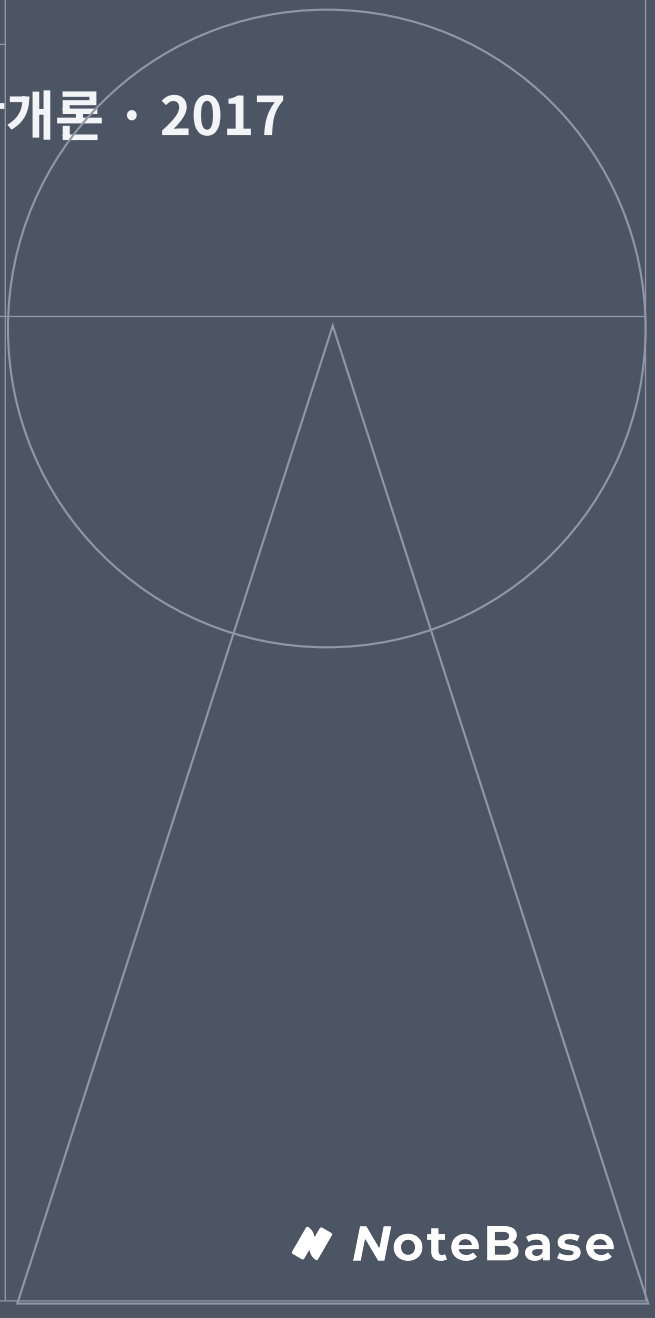
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2017

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2017

문 1. 다음은 우라늄의 핵분열과정을 나타낸 것이다. ㉠에 들어갈 입자는?

^235_92U + (㉠) → ^140_54Xe + ^94_38Sr + 2^1_0n + 에너지

① 중성자

② 전자

③ 양성자

④ α 입자

정답 1번

출제 포인트

핵반응식에서 질량수(위 첨자)와 원자번호(아래 첨자)가 반응 전후로 각각 보존된다는 사실을 이용해, 괄호에 들어갈 입자의 질량수와 원자번호를 역산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응식은 ^235_92U + (㉠) → ^140_54Xe + ^94_38Sr + 2 ^1_0n + 에너지 이다. 반응 전 우라늄의 질량수는 235, 원자번호는 92이고, 반응 후 생성물의 질량수 합은 $140 + 94 + 2(1) = 236$, 원자번호 합은 $54 + 38 + 2(0) = 92$이다.

사용할 공식

핵반응에서는 질량수 보존 A_반응 전 합 = A_반응 후 합과 원자번호(전하수) 보존 Z_반응 전 합 = Z_반응 후 합이 동시에 성립한다.

계산 과정

㉠의 질량수를 A, 원자번호를 Z라 하면, 질량수에 대해 $235 + A = 140 + 94 + 2$이므로 $235 + A = 236$, 즉 $A = 1$이다. 원자번호에 대해 $92 + Z = 54 + 38 + 0$이므로 $92 + Z = 92$, 즉 $Z = 0$이다. 따라서 ㉠은 질량수 1, 원자번호(전하) 0인 입자이며, 이는 중성자 ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$에 해당한다.

NoteBase

선지 판단

① 중성자: 질량수 1, 전하 0으로 계산 결과와 정확히 일치한다. 우라늄-235가 중성자를 흡수해 핵분열을 일으키는 실제 과정과도 부합한다. (O)
② 전자: 질량수가 사실상 0에 가깝고 전하는 -1이므로 원자번호 합이 92가 아니라 91이 되어 보존 법칙에 어긋난다. (X)
③ 양성자: 질량수 1, 전하 +1이므로 대입하면 원자번호 합이 93이 되어 보존 법칙에 어긋난다. (X)
④ α입자: 질량수 4, 전하 +2인 헬륨 원자핵이므로 대입하면 질량수 합이 239, 원자번호 합이 94가 되어 두 보존 법칙 모두 어긋난다. (X)

오답 포인트

질량수와 원자번호 중 하나만 맞추고 다른 하나를 확인하지 않으면 오답을 고르기 쉽다. 전자는 전하가 음수라는 점, 양성자와 α입자는 전하가 양수라는 점을 놓치면 질량수만 보고 잘못 판단할 수 있으므로 두 값을 모두 검산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

핵반응식이 제시되면 먼저 화살표 양쪽의 질량수 합과 원자번호 합을 각각 써서 미지 입자의 A와 Z를 구한 뒤, 그 값에 해당하는 입자(중성자 1/0, 양성자 1/1, 전자 0/-1, α입자 4/2)를 표에서 찾듯 매칭하면 빠르게 정답을 찾을 수 있다.

암기 포인트

중성자는 질량수 1·전하 0, 양성자는 질량수 1·전하 +1, 전자는 질량수 0·전하 -1, α입자는 질량수 4·전하 +2로 외워 둔다. 우라늄-235는 중성자를 흡수해 핵분열을 일으키고 그 과정에서 다시 여분의 중성자를 방출한다는 사실도 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 2. 등가속도 운동에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고른 것은?

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 방향이 일정한 운동이다.
ㄴ. 등속 원운동은 등가속도 운동이 아니다.
ㄷ. 단진자의 운동은 등가속도 운동이 아니다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

등가속도 운동의 정의를 정확히 알고 있는지, 그리고 등속 원운동·단진자 운동처럼 속력은 일정하거나 주기적으로 반복되지만 가속도 벡터는 일정하지 않은 운동을 등가속도 운동과 구분할 수 있는지를 묻는다. 핵심은 가속도가 '크기'만 아니라 '방향'까지 항상 같아야 등가속도 운동이라는 점이다.

핵심 개념

등가속도 운동은 가속도 벡터, 즉 크기와 방향이 모두 시간에 따라 변하지 않는 운동이다. 뉴턴의 운동 제2법칙 $F = ma$에서 질량 m이 일정하므로, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 방향이 항상 일정하면 가속도의 크기와 방향도 항상 일정하게 되어 등가속도 운동이 된다. 반대로 등속 원운동에서는 속력은 일정하지만 구심가속도의 방향이 원의 중심을 향해 계속 바뀌므로 가속도 벡터가 일정하지 않아 등가속도 운동이 아니다. 단진자 운동에서는 복원력의 크기가 진자의 각변위에 따라 달라지고 방향도 진자의 운동 방향에 맞춰 계속 바뀌므로, 가속도의 크기와 방향이 모두 시간에 따라 변해 역시 등가속도 운동이 아니다.

NoteBase

선지별 해설

ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 방향이 일정한 운동이다 → O. $F = ma$에서 질량이 일정한 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 방향이 항상 같으면 가속도의 크기와 방향도 항상 같으므로 이는 등가속도 운동의 정의와 일치한다.
ㄴ. 등속 원운동은 등가속도 운동이 아니다 → O. 등속 원운동은 속력(가속도의 크기 자체가 아니라 속도의 크기)은 일정하지만, 구심가속도의 방향이 매 순간 원의 중심 쪽으로 바뀌므로 가속도 벡터가 일정하지 않다. 따라서 등가속도 운동이 아니라는 설명은 옳다.
ㄷ. 단진자의 운동은 등가속도 운동이 아니다 → O. 단진자에 작용하는 복원력은 진자가 평형점에서 멀어질수록 커지고 방향도 진자가 움직이는 위치에 따라 계속 바뀌므로, 가속도의 크기와 방향이 모두 시간에 따라 변한다. 따라서 등가속도 운동이 아니라는 설명은 옳다.
ㄱ, ㄴ, ㄷ이 모두 옳으므로 정답은 ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ이다.

오답 포인트

①(ㄱ, ㄴ)과 ②(ㄱ, ㄷ)은 ㄷ 또는 ㄴ을 등가속도 운동으로 착각하거나 옳지 않다고 잘못 판단해 하나를 누락시킨 경우이다. ③(ㄴ, ㄷ)은 ㄱ을 힘이 아니라 속도나 속력이 일정한 운동으로 오해해 등가속도 운동의 정의와 다르다고 잘못 판단한 경우이다. 등속 원운동과 단진자 운동을 '등속' 또는 '주기적'이라는 이유만으로 등가속도 운동이라고 착각하지 않도록 주의해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등가속도 운동인지 묻는 문제가 나오면 먼저 그 운동의 가속도 벡터가 시간에 따라 크기와 방향이 모두 변하지 않는지를 확인한다. 속력이나 주기가 일정하다는 사실만으로는 등가속도 운동이라 판단할 수 없고, 반드시 가속도의 방향까지 함께 살펴야 한다. 원운동이나 진자 운동처럼 방향이 계속 바뀌는 운동은 등가속도 운동이 아니라고 판단한다.

