1+m_2+m_3}g$
② $\frac{(1+\mu)m_1m_3}{m_1+m_2+m_3}g$
③ $\frac{\mu m_1m_2}{m_1+m_2+m_3}g$
④ $\frac{\mu m_1m_3}{m_1+m_2+m_3}g$

정답 2번

출제 포인트

수평면 위의 두 물체(m1, m2)와 도르래를 통해 매달린 물체(m3)가 하나의 줄로 연결되어 함께 등가속도 운동을 하는 상황이다. 전체 계에 대한 운동방정식으로 가속도를 먼저 구하고, 이후 특정 물체(m1)만 따로 떼어내 뉴턴 제2법칙을 적용해 그 물체에 걸리는 줄의 장력을 구하는 전형적인 연결체 문제이다.

조건 정리

m1, m2는 수평면 위에 있고 m1-m2 사이의 줄장력을 T라 한다. m2와 m3는 도르래를 통해 별도의 줄로 연결되어 있으며, m3가 내려가면서 m1, m2가 함께 오른쪽(화살표 방향)으로 끌려간다. m1, m2와 수평면 사이의 운동 마찰계수는 μ로 동일하고, 줄의 질량과 도르래의 질량·마찰은 무시한다. 세 물체는 줄로 연결되어 있으므로 가속도의 크기 a는 모두 같다.

사용할 공식

전체 계: $m_3g-\mu(m_1+m_2)g=(m_1+m_2+m_3)a$
m1만 분리: $T-\mu m_1g=m_1a$

NoteBase

계산 과정

전체 계에서 운동 방향(m3가 내려가는 방향)을 양(+)으로 잡으면, 구동력은 m3에 작용하는 중력 m_3g이고 저항력은 m1, m2에 작용하는 마찰력 $\mu(m_1+m_2)g$이므로

$a=\frac{m_3-\mu(m_1+m_2)}{m_1+m_2+m_3}g$

이제 m1만 따로 보면, m1에는 오른쪽으로 장력 T가 작용하고 왼쪽으로 마찰력 μm_1g가 작용하므로

$T=m_1a+\mu m_1g=m_1(a+\mu g)$

여기에 위에서 구한 a를 대입하면

$a+\mu g=\frac{m_3-\mu(m_1+m_2)}{m_1+m_2+m_3}g+\mu g=\frac{m_3-\mu(m_1+m_2)+\mu(m_1+m_2+m_3)}{m_1+m_2+m_3}g=\frac{(1+\mu)m_3}{m_1+m_2+m_3}g$

따라서

$T=\frac{(1+\mu)m_1m_3}{m_1+m_2+m_3}g$

선지 판단

① (1+μ)m1m2/(m1+m2+m3)·g → 분자에 m2가 들어가 틀린 조합이다. m1-m2 사이의 장력은 m1과 m3의 관계식으로 나와야 하므로 → 옳은 식은 (1+μ)m1m3/(m1+m2+m3)·g

② (1+μ)m1m3/(m1+m2+m3)·g → 계산 과정에서 유도한 식과 정확히 일치한다. 정답이다.

③ μm1m2/(m1+m2+m3)·g → (1+μ)가 아니라 μ만 들어가 있고 m2를 포함해 두 가지 오류가 겹친 오답이다.

④ μm1m3/(m1+m2+m3)·g → m1, m3 조합은 맞으나 계수가 (1+μ)가 아니라 μ로 되어 있어 틀렸다 → 옳은 계수는 (1+μ)

오답 포인트

m1-m2 사이의 줄에 걸리는 장력을 구할 때 전체 계의 가속도 식과 m1만의 운동방정식을 혼동하기 쉽다. 특히 a를 구한 뒤 μg를 더하는 과정에서 부호를 잘못 처리하면 계수가 (1+μ) 대신 μ로만 남거나, m2가 답에 섞여 들어가는 실수가 흔하다. m1-m2 사이의 장력은 반드시 m1(또는 m2)만 분리한 운동방정식에서 나온다는 점, 그리고 그 결과에는 m1과 m3만 남고 m2는 분모의 합에만 등장한다는 점을 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

연결체 문제에서 특정 두 물체 사이의 장력을 물으면, 먼저 전체 계의 운동방정식으로 공통 가속도 a를 구한 뒤, 장력이 걸린 줄의 한쪽에 있는 물체만 분리해 그 물체의 운동방정식에 a를 대입해 장력을 정리한다. 이때 마찰력의 부호(운동 방향과 반대)를 정확히 넣는 것이 핵심이다.

암기 포인트

전체 계: 구동력(중력) − 저항력(마찰력) = 전체 질량 × a. 부분 물체: 장력 − 마찰력 = 그 물체의 질량 × a. 두 식을 결합하면 특정 두 물체 사이의 장력이 (1+μ)와 관련 물체 질량들의 곱 형태로 정리된다는 패턴을 기억해 둔다.

NoteBase