암기 포인트

등가속도 운동은 가속도의 크기와 방향이 모두 일정한 운동이다. 알짜힘이 일정하면 가속도도 일정하다($F = ma$). 등속 원운동과 단진자 운동은 대표적인 비등가속도 운동의 예로 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 3. 반지름이 10 cm이고 밀도가 균일한 구를 물에 넣었더니 중심이 수면에 위치한 채 정지해 있다. 이 구의 질량[kg]에 가장 가까운 것은? (단, 물의 밀도는 1g/cm^3이고 물의 부력과 중력을 제외한 다른 효과는 무시한다)

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 2번

출제 포인트

물에 뜬 구의 중심이 정확히 수면과 일치한다는 조건은 구의 절반(반구 부피)만 물에 잠겨 있다는 뜻이다. 이 문제는 부력과 중력이 평형을 이루는 상황에서 잠긴 부피만큼의 물의 질량이 곧 구 전체의 질량과 같다는 아르키메데스 원리를 적용해 구의 질량을 구하는 계산 문제이다.

조건 정리

구의 반지름 $r = 10\text{cm}$, 물의 밀도 $\rho_{water} = 1\text{g/cm}^3$이다. 구의 중심이 수면에 위치하므로 물에 잠긴 부분은 구 전체 부피의 절반, 즉 반구(半球) 부피이다. 정지해 있으므로 부력과 중력이 평형을 이루고, 부력과 중력 이외의 효과는 무시한다.

사용할 공식

구의 전체 부피는 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$이고, 잠긴 반구의 부피는 $V_{sub} = \frac{1}{2}V = \frac{2}{3}\pi r^3$이다. 부력과 중력이 평형을 이루는 조건에서 부력 $F_b = \rho_{water} V_{sub} g$와 중력 $F_g = mg$가 같으므로, $m = \rho_{water} V_{sub}$가 성립한다.

계산 과정

잠긴 부피는 $V_{sub} = \frac{2}{3}\pi r^3 = \frac{2}{3}\pi (10\text{cm})^3 = \frac{2000\pi}{3}\text{cm}^3 \approx 2094\text{cm}^3$이다.
구의 질량은 이 부피만큼의 물의 질량과 같으므로
$m = \rho_{water} V_{sub} = 1\text{g/cm}^3 \times 2094\text{cm}^3 \approx 2094\text{g} \approx 2.09\text{kg}$이다.
따라서 구의 질량에 가장 가까운 값은 2 kg이다.

선지 판단

① 1: 계산된 질량 약 2.09 kg과 차이가 커서 가장 가까운 값이 아니므로 틀리다.
② 2: 계산된 질량 약 2.09 kg에 가장 가까운 정수이므로 옳다.
③ 3: 계산된 질량보다 크게 벗어나므로 틀리다.
④ 4: 계산된 질량과 거리가 멀어 틀리다.

NoteBase

오답 포인트

구 전체 부피 $\frac{4}{3}\pi r^3$을 그대로 물의 질량으로 계산하면 잠긴 부피를 절반으로 나누는 과정을 빠뜨려 답이 두 배로 커진다(약 4.19 kg으로 계산되어 ④를 고르는 오류). 또한 반지름의 단위를 cm에서 m로 잘못 바꾸어 계산하면 부피가 10^6배 차이 나므로 결과가 완전히 어긋난다. 부력과 중력이 평형이라는 조건에서 결국 구의 질량은 잠긴 부피만큼의 물의 질량과 같다는 핵심 관계를 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

물체가 물에 뜬 채 정지해 있다는 표현이 나오면 먼저 부력과 중력이 평형이라는 조건을 세우고, 물체의 질량은 잠긴 부피만큼의 유체 질량과 같다는 관계식 $m = \rho_{fluid} V_{sub}$로 바로 접근한다. 이때 '중심이 수면에 위치'라는 표현은 잠긴 부피가 전체 부피의 정확히 절반(반구)임을 뜻하는 핵심 단서이므로 놓치지 않는다.

암기 포인트

구가 절반만 잠기면 잠긴 부피는 $\frac{2}{3}\pi r^3$이고, 뜬 상태에서 물체의 질량은 잠긴 부피에 해당하는 유체의 질량과 같다: $m = \rho_{fluid} V_{sub}$.

NoteBase

문 4. 내부 온도가 10K로 유지되는 카르노 냉동기가 있다. 냉동기의 내부에서 2J의 열을 흡수하여 온도가 300K로 유지되는 외부로 배출하기 위해 냉동기에 가해야 하는 일[J]은?

① 28

② 38

③ 48

④ 58

정답 4번

출제 포인트

카르노 냉동기(역카르노 사이클)의 성능계수(COP)를 저온부·고온부의 절대온도로 표현하고, 이를 이용해 흡수한 열량으로부터 외부에서 가해야 하는 일을 구하는 문제이다. 냉동기는 외부에서 일을 받아 저온부의 열을 고온부로 퍼 올리는 장치이므로, 에너지 보존에 따라 고온부로 방출되는 열은 흡수한 열과 가해진 일의 합이 된다.

조건 정리

저온부(냉동기 내부) 온도 $T_C = 10\ \mathrm{K}$, 고온부(외부) 온도 $T_H = 300\ \mathrm{K}$, 저온부에서 흡수하는 열량 $Q_C = 2\ \mathrm{J}$이다. 구하는 값은 냉동기에 가해야 하는 일 W이다.

사용할 공식

카르노 냉동기의 성능계수(냉동계수)는 $\mathrm{COP}_{\mathrm{ref}} = \frac{Q_C}{W} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$로 주어진다. 따라서 가해야 하는 일은 $W = Q_C \cdot \frac{T_H - T_C}{T_C}$로 계산한다.

계산 과정

$W = Q_C \cdot \frac{T_H - T_C}{T_C} = 2 \cdot \frac{300 - 10}{10} = 2 \cdot \frac{290}{10} = 2 \times 29 = 58\ \mathrm{J}$이다. 검산하면 고온부로 방출되는 열은 $Q_H = Q_C + W = 2 + 58 = 60\ \mathrm{J}$이고, 카르노 사이클에서 $\frac{Q_H}{T_H} = \frac{Q_C}{T_C}$가 성립하는지 확인하면 $\frac{60}{300} = \frac{1}{5}$, $\frac{2}{10} = \frac{1}{5}$로 일치하여 계산이 맞음을 확인할 수 있다.

선지 판단

① 28: $T_H - T_C = 290$을 $T_H = 290$으로 잘못 두거나 계산 과정에서 오차가 생긴 값으로, 공식을 정확히 적용하면 나오지 않는 값이다.

② 38: T_C를 20으로 잘못 나누는 등 계산 실수로 나올 수 있는 값이며, 올바른 계산 결과가 아니다.

③ 48: $\frac{T_H - T_C}{T_C}$를 24로 잘못 계산했을 때 나오는 값으로, 290/10 = 29를 정확히 계산하지 않으면 나올 수 있는 오답이다.

④ 58: $W = Q_C \cdot \frac{T_H - T_C}{T_C} = 2 \times 29 = 58\ \mathrm{J}$로 정확히 계산되는 값이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 성능계수 공식에서 분모에 들어가는 것이 $T_H - T_C$라는 점과, 성능계수의 정의가 Q_C/W라는 점을 혼동하는 데 있다. W/Q_C와 Q_C/W를 뒤바꾸어 계산하거나, 온도차 290을 정확히 계산하지 않으면 28, 38, 48과 같은 오답이 나온다. 또한 단위가 켈빈(K)으로 주어져 있으므로 별도의 섭씨 환산 없이 그대로 대입해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동기·열펌프 문제가 나오면 먼저 저온부·고온부 온도와 흡수·방출 열량 중 무엇이 주어졌는지 표시한 뒤, 냉동계수 $\mathrm{COP}_{\mathrm{ref}} = Q_C/W = T_C/(T_H - T_C)$ 공식에 그대로 대입한다. 열펌프의 성능계수는 $\mathrm{COP}_{\mathrm{heat}} = Q_H/W = T_H/(T_H - T_C)$로 분자가 다르므로, 냉동기인지 열펌프인지부터 확인한다.

암기 포인트

카르노 냉동기 성능계수: $\mathrm{COP}_{\mathrm{ref}} = \frac{Q_C}{W} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$. 카르노 열펌프 성능계수: $\mathrm{COP}_{\mathrm{heat}} = \frac{Q_H}{W} = \frac{T_H}{T_H - T_C}$. 에너지 보존: $Q_H = Q_C + W$.

NoteBase

문 5. 위는 열려 있고 아래는 닫혀 있는 1m 깊이의 원통이 수직으로 세워져 있다. 이 원통에는 물이 담겨 있으며, 원통 바로 위에서 진동수 510Hz의 소리굽쇠를 울리면 특정 수위에서 소리가 커진다. 소리가 커지는 최대 수위[m]는? (단, 음속은 340m/s이다)

① $\frac{1}{2}$
② $\frac{2}{3}$
③ $\frac{3}{5}$
④ $\frac{5}{6}$

정답 4번

출제 포인트

한쪽 끝이 닫혀 있고 다른 쪽 끝이 열려 있는 관(폐관)에서 일어나는 공명(기주 공명) 현상을 다루는 문제다. 원통 속 물의 수면이 닫힌 바닥 역할을 하고, 물 위의 공기 기둥이 소리굽쇠와 공명하는 폐관으로 작용한다. 물의 높이를 바꾸면 공기 기둥의 길이가 달라지고, 특정 길이에서 공명이 일어나 소리가 커진다. 이 문제는 공명이 일어나는 여러 수위 중에서 가장 높은 수위, 즉 가장 짧은 공기 기둥에서 생기는 공명 조건을 찾는 것이 핵심이다.

조건 정리

원통의 전체 깊이는 1 m이고, 물의 높이를 h, 물 위 공기 기둥의 길이를 L이라 하면 $L = 1 - h$이다. 소리굽쇠의 진동수는 $f = 510$ Hz이고 음속은 $v = 340$ m/s이다. 원통은 위가 열려 있고 물 표면 아래는 막혀 있으므로, 공기 기둥은 한쪽 끝이 닫히고 한쪽 끝이 열린 폐관(닫힌관)으로 취급한다.

사용할 공식

한쪽이 닫히고 한쪽이 열린 관에서 공명이 일어나는 기주의 길이는 $L = (2n-1)\frac{\lambda}{4}\,(n = 1, 2, 3, \ldots)$이다. 여기서 파장은 $\lambda = \frac{v}{f}$로 구한다.

계산 과정

파장을 먼저 구하면 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{510} = \frac{2}{3}$ m이다.
공명이 일어나는 기주의 길이는 $L = (2n-1)\frac{\lambda}{4} = (2n-1) \times \frac{1}{6}$ m이므로, 작은 길이부터 나열하면 $L_1 = \frac{1}{6}$ m, $L_2 = \frac{1}{2}$ m, $L_3 = \frac{5}{6}$ m이다(원통 깊이 1 m를 넘지 않는 값만 유효하다).
수위는 $h = 1 - L$이므로 각 공명에서의 수위는 $h_1 = 1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$ m, $h_2 = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$ m, $h_3 = 1 - \frac{5}{6} = \frac{1}{6}$ m 이다.
소리가 커지는 수위 중 가장 큰 값(최대 수위)은 기주 길이가 가장 짧은 첫 번째 공명에서 나오며, 그 값은 $h_1 = \frac{5}{6}$ m이다.

NoteBase

선지 판단

① 1/2: X. 이는 두 번째 공명($n = 2$, 기주 길이 1/2 m)에서의 수위이며 최대 수위가 아니다.
② 2/3: X. 이 값은 파장 $\lambda = 2/3$ m 자체이며, 공명이 일어나는 기주 길이나 수위 조건을 만족하지 않는다.
③ 3/5: X. 공명 조건식 $L = (2n - 1)\lambda/4$에서 나오는 어떤 정수 n에 대해서도 대응되지 않는 값이다.
④ 5/6: O. 첫 번째 공명($n = 1$, 기주 길이 $\lambda/4 = 1/6$ m)에서 얻어지는 수위로, 소리가 커지는 수위 중 가장 큰 값이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 '최대 수위'를 '가장 긴 공기 기둥이 만드는 공명'으로 착각해 두 번째나 세 번째 공명의 수위를 답으로 고르는 것이다. 수위가 높을수록 공기 기둥은 짧아지므로, 최대 수위는 공명 조건을 만족하는 가장 짧은 기주 길이($n = 1$, $\lambda/4$)에 대응한다는 점을 혼동하지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

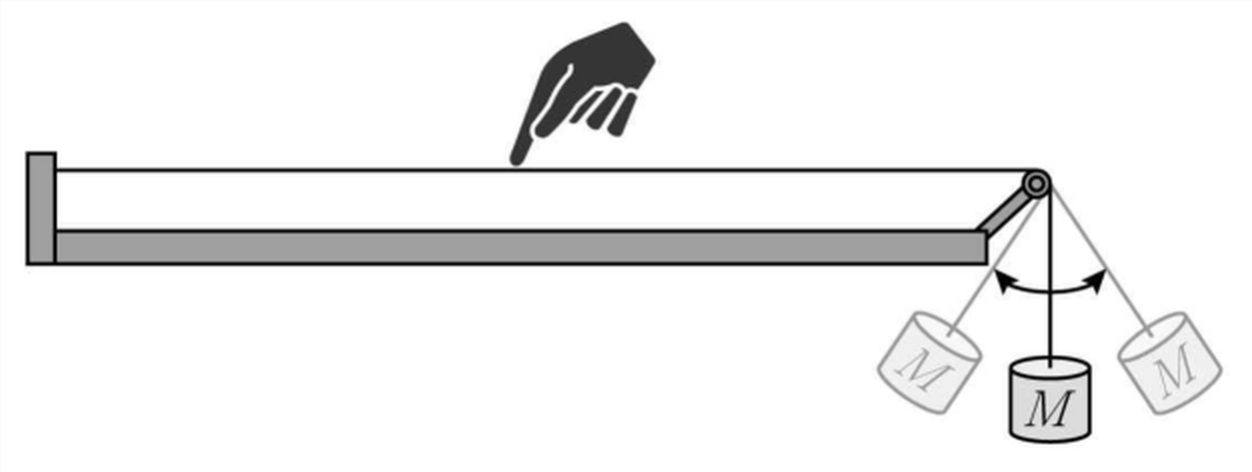
물기둥을 이용한 폐관 공명 문제는 먼저 파장 $\lambda = v/f$를 구한 뒤, 공명 조건 $L = (2n - 1)\lambda/4$로 가능한 기주 길이들을 작은 값부터 나열한다. 그 다음 '수위=전체 깊이-기주 길이' 관계를 이용해 각 공명에 대응하는 수위를 구하고, 문제가 묻는 것이 최댓값인지 최솟값인지에 따라 대응하는 기주 길이(짧은 것 또는 긴 것)를 골라 계산한다.

암기 포인트

한쪽 닫힌 폐관의 공명 조건은 $L = (2n - 1)\frac{\lambda}{4}$이며, 가장 짧은 공명 길이는 $\lambda/4$이다. 수위가 높아질수록 공기 기둥(닫힌관 길이)은 짧아진다는 관계를 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 기타줄의 한 쪽은 벽에 고정되어 있고, 다른 쪽은 작은 도르래를 지나 아래로 늘어뜨려져서 질량 M의 추에 연결되어 있다. 추가 연직 하방에서 정지해 있을 때 이 기타줄의 수평 부분을 퉁겼더니 진동수 f의 소리가 발생했다. 만일 추가 단진자 운동을 한다면, 기타줄의 동일한 지점을 퉁기어 나는 소리의 진동수는? (단, 도르래의 마찰은 무시한다)



① f와 f보다 작은 진동수 사이에서 변한다.

② f와 f보다 큰 진동수 사이에서 변한다.

③ f보다 작은 진동수와 큰 진동수 사이에서 변한다.

④ f로 일정하게 유지된다.

정답 3번

출제 포인트

줄에서 나는 소리의 진동수가 줄의 장력에 따라 어떻게 달라지는지, 그리고 추가 단진자 운동을 할 때 줄의 장력이 시간에 따라 어떻게 변하는지를 함께 물어보는 문제이다. 정지 상태의 장력과 진자운동 중 장력의 최댓값·최솟값을 비교할 수 있어야 한다.

조건 정리

기타줄의 한쪽 끝은 벽에 고정되고 다른 쪽은 도르래를 지나 질량 M의 추에 연결되어 있다. 도르래의 마찰은 무시한다. 추가 연직 하방에서 정지해 있을 때 줄을 퉁기면 진동수 f의 소리가 난다. 이제 추가 단진자 운동(좌우로 진동)을 하는 상태에서 같은 지점을 퉁겨 소리의 진동수 변화를 구한다.

NoteBase

사용할 공식

양끝이 고정된 줄(또는 한쪽이 도르래로 장력이 걸린 줄)에서 나는 소리의 기본 진동수는 $f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$ 이다. 여기서 L은 줄의 길이, T는 줄의 장력, μ는 줄의 선밀도이다. L과 μ는 변하지 않으므로 진동수 f는 오직 장력 T의 제곱근에 비례한다. 도르래를 넘어가는 줄의 장력은 추에 걸리는 줄의 장력과 같으므로, 추의 운동에 따라 장력이 변하면 곧바로 소리의 진동수가 변한다.

계산 과정

추가 정지해 연직 하방에 매달려 있을 때는 줄의 장력이 추의 무게와 정확히 같다. $T_0 = Mg$ 이때 진동수가 f 이므로 $f \propto \sqrt{Mg}$의 관계가 성립한다.
이제 추가 단진자처럼 좌우로 진동할 때 장력이 각 순간 어떻게 바뀌는지 살펴본다. 추가 줄과 이루는 각도를 θ라 하면, 줄 방향(원운동의 반지름 방향) 힘의 평형식은 $T - Mg\cos\theta = \frac{Mv^2}{L}$ 이다. 즉 $T = Mg\cos\theta + \frac{Mv^2}{L}$
① 진자가 양 끝(최고점, 순간적으로 속력 $v = 0$)에 있을 때: $T = Mg\cos\theta$이고 $\theta \neq 0$이므로 $\cos\theta < 1$이 되어 $T < Mg$이다. 즉 정지해 있을 때보다 장력이 작아진다.
② 진자가 가장 낮은 점(연직 하방, $\theta = 0$)을 지날 때: 이 점에서는 속력이 최대이므로 원운동에 필요한 구심력만큼 장력이 추가로 더 필요하다. $T = Mg + \frac{Mv^2}{L} > Mg$ 즉 정지해 있을 때보다 장력이 커진다.
따라서 진자가 한 번 왕복하는 동안 장력은 Mg보다 작은 값과 Mg보다 큰 값 사이를 연속적으로 오간다.
진동수는 장력의 제곱근에 비례하므로, 소리의 진동수 역시 f보다 작은 값과 f보다 큰 값 사이에서 계속 변하게 된다.

선지 판단

① f와 f보다 작은 진동수 사이에서 변한다. → X. 장력이 항상 Mg 이하로만 변한다는 뜻인데, 실제로는 가장 낮은 점을 지날 때 장력이 Mg보다 커지므로 진동수도 f보다 커지는 구간이 존재한다. 이 선지는 그 구간을 빠뜨렸다.
② f와 f보다 큰 진동수 사이에서 변한다. → X. 반대로 양 끝(최고점)에서는 장력이 Mg보다 작아지므로 진동수가 f보다 작아지는 구간도 존재한다. 이 선지는 그 구간을 빠뜨렸다.
③ f보다 작은 진동수와 큰 진동수 사이에서 변한다. → O. 양 끝에서는 장력이 Mg보다 작아 진동수가 f보다 작고, 가장 낮은 점에서는 장력이 Mg보다 커 진동수가 f보다 크다. 따라서 진동수는 f를 사이에 두고 그보다 작은 값과 큰 값 사이에서 오간다.
④ f로 일정하게 유지된다. → X. 추가 정지해 있을 때만 장력이 일정하게 Mg이다. 진자운동을 하면 각도와 속력이 계속 바뀌므로 장력도, 진동수도 일정할 수 없다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 진자 운동 중의 장력을 정지 상태의 장력 Mg와 같다고 생각하거나, 구심력 성분(Mv^2/L)을 빠뜨리고 $T = Mg\cos\theta$만 적용해 항상 Mg보다 작다고 판단하는 것이다. 최고점에서는 구심력이 0이라 $T = Mg\cos\theta < Mg$이지만, 최저점에서는 $\cos\theta = 1$에 구심력 항이 더해져 $T > Mg$가 된다는 점을 함께 고려해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

줄(현)에서 나는 소리 진동수가 걸린 물체의 운동에 따라 변하는 문제는, 먼저 진동수 공식 $f = \frac{1}{2L}\sqrt{T/\mu}$에서 무엇이 변하는 변수(여기서는 장력 T)인지부터 특정한다. 그 다음 진자 운동이라면 최고점(속도 0, 장력 최소)과 최저점(속도 최대, 장력 최대)에서의 장력을 각각 구해 Mg와 비교하면 답이 바로 나온다.

암기 포인트

줄 진동수 $f \propto \sqrt{T}$: 장력이 커지면 진동수도 커진다. 단진자의 장력은 최고점(양 끝)에서 최소($Mg\cos\theta < Mg$), 최저점(연직 하방)에서 최대($Mg + Mv^2/L > Mg$)가 되며, 정지 시 장력 Mg를 사이에 두고 오르내린다.

NoteBase

문 7. 흑체 복사 스펙트럼에서 세기가 가장 큰 파장을 λ_{max}라고 정의하자. 표면 온도가 5,800 K인 흑체의 λ_{max}는 약 $0.5\mu m$이다. 표면 온도가 250 K인 흑체의 $\lambda_{max}[\mu m]$에 가장 가까운 것은?

① 1.16

② 3.48

③ 11.6

④ 34.8

정답 3번

출제 포인트

흑체 복사에서 표면 온도와 최대 세기 파장 사이의 반비례 관계를 다루는 빈의 변위 법칙(Wien's displacement law)을 적용할 수 있는지를 묻는다. 온도가 낮아질수록 최대 세기 파장은 길어진다는 점과, 두 흑체를 비교할 때 굳이 빈 상수 값을 외우지 않아도 비례식만으로 계산할 수 있다는 점이 핵심이다.

조건 정리

표면 온도가 $T_1 = 5{,}800$ K인 흑체의 최대 세기 파장은 $\lambda_1 = 0.5\ \mu$m로 주어졌다. 표면 온도가 $T_2 = 250$ K인 흑체의 최대 세기 파장 λ_2를 구해야 한다.

사용할 공식

빈의 변위 법칙에 따르면 흑체의 최대 세기 파장과 표면 온도의 곱은 일정하다. $\lambda_{max} T = \text{const}$. 따라서 두 흑체를 비교하면 다음 비례식이 성립한다. $\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2$

계산 과정

위 비례식에 값을 대입한다. $\lambda_2 = \lambda_1 \times \frac{T_1}{T_2} = 0.5 \times \frac{5{,}800}{250}$ 분수를 먼저 계산하면 $\frac{5{,}800}{250} = 23.2$이므로, $\lambda_2 = 0.5 \times 23.2 = 11.6\ \mu$m 즉 표면 온도가 250 K인 흑체의 최대 세기 파장은 약 11.6 μm이다.

선지 판단

① 1.16 → 계산값을 100분의 1로 잘못 축소했을 때 나오는 값이므로 오답이다.
② 3.48 → 온도비 계산을 잘못 적용했을 때 나오는 값으로 오답이다.
③ 11.6 → 빈의 변위 법칙 $\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2$을 정확히 적용해 얻은 값과 일치하므로 정답이다.
④ 34.8 → 온도비 대신 온도차 방향을 반대로 적용하는 등 계산을 잘못했을 때 나오는 값으로 오답이다.

NoteBase

오답 포인트

표면 온도가 낮아지면 최대 세기 파장은 길어져야 하는데(반비례 관계), 이 방향을 거꾸로 적용해 온도가 낮은데도 파장이 짧아지는 답을 고르면 틀린다. 또한 온도의 비를 T_1/T_2가 아니라 T_2/T_1로 뒤집어 계산하면 매우 작은 값이 나와 오답으로 빠지기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

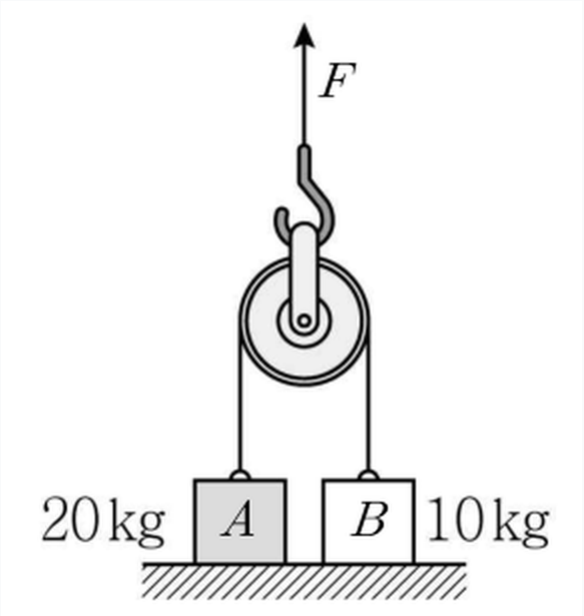
흑체 복사 문제에서 두 온도 조건이 함께 제시되고 한쪽의 최대 세기 파장이 주어지면, 빈 상수 값을 몰라도 $\lambda_1 T_1 = \lambda_2 T_2$라는 비례식만으로 풀 수 있다는 점을 먼저 떠올린다. 이후 온도가 낮아진 비율만큼 파장이 길어진다는 방향성을 확인하고 계산한다.

암기 포인트

빈의 변위 법칙: $\lambda_{max} T = \text{const.}$ — 표면 온도와 최대 세기 파장은 반비례한다. 태양(약 5,800 K)의 최대 세기 파장이 약 0.5 μm(가시광선 영역)라는 기준값을 알아 두면 다른 온도의 흑체 파장을 비례식으로 빠르게 구할 수 있다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 바닥에 정지해 있는 20kg의 벽돌 A와 10kg의 벽돌 B가 도르래에 걸쳐 있는 줄로 연결되어 있다. 도르래에 연직 상방으로 크기 F의 힘을 가했더니 벽돌 B만 천천히 들어 올려졌다. F의 최소 크기[N]는? (단, 중력 가속도는 10m/s^2이고, 줄은 늘어나지 않으며 줄과 도르래의 질량과 마찰 및 벽돌의 크기는 무시한다)



① 50

② 100

③ 150

④ 200

정답 4번

출제 포인트

하나의 도르래에 줄이 걸쳐 벽돌 A와 B를 양쪽에서 매달고 있고, 도르래 축에는 힘 F가 연직 상방으로 작용한다. 줄이 도르래를 거쳐 A와 B를 연결하므로 줄의 양쪽 장력은 서로 같다는 점과, 도르래 자체의 힘 평형(F가 양쪽 장력의 합과 같다)을 함께 세워야 한다는 점이 핵심이다.

조건 정리

벽돌 A의 질량은 20kg, 벽돌 B의 질량은 10kg, 중력 가속도는 $g = 10\text{m/s}^2$이다. B만 천천히(등속으로) 들어 올려졌다는 것은 B에 작용하는 알짜힘이 0이라는 뜻이고, A는 바닥에 그대로 있으므로 A에 작용하는 줄의 장력은 A의 무게보다 작거나 같아야 한다. 줄은 도르래를 거쳐 양쪽이 하나로 이어져 있으므로 양쪽 줄의 장력 크기는 같다.

NoteBase

사용할 공식

B에 대한 힘의 평형: $T = m_B g$. 도르래(질량 무시)에 대한 힘의 평형: $F = T + T = 2T$.

계산 과정

B가 천천히(등속으로) 들어 올려지려면 줄의 장력 T가 B의 무게와 같아야 한다.
$T = m_B g = 10\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 = 100\text{N}$. 도르래는 질량이 없으므로 도르래에 작용하는 힘의 평형에서 위로 당기는 F는 양쪽 줄이 아래로 당기는 힘의 합과 같아야 한다. $F = 2T = 2 \times 100\text{N} = 200\text{N}$. 이때 A쪽 줄의 장력도 같은 $T = 100\text{N}$인데, 이는 A의 무게 $m_A g = 20\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 = 200\text{N}$보다 작으므로 A는 바닥의 수직항력($200\text{N} - 100\text{N} = 100\text{N}$)을 받으며 바닥에 그대로 남아 있게 되어 문제의 조건과 일치한다. 따라서 F의 최소 크기는 200N이다.

선지 판단

① 50: B를 들어 올리는 데 필요한 장력 100N에도 못 미치는 F이므로 틀리다. → F=2T=200N이어야 한다.
② 100: 이는 장력 T의 값이지 도르래를 당기는 F의 값이 아니다. 도르래는 양쪽 줄이 함께 아래로 당기므로 F=2T가 되어야 한다. → F=200N이어야 한다.
③ 150: T=100N을 기준으로 2배 관계를 절반만 반영한 값으로, 도르래 힘 평형식 F=2T와 맞지 않는다. → F=200N이어야 한다.
④ 200: B의 무게로부터 구한 장력 T=100N에 도르래 힘 평형 F=2T를 적용하면 정확히 200N이 되며, 이때 A쪽 장력(100N)이 A의 무게(200N)보다 작아 A가 바닥에 남는 조건도 만족한다. 옳다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 F를 장력 T와 같다고 보는 것이다. 도르래 축에 걸리는 F는 양쪽 줄이 도르래를 아래로 당기는 힘의 합이므로 반드시 F=2T로 계산해야 한다. 또한 B의 무게만 가지고 T를 구하고 A의 무게는 신경 쓰지 않는 경우가 있는데, A가 들리지 않고 바닥에 남아 있어야 한다는 조건이 T의 값이 A의 무게(200N)보다 작아야 함을 뒷받침해 주는 확인 장치로 쓰인다는 점도 함께 짚어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

도르래에 힘이 직접 가해지고 그 도르래에 걸린 줄이 양쪽 물체를 매단 구조가 나오면, 먼저 줄의 장력은 도르래 양쪽에서 같다는 것과 도르래(질량 무시)에 작용하는 힘 평형식 F=2T부터 세운다. 그다음 '천천히 들어 올려진다'는 표현은 등속 운동, 즉 그 물체에 작용하는 알짜힘이 0이라는 뜻으로 받아들여 장력을 그 물체의 무게와 같다고 놓는다. 마지막으로 나머지 물체가 바닥에 남아 있다는 조건이 앞서 구한 장력과 모순되지 않는지 확인한다.

암기 포인트

도르래 축에 직접 힘 F가 가해지고 줄이 그 도르래를 통해 양쪽으로 걸리는 구조에서는 F=2T(양쪽 줄의 장력 합)이고, 물체가 등속으로 들리는 순간의 장력은 그 물체의 무게 mg와 같다는 두 관계를 세트로 기억해 둔다.

NoteBase

문 9. 매우 작지만 아주 밝은 촛불 두 개가 50 cm 간격으로 놓여 있다. 이 두 촛불을 멀리에서 보면 하나로 보인다. 육안으로 관찰할 때 촛불이 두 개로 구별되어 보이는 촛불과 관찰자 사이의 최대 거리[m]에 가장 가까운 것은? (단, 눈의 동공 지름은 5 mm이고 촛불 빛의 파장은 500 nm이며, 눈의 분해능은 단지 회절에 의해서만 제한된다고 가정한다)

① 100

② 400

③ 1,000

④ 4,000

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원형 구멍(눈동자)을 통과한 빛의 회절에 의해 생기는 분해능의 한계를 다룬다. 두 개의 점광원이 아무리 밝고 작아도 관찰자와의 거리가 멀어지면 두 광원이 이루는 각이 점점 작아지다가, 그 각이 회절에 의한 분해능의 한계각보다 작아지는 순간부터는 두 광원이 하나로 겹쳐 보인다. 두 광원을 구별할 수 있는 최대 거리를 레일리 기준(Rayleigh criterion)으로 구하는 문제이다.

조건 정리

두 촛불 사이 간격 $s = 50\ \text{cm} = 0.5\ \text{m}$, 눈동자(동공) 지름 $D = 5\ \text{mm} = 5 \times 10^{-3}\ \text{m}$, 빛의 파장 $\lambda = 500\ \text{nm} = 5 \times 10^{-7}\ \text{m}$. 눈의 분해능은 오직 회절에 의해서만 제한된다고 가정하므로, 관찰자와 촛불 사이의 거리 L이 커질수록 두 촛불이 이루는 각 $\theta \approx s/L$이 작아지며, 이 각이 회절에 의한 최소 분해각(레일리 한계각)과 같아지는 거리가 바로 두 촛불을 구별할 수 있는 최대 거리이다.

사용할 공식

원형 구멍(동공)에 의한 회절의 레일리 기준에 따른 최소 분해각은 $\theta_{\text{min}} = 1.22\frac{\lambda}{D}$ 이다. 두 광원이 관찰자로부터 거리 L만큼 떨어져 있고 두 광원 사이 간격이 s일 때, 두 광원이 이루는 각은 작은 각 근사에 의해 $\theta \approx \frac{s}{L}$ 이다. 두 촛불을 구별할 수 있는 조건은 $\theta \geq \theta_{\text{min}}$이므로, 구별 가능한 최대 거리는 $\theta = \theta_{\text{min}}$일 때이며 $\frac{s}{L_{\text{max}}} = 1.22\frac{\lambda}{D} \quad \Rightarrow \quad L_{\text{max}} = \frac{sD}{1.22\lambda}$ 로 구한다.

계산 과정

주어진 값을 대입하면 $L_{\text{max}} = \frac{sD}{1.22\lambda} = \frac{(0.5)(5 \times 10^{-3})}{1.22 \times (5 \times 10^{-7})}$ 분자를 계산하면 $sD = 0.5 \times 5 \times 10^{-3} = 2.5 \times 10^{-3}$ 이고, 분모는 $1.22 \times 5 \times 10^{-7} = 6.1 \times 10^{-7}$이다. 따라서 $L_{\text{max}} = \frac{2.5 \times 10^{-3}}{6.1 \times 10^{-7}} \approx 4.1 \times 10^{3}\ \text{m}$ 이 값은 약 4,000 m에 가장 가깝다.

NoteBase

선지 판단

① 100: 계산값 약 4,000 m와 자릿수 차이가 크게 나므로 오답이다.
② 400: 계산값보다 한 자릿수 작으므로 오답이다.
③ 1,000: 계산값의 약 1/4 수준이므로 오답이다.
④ 4,000: 레일리 기준 공식 $L_{max} = sD/(1.22\lambda)$에 값을 대입한 계산 결과인 약 4,100 m와 가장 가까우므로 정답이다.

오답 포인트

이 문제에서 자주 하는 실수는 회절에 의한 분해각 공식에서 계수 1.22를 빠뜨리고 단순히 $\theta_{min} = \lambda/D$로 계산하는 것이다. 이 경우 $L_{max} \approx 5{,}000$ m 근처의 값이 나와 선택지 판단에서 혼동을 줄 수 있다. 또한 동공 지름 5 mm를 반지름으로 착각해 2로 나누거나 곱하는 실수, 단위 변환(cm→m, mm→m, nm→m)에서 자릿수를 잘못 맞추는 실수도 이 문제 유형에서 흔히 발생한다.

다시 나오면 이렇게 판단

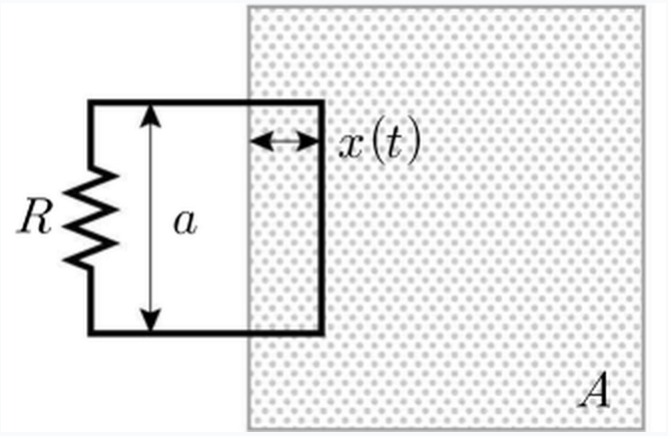
원형 구멍(눈동자, 망원경 렌즈, 카메라 조리개 등)을 통한 두 점광원의 분해능 문제가 나오면 먼저 레일리 기준 공식 $\theta_{min} = 1.22\lambda/D$를 떠올리고, 두 광원 사이 간격과 관찰 거리의 관계를 $\theta \approx s/L$로 근사한 뒤 두 식을 연립하여 $L_{max} = sD/(1.22\lambda)$ 형태로 정리한다. 이후 단위를 모두 미터(m)로 통일하여 대입하면 계산 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

원형 구멍에 의한 회절의 레일리 분해능 한계각은 $\theta_{min} = 1.22\lambda/D$이며, 여기서 D는 구멍(동공, 렌즈)의 지름이다. 두 점광원을 구별할 수 있는 최대 거리는 $L_{max} = sD/(1.22\lambda)$로, 파장이 짧을수록·구멍 지름이 클수록·광원 간격이 넓을수록 더 먼 거리에서도 두 광원을 구별할 수 있다는 점을 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 10. 가는 도선과 저항기를 연결하여 한 변의 길이가 a인 정사각형의 폐회로를 만든 후 그림과 같이 회로와 동일 평면에 있는 영역 A에 걸쳐 놓았다. 저항기의 저항은 R이고, 영역 A에는 수직 방향으로 크기가 B인 자기장이 균일하게 분포해 있다. 회로의 한 변이 영역 A로 들어간 거리 x가 시간 t에 따라 $x(t)=\frac{a}{4}\left[1+\sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right]$로 변하도록 회로를 천천히 움직일 때, 저항기에서 소비되는 전력에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 도선의 저항은 무시한다)



① a^2에 비례한다.

② B^2에 비례한다.

③ R에 반비례한다.

④ T^2에 반비례한다.

정답 1번

출제 포인트

패러데이 법칙(전자기 유도)을 이용해 시간에 따라 변하는 자속으로부터 유도기전력과 저항에서 소비되는 전력을 구하고, 그 전력이 a, B, R, T 각각에 어떻게 의존하는지 정확히 따지는 문제이다. 회로 자체의 넓이가 아니라 자기장 영역 A 안으로 들어간 부분의 넓이만 자속에 기여한다는 점이 핵심이다.

조건 정리

정사각형 폐회로의 한 변의 길이는 a이고 저항기의 저항은 R이다. 영역 A에는 회로 평면에 수직인 균일한 자기장 B가 있다. 회로의 한 변이 영역 A로 들어간 거리는 x(t)=(a/4)[1+sin(2πt/T)]이며, 도선의 저항은 무시한다. 회로가 A 안으로 들어간 부분의 넓이는 (세로 a)×(가로 x(t))이므로 자속과 직접 관련된 변수는 x(t)이다.

사용할 공식

자속 $\Phi = Bax(t)$, 유도기전력 $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -Ba\frac{dx}{dt}$, 저항에서 소비되는 전력 $P = \frac{\varepsilon^2}{R}$.

NoteBase

계산 과정

x(t)를 t로 미분하면 $\frac{dx}{dt} = \frac{a}{4} \cdot \frac{2\pi}{T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{\pi a}{2T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$이다.
따라서 유도기전력의 크기는 $\varepsilon = Ba \cdot \frac{\pi a}{2T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{\pi a^2 B}{2T}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$가 되어, a의 1제곱이 아니라 a의 2제곱에 비례한다.
이를 전력 공식에 대입하면 $P = \frac{\varepsilon^2}{R} = \frac{\pi^2 a^4 B^2}{4T^2 R}\cos^2\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$이다.
이 식에서 전력 P는 a의 4제곱에 비례하고, B의 제곱에 비례하며, R에 반비례하고, T의 제곱에 반비례한다.

선지 판단

① a^2에 비례한다: X, 계산 결과 P는 a^2이 아니라 a^4에 비례하므로 옳지 않은 설명이다. 자속 자체가 이미 a에 비례하고 여기에 dx/dt도 a에 비례하므로 기전력이 a^2에 비례하고, 전력은 기전력의 제곱이므로 a^4에 비례하게 된다.
② B^2에 비례한다: O, $P \propto B^2$로 계산 결과와 일치한다.
③ R에 반비례한다: O, $P = \varepsilon^2/R$ 형태이므로 R에 반비례한다.
④ T^2에 반비례한다: O, dx/dt에 1/T가 들어가므로 기전력이 1/T에 비례하고 전력은 그 제곱인 $1/T^2$에 비례, 즉 T^2에 반비례한다.

오답 포인트

회로의 넓이가 a^2이니 전력도 a^2에 비례할 것이라고 성급하게 판단하면 ①을 옳은 설명으로 착각하게 된다. 하지만 실제로 자속에 기여하는 것은 회로 전체 넓이가 아니라 영역 A 안으로 들어간 부분의 넓이 $a \cdot x(t)$이고, 여기서 x(t) 자체도 a에 비례하는 항을 포함하므로 자속은 a의 2제곱에 비례하게 된다. 기전력은 자속의 시간미분이라 여전히 a^2에 비례하고, 전력은 기전력의 제곱이므로 결국 a의 4제곱에 비례한다. 이 두 단계(자속에서 a^2 등장, 전력에서 다시 제곱)를 건너뛰면 오답을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

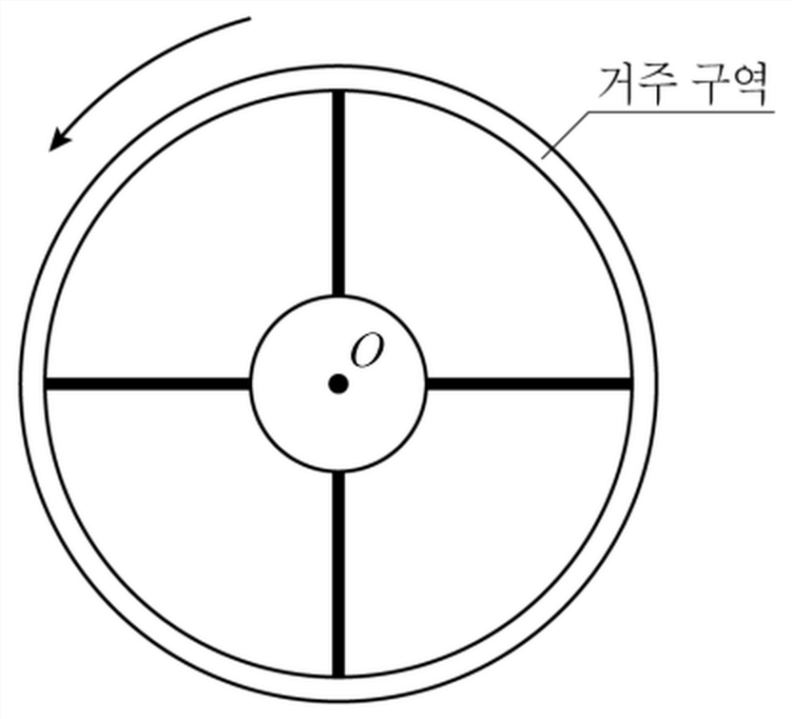
회로 일부만 자기장 영역에 들어가는 유형에서는 자속을 항상 (자기장)×(자기장 영역 안에 들어간 넓이)로 먼저 정확히 세운다. 그 다음 기전력=자속의 시간미분, 전력=기전력^2/저항의 순서로 차근차근 계산하면, 각 물리량이 최종적으로 몇 제곱에 비례·반비례하는지가 저절로 정리된다.

암기 포인트

유도기전력에서 어떤 변수가 n제곱으로 들어가면, 저항에서 소비되는 전력에서는 그 변수가 2n제곱으로 들어간다(전력은 기전력의 제곱에 비례하기 때문). 이 문제에서는 a가 기전력에 2제곱으로 들어가므로 전력에는 4제곱으로 들어간다.

NoteBase

문 11. 무중력 상태의 우주 공간에 반지름이 1,000m인 자전거 바퀴 모양의 우주정거장이 있다. 이 우주정거장은 일정한 각속도로 회전하고 있으며, 그 회전축은 중심점 O에 있다. 회전 운동에 의해 거주 구역에서 느끼는 인공 중력의 가속도가 10m/s^2일 때, 우주정거장이 회전하는 각속도 [rad/s]는? (단, 거주 구역의 폭은 무시한다)



① 10

② 1

③ 0.1

④ 0.01

정답 3번

출제 포인트

회전하는 원통형(바퀴형) 우주정거장에서 원운동에 의한 구심가속도가 곧 거주자가 느끼는 인공 중력의 가속도가 된다는 관계를 이용해 각속도를 구하는 문제이다. 등속 원운동의 구심가속도 공식 $a = \omega^2 r$을 정확히 적용할 수 있는지를 확인한다.

조건 정리

거주 구역은 회전축 O로부터 반지름 $r = 1{,}000\ \text{m}$ 떨어진 바퀴의 림(테두리)에 위치한다. 거주 구역의 폭은 무시하므로 거주 구역 전체가 반지름 r인 하나의 원 위에서 등속 원운동을 한다고 볼 수 있다. 이 회전에 의해 거주자가 느끼는 인공 중력의 가속도는 $a = 10\ \text{m/s}^2$로 주어진다. 구하는 값은 우주정거장의 각속도 ω이다.

NoteBase

사용할 공식

반지름 r로 각속도 ω만큼 등속 원운동을 하는 물체의 구심가속도는 $a = \omega^2 r$이다. 회전하는 우주정거장 내부에서 느끼는 인공 중력의 가속도는 이 구심가속도의 크기와 같으므로, 이 식을 ω에 대해 정리하면 $\omega = \sqrt{\frac{a}{r}}$ 이 된다.

계산 과정

주어진 값 $a = 10\ \text{m/s}^2$, $r = 1{,}000\ \text{m}$를 공식에 대입한다. $\omega = \sqrt{\frac{a}{r}} = \sqrt{\frac{10}{1{,}000}} = \sqrt{0.01} = 0.1\ \text{rad/s}$ 따라서 우주정거장은 0.1 rad/s의 각속도로 회전한다.

선지 판단

① 10 → X, 이 값은 a/r의 값(0.01)이 아니라 그 역수에 가까운 크기이므로 제곱근을 취하기 전 단계의 값과 혼동한 결과이다.
② 1 → X, $\omega^2 = a/r = 0.01$에서 제곱근을 취하지 않고 a/r의 값을 잘못 계산했을 때 나올 수 있는 값의 크기와 다르며, 실제 계산 결과와 일치하지 않는다.
③ 0.1 → O, $\omega = \sqrt{a/r} = \sqrt{10/1{,}000} = \sqrt{0.01} = 0.1\ \text{rad/s}$로 계산 과정과 정확히 일치한다.
④ 0.01 → X, 이는 ω^2의 값인 $a/r = 0.01$과 같은 값으로, 제곱근을 취하는 마지막 단계를 빠뜨렸을 때 나오는 값이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 $\omega^2 = a/r$까지만 계산하고 제곱근을 취하지 않아 0.01을 답으로 고르는 것이다(④). 또한 a와 r의 값을 반대로 나누거나 곱하는 실수로 10이나 그 밖의 값을 고르는 경우도 있다. 인공 중력 가속도는 구심가속도이지 구심력이 아니므로 질량 정보 없이도 각속도를 구할 수 있다는 점, 그리고 마지막에 반드시 제곱근을 취해야 한다는 점을 함께 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

회전하는 우주정거장이나 원통형 구조물에서 인공 중력이 언급되면 곧바로 구심가속도 공식 $a = \omega^2 r$을 떠올리고, 문제에서 주어지는 값이 가속도 a인지 각속도 ω인지 반지름 r인지를 먼저 구분한다. 구하는 대상이 각속도라면 $\omega = \sqrt{a/r}$, 접선 속력이라면 $v = \omega r = \sqrt{ar}$로 변환해 계산하면 된다.

암기 포인트

구심가속도 공식은 $a = \omega^2 r = \frac{v^2}{r}$로 세 가지 형태를 함께 기억해 둔다. 회전형 우주정거장의 인공 중력은 실제 중력이 아니라 원운동의 관성 효과(구심가속도)로 만들어지는 것이며, 그 크기는 회전축으로부터의 거리(반지름)와 각속도의 제곱에 비례한다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 12. 단면적이 a, 비저항이 ρ, 길이가 L인 도선 A와 단면적이 $3a$, 비저항이 3ρ, 길이가 $3L$인 도선 B가 직렬로 연결되어 있다. 전체 도선의 양 끝에 일정한 전압 V를 가할 때, 도선 A에서 소모되는 전력은?

① $\frac{aV^2}{16\rho L}$
② $\frac{3aV^2}{16\rho L}$
③ $\frac{a\rho V^2}{4L}$
④ $\frac{3a\rho V^2}{4L}$

정답 1번

출제 포인트

도선의 저항 공식 $R=\frac{\rho l}{A}$을 이용해 두 도선의 저항비를 구하고, 직렬연결에서 각 도선에 흐르는 전류가 같다는 사실을 이용해 특정 도선에서 소모되는 전력을 구하는 문제이다.

조건 정리

도선 A: 단면적 a, 비저항 ρ, 길이 L
도선 B: 단면적 $3a$, 비저항 3ρ, 길이 $3L$
A와 B는 직렬로 연결되어 전체 양 끝에 전압 V가 걸려 있다.
직렬연결이므로 A와 B에는 같은 크기의 전류 I가 흐른다.

사용할 공식

저항: $R=\frac{\rho l}{A}$
직렬 합성저항: $R_{total}=R_A+R_B$
전류: $I=\frac{V}{R_{total}}$
소모 전력: $P=I^2R$

계산 과정

도선 A의 저항은 $R_A=\frac{\rho L}{a}$이다.
도선 B의 저항은 $R_B=\frac{(3\rho)(3L)}{3a}=\frac{9\rho L}{3a}=\frac{3\rho L}{a}=3R_A$이다.
따라서 전체 저항은 $R_{total}=R_A+R_B=R_A+3R_A=4R_A=\frac{4\rho L}{a}$이다.
전체 도선에 흐르는 전류는 $I=\frac{V}{R_{total}}=\frac{V}{\frac{4\rho L}{a}}=\frac{aV}{4\rho L}$이다.
도선 A에서 소모되는 전력은 $P_A=I^2R_A=\left(\frac{aV}{4\rho L}\right)^2\cdot\frac{\rho L}{a}=\frac{a^2V^2}{16\rho^2L^2}\cdot\frac{\rho L}{a}=\frac{aV^2}{16\rho L}$이다.

NoteBase

선지 판단

① $\frac{aV^2}{16\rho L}$ → O, 계산 과정에서 구한 P_A와 정확히 일치한다.
② $\frac{3aV^2}{16\rho L}$ → X, 이는 도선 B에서 소모되는 전력 $P_B = I^2R_B = 3 \times P_A$에 해당하는 값이므로 A와 B를 혼동한 오답이다. 틀린 표현 → 올바른 표현: $\frac{3aV^2}{16\rho L}$(B의 전력) → $\frac{aV^2}{16\rho L}$(A의 전력).
③ $\frac{a\rho V^2}{4L}$ → X, ρ가 분모가 아니라 분자에 곱해져 있어 저항이 커질수록 전력도 커지는 잘못된 식이다. 저항 공식에서 비저항을 분모·분자에 뒤바꿔 계산한 오류이다. 틀린 표현 → 올바른 표현: $\frac{a\rho V^2}{4L}$ → $\frac{aV^2}{16\rho L}$.
④ $\frac{3a\rho V^2}{4L}$ → X, ③과 같은 비저항 위치 오류에 A·B 혼동까지 겹친 값이다. 틀린 표현 → 올바른 표현: $\frac{3a\rho V^2}{4L}$ → $\frac{aV^2}{16\rho L}$.

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 가지이다. 첫째, 도선 B의 저항을 구할 때 단면적과 길이가 모두 3배가 되었다고 해서 저항이 그대로라고 착각하기 쉬운데, 비저항까지 3배이므로 $R_B = \frac{3\rho \cdot 3L}{3a} = 3\frac{\rho L}{a} = 3R_A$로 A의 3배가 된다. 둘째, 직렬연결에서는 전류가 같으므로 전력은 저항에 비례한다($P = I^2R$)는 점을 이용해야 하는데, 저항이 작은 A가 저항이 큰 B보다 전력을 적게 소모한다는 사실을 거꾸로 적용하면 ②와 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

직렬회로에서 두 저항체의 전력을 비교하는 문제는 전류가 공통이라는 사실을 출발점으로 삼아 $P = I^2R$로 접근하면 빠르다. 저항비부터 $R = \frac{\rho l}{A}$로 구해 어느 쪽 저항이 몇 배인지 확정한 뒤, 전체 저항과 전류를 구하고 마지막에 원하는 도선의 저항을 곱해 전력을 계산하는 순서를 지킨다.

암기 포인트

저항 공식 $R = \frac{\rho l}{A}$에서 길이가 커지면 저항이 커지고 단면적이 커지면 저항이 작아진다는 방향을 정확히 기억한다. 직렬연결은 전류 공통, 병렬연결은 전압 공통이며, 전류가 같을 때 전력은 저항에 비례한다는 관계($P = I^2R$)를 함께 묶어 외워 둔다.

NoteBase

문 13. 초점거리가 각각 20 cm, -25 cm, 30 cm인 세 개의 얇은 렌즈가 있다. 이 중 두 개를 골라 각각 대물렌즈와 대안렌즈로 사용하여 굴절망원경을 만들려고 할 때, 이 망원경이 가질 수 있는 가장 큰 각배율은?

① $\frac{6}{5}$
② $\frac{5}{4}$
③ $\frac{3}{2}$
④ $\frac{5}{2}$

정답 3번

출제 포인트

굴절망원경(대물렌즈+대안렌즈)의 각배율 공식을 이용해, 세 개의 렌즈 중 두 개를 골라 만들 수 있는 가장 큰 각배율을 구하는 문제이다. 각배율은 대물렌즈 초점거리와 대안렌즈 초점거리의 비로 결정되므로, 어떤 렌즈를 대물렌즈로 쓰고 어떤 렌즈를 대안렌즈로 쓰는지에 따라 값이 달라진다는 점이 핵심이다.

조건 정리

주어진 얇은 렌즈 세 개의 초점거리는 $f_1 = 20\text{cm}$, $f_2 = -25\text{cm}$, $f_3 = 30\text{cm}$이다. 이 중 두 개를 골라 하나는 대물렌즈(objective, 초점거리 f_o), 다른 하나는 대안렌즈(eyepiece, 초점거리 f_e)로 사용하여 굴절망원경을 구성한다. 두 렌즈의 뒤쪽 초점이 겹치도록 배치하면 무한대 물체의 상을 무한대에 맺게 하는 망원경 조건이 된다.

사용할 공식

굴절망원경의 각배율(배율의 크기)은 다음과 같다. $|M| = \frac{f_o}{f_e}$ 여기서 f_o는 대물렌즈의 초점거리, f_e는 대안렌즈의 초점거리이다. 각배율의 크기를 최대로 하려면 분자인 f_o는 가능한 크게, 분모인 $|f_e|$는 가능한 작게 선택해야 한다.

계산 과정

세 렌즈 중 두 개를 골라 대물렌즈·대안렌즈로 배정하는 모든 경우의 각배율 크기를 비교한다.
$f_o = 20,\ f_e = -25$: $|M| = \frac{20}{25} = \frac{4}{5}$
$f_o = -25,\ f_e = 20$: $|M| = \frac{25}{20} = \frac{5}{4}$
$f_o = 20,\ f_e = 30$: $|M| = \frac{20}{30} = \frac{2}{3}$
$f_o = 30,\ f_e = 20$: $|M| = \frac{30}{20} = \frac{3}{2}$
$f_o = -25,\ f_e = 30$: $|M| = \frac{25}{30} = \frac{5}{6}$
$f_o = 30,\ f_e = -25$: $|M| = \frac{30}{25} = \frac{6}{5}$
이 중 가장 큰 값은 대물렌즈 초점거리 30 cm, 대안렌즈 초점거리 20 cm를 짝지었을 때의 $\frac{3}{2}$이다. 초점거리가 가장 큰 렌즈(30 cm)를 대물렌즈로, 남은 두 렌즈 중 초점거리의 절댓값이 더 작은 렌즈(20 cm)를 대안렌즈로 선택한 조합이 분자를 최대화하면서 분모를 최소화하는 조합이기 때문이다.

NoteBase

선지 판단

① 6/5 → $f_o = 30$, $f_e = -25$ 조합의 각배율 크기로, 실제로 가능한 값이지만 가장 큰 값은 아니다.
② 5/4 → $f_o = -25$, $f_e = 20$ 조합의 각배율 크기로, 이 역시 가능한 값이지만 3/2보다 작다.
③ 3/2 → $f_o = 30$, $f_e = 20$ 조합의 각배율 크기로, 세 렌즈로 만들 수 있는 여섯 가지 조합 중 값이 가장 크다.
④ 5/2 → 어떤 두 렌즈의 조합으로도 나오지 않는 값이다. 30/20 = 3/2, 25/20 = 5/4 등 실제 계산 결과와 맞지 않는다.

오답 포인트

각배율을 구할 때 무조건 초점거리가 가장 큰 두 렌즈(30 cm와 20 cm)만 후보로 놓고 어느 쪽을 대물렌즈로 둘지 헷갈리면 안 된다. 각배율은 대물렌즈 초점거리를 대안렌즈 초점거리로 나눈 값이므로, 큰 초점거리를 반드시 분자(대물렌즈)에 두어야 값이 커진다. 거꾸로 배정하면 20/30처럼 오히려 1보다 작은 값이 나온다. 또한 초점거리가 음수인 렌즈(−25 cm, 오목렌즈)를 대물렌즈나 대안렌즈로 써도 각배율 공식 자체는 절댓값 비로 계산되므로 부호 자체가 답을 바꾸지 않으며, 세 렌즈로 만들 수 있는 모든 조합을 빠짐없이 비교하지 않고 일부만 계산해서 성급히 답을 고르지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

여러 개의 렌즈 중 두 개를 골라 망원경을 구성하고 최대 각배율을 구하라는 문제가 나오면, 먼저 각배율 공식 $|M| = f_o/f_e$를 적어 놓고, 가능한 모든 렌즈 쌍에 대해 큰 초점거리를 분자(대물렌즈), 작은 초점거리를 분모(대안렌즈)에 배정한 경우만 계산하면 빠르게 최댓값 후보를 좁힐 수 있다. 이번 문제처럼 초점거리 값이 20, −25, 30인 경우, 절댓값이 가장 큰 30을 대물렌즈로 두고 절댓값이 가장 작은 20을 대안렌즈로 둔 조합이 최댓값을 만든다는 규칙을 확인해 둔다.

암기 포인트

굴절망원경 각배율: |M| = f_대물f_대안. 각배율을 최대로 만들려면 초점거리가 가장 큰 렌즈를 대물렌즈로, 초점거리의 절댓값이 가장 작은 렌즈를 대안렌즈로 선택한다.

NoteBase

문 14. 반지름이 $40\sqrt{3}\,\mathrm{m}$인 원형 트랙이 수평면에 놓여 있다. 이 원형 트랙을 일정한 속력으로 달리는 자동차의 천장에 매달아 둔 진자가 연직선으로부터 30°의 각도를 유지하고 있다. 이 자동차의 속력[m/s]은? (단, 중력 가속도는 $10\mathrm{m/s^2}$이고, 자동차의 크기와 진자의 길이에 의한 효과는 무시하며, 바퀴와 지면 사이의 마찰력과 중력 이외의 다른 힘은 없다고 가정한다)

① 10

② 20

③ 30

④ 40

정답 2번

출제 포인트

원운동하는 자동차 안에서 매달린 진자가 기울어지는 각도로부터 자동차의 구심가속도, 나아가 속력을 구하는 문제이다. 자동차 안(비관성계) 관찰자 입장에서 진자에는 중력, 줄의 장력, 그리고 원운동에 의한 관성력(원심력)이 작용하며, 진자가 정지한 각도는 이 힘들의 평형 조건으로 결정된다.

조건 정리

원형 트랙의 반지름은 $r = 40\sqrt{3}\ \mathrm{m}$이다. 자동차는 이 트랙을 일정한 속력으로 돌고 있으므로 등속 원운동을 한다. 진자는 연직선으로부터 $\theta = 30^\circ$만큼 기울어진 채로 정지해 있으며, 중력 가속도는 $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$이다. 자동차의 크기와 진자 길이에 의한 효과, 그리고 마찰력·중력 이외의 힘은 무시한다.

사용할 공식

자동차와 함께 도는 관찰자가 보면 진자는 정지해 있으므로, 진자에 작용하는 줄의 장력 T, 중력 mg, 원심력(관성력) ma가 평형을 이룬다. 연직 방향과 수평(원의 중심 방향) 방향으로 힘을 분해하면 $T\cos\theta = mg$, $T\sin\theta = ma$가 되고, 두 식을 나누면 $\tan\theta = \frac{a}{g}$이다. 여기서 a는 자동차의 구심가속도이며 $a = \frac{v^2}{r}$로 주어진다.

계산 과정

$\tan 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}}$이므로 구심가속도는 $a = g\tan\theta = 10 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}}\ \mathrm{m/s^2}$이다. 이를 $a = \frac{v^2}{r}$에 대입하면 $v^2 = ar = \frac{10}{\sqrt{3}} \times 40\sqrt{3} = 400$이 되어 $v = \sqrt{400} = 20\ \mathrm{m/s}$를 얻는다.

NoteBase

선지 판단

① 10: $v^2 = 100$이 되려면 $a = \frac{100}{40\sqrt{3}} = \frac{2.5}{\sqrt{3}}\ \mathrm{m/s^2}$이어야 하는데 이는 $\tan\theta$가 30°보다 훨씬 작은 각에 대응하므로 틀린 값이다.
② 20: $v^2 = 400 = ar$이 되어 $a = \frac{10}{\sqrt{3}}\ \mathrm{m/s^2}$, $\tan\theta = \frac{a}{g} = \frac{1}{\sqrt{3}}$로 $\theta = 30^\circ$와 정확히 일치하므로 옳다.
③ 30: $v^2 = 900$이면 $a = \frac{900}{40\sqrt{3}} = \frac{22.5}{\sqrt{3}}\ \mathrm{m/s^2}$로 $\tan\theta$가 1보다 훨씬 커져 30°를 크게 초과하므로 틀린 값이다.
④ 40: $v^2 = 1600$이면 $a = \frac{1600}{40\sqrt{3}} = \frac{40}{\sqrt{3}}\ \mathrm{m/s^2}$로 $\tan\theta = 4$에 해당하여 30°보다 훨씬 큰 각을 만드는 속력이므로 틀린 값이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $\tan\theta = \frac{a}{g}$ 관계에서 $\sin\theta$나 $\cos\theta$를 대신 사용하는 것이다. 진자에 작용하는 힘은 연직 방향의 중력과 수평 방향의 원심력이 직각을 이루므로, 두 힘의 비는 반드시 탄젠트로 연결된다는 점을 놓치면 안 된다. 또한 $a = \frac{v^2}{r}$에서 반지름 $r = 40\sqrt{3}$을 그대로 쓰지 않고 $\sqrt{3}$을 빠뜨리거나 잘못 약분하면 답이 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

회전하는 물체(자동차, 관람차, 원심분리기 등) 안에 매달린 추나 진자가 특정 각도로 기울어 정지해 있다는 설정이 나오면, 우선 그 계를 따라 도는 관찰자 시점에서 중력과 원심력의 비가 $\tan\theta = \frac{a}{g}$로 각도를 결정한다는 점부터 세운다. 이후 구심가속도 공식 $a = \frac{v^2}{r}$을 연결해 미지수(속력, 반지름, 각도 중 구하는 값)를 정리하면 빠르게 풀린다.

암기 포인트

회전계에 매달린 진자의 기울기 공식은 $\tan\theta = \frac{a}{g} = \frac{v^2}{rg}$로 통째로 외워 둔다. 30°의 탄젠트 값이 $\frac{1}{\sqrt{3}}$이라는 것과, 반지름에 $\sqrt{3}$이 포함되어 있으면 이 값이 약분되어 깔끔한 정수 속력이 나오도록 설계된 경우가 많다는 점도 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 15. 반지름이 R인 구의 내부에 양전하가 균일하게 분포해 있다. 구가 고립되어 있을 때, 구의 중심으로부터 거리가 r인 지점에서 전기장의 크기에 대한 설명으로 옳은 것은?

① $r < R$이면 전기장의 크기는 r에 비례한다.

② $r < R$이면 전기장의 크기는 r에 무관한 상수이다.

③ $r > R$이면 전기장의 크기는 r에 비례한다.

④ $r > R$이면 전기장의 크기는 r에 무관한 상수이다.

정답 1번

출제 포인트

균일하게 대전된 구(부도체 구, 전하가 부피 전체에 균일 분포)에서 가우스 법칙을 이용해 구 내부와 외부 각각에서 전기장의 크기가 거리 r에 어떻게 의존하는지 구별할 수 있는지를 묻는다. 구 표면을 경계로 안쪽은 r에 비례, 바깥쪽은 r^2에 반비례한다는 두 영역의 함수 형태를 정확히 구분하는 것이 핵심이다.

조건 정리

반지름 R인 구 내부에 양전하 총량 Q가 균일한 부피전하밀도로 분포한다. 구는 고립되어 있으므로 외부에 다른 전하나 도체가 없다. 구의 중심으로부터 거리 r인 지점에서 전기장의 크기 $E(r)$를 $r < R$인 경우와 $r > R$인 경우로 나누어 구한다.

사용할 공식

구대칭 전하분포에 가우스 법칙을 적용한다. 반지름 r인 구면을 가우스면으로 잡으면 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = E(r) \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q_{enc}}{\varepsilon_0}$ 이고, 여기서 Q_{enc}는 반지름 r인 구면 안쪽에 들어 있는 전하량이다. 전하가 균일하게 분포하므로 $r < R$일 때 $Q_{enc} = Q\left(\frac{r}{R}\right)^3$ 이고, $r > R$일 때는 전하 전체가 안에 포함되므로 $Q_{enc} = Q$ 이다.

계산 과정

먼저 $r < R$인 경우, $Q_{enc} = Qr^3/R^3$을 가우스 법칙에 대입하면 $E(r) \cdot 4\pi r^2 = \frac{Qr^3}{\varepsilon_0 R^3}$ 이므로 $E(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^3} r$ 이 되어 E는 r에 정비례한다(비례상수가 R에만 의존하는 상수).

다음으로 $r > R$인 경우, $Q_{enc} = Q$이므로 $E(r) \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0}$ 에서 $E(r) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{1}{r^2}$ 이 되어 E는 r^2에 반비례한다. 즉 구 바깥에서는 전체 전하 Q가 중심에 모여 있는 점전하처럼 행동하며, r에 비례하지도 않고 상수도 아니다.

NoteBase

선지 판단

① $r < R$이면 전기장의 크기는 r에 비례한다 → O. $E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R^3} r$로 r에 정비례한다.
② $r < R$이면 전기장의 크기는 r에 무관한 상수이다 → X. 도체 구 껍질 내부(속이 빈 도체 구)의 전기장이 0인 경우와 혼동한 것으로, 이 문제는 전하가 구 부피 전체에 균일하게 분포한 경우이므로 내부 전기장은 0도 상수도 아니고 r에 비례해 증가한다.
③ $r > R$이면 전기장의 크기는 r에 비례한다 → X. 외부에서는 $E \propto 1/r^2$로 감소하며, r에 비례해 커지지 않는다.
④ $r > R$이면 전기장의 크기는 r에 무관한 상수이다 → X. 외부 전기장은 점전하가 만드는 전기장과 같은 형태로 거리가 멀어질수록 $1/r^2$에 비례해 감소하므로 상수가 아니다.

오답 포인트

가장 흔한 혼동은 대전된 도체 구(전하가 표면에만 분포)와 균일하게 대전된 부도체 구(전하가 부피 전체에 분포)를 헷갈리는 것이다. 도체 구라면 내부 전기장이 항상 0이지만, 이 문제처럼 전하가 부피 전체에 균일하게 퍼져 있으면 내부에서도 둘러싸인 전하량이 r에 따라 달라지므로 전기장이 r에 비례해 나타난다. 또한 구 바깥에서의 전기장을 상수로 착각하는 경우도 많은데, 바깥에서는 항상 전체 전하 Q가 점전하처럼 작용해 $1/r^2$으로 감소한다는 점을 놓치지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

구대칭 전하분포 문제를 보면 먼저 전하가 표면에만 있는지 부피 전체에 균일하게 퍼져 있는지부터 확인한다. 그다음 가우스면을 구 내부와 외부로 나누어 각각 둘러싸인 전하량 Q_{enc}를 구하고, 가우스 법칙 $E \cdot 4\pi r^2 = Q_{enc}/\varepsilon_0$에 대입해 E가 r의 몇 차식인지를 부호까지 정리한다. 균일 부피전하의 경우 내부는 $E \propto r$, 외부는 $E \propto 1/r^2$라는 결과를 공식 유도 없이도 바로 떠올릴 수 있도록 정리해 둔다.

암기 포인트

균일하게 대전된 구(부피전하): 내부 $E \propto r$, 외부 $E \propto 1/r^2$. 대전된 도체 구(표면전하만): 내부 $E = 0$, 외부 $E \propto 1/r^2$. 두 경우 모두 표면 바깥에서는 전체 전하가 중심에 모인 점전하처럼 행동한다는 점은 공통이다.

NoteBase

문 16. 반지름이 100 km이고 밀도가 균일한 구형의 행성 주위를 위성이 등속 원운동하고 있다. 이 위성의 속력은 $1km/s$이고 행성 중심으로부터 위성까지의 거리는 1,000 km이다. 이 행성의 표면에서 1 kg의 물체가 받는 힘의 크기[N]는? (단, 위성과 물체의 크기는 무시하고 이 행성의 중력만을 고려한다)

① 50

② 100

③ 150

④ 200

정답 2번

출제 포인트

위성의 등속 원운동 조건(만유인력=구심력)을 이용해 행성의 질량(정확히는 GM)을 구하고, 이를 다시 행성 표면에서의 중력 가속도 계산에 적용하는 문제이다. 위성 궤도 정보로부터 얻은 GM을 표면 중력장 계산에 그대로 재사용할 수 있다는 점이 핵심이다.

조건 정리

행성 반지름 $R = 100$ km, 위성의 궤도 반지름(행성 중심으로부터 거리) $r = 1{,}000$ km, 위성의 속력 $v = 1$ km/s이다. 표면의 물체 질량은 1 kg이고 위성과 물체의 크기는 무시하며 행성의 중력만 고려한다.

사용할 공식

등속 원운동하는 위성에서 만유인력이 구심력 역할을 하므로 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$이 성립하고, 여기서 $GM = v^2 r$을 얻는다. 행성 표면에서 질량 m_0인 물체가 받는 중력의 크기는 $F = \frac{GMm_0}{R^2}$이다.

계산 과정

먼저 $GM = v^2 r = 1^2 \times 1{,}000 = 1{,}000$ km^3/s^{2}을 얻는다. 이를 표면에서의 힘 공식에 대입하면 $F = \frac{GM \times 1\text{ kg}}{R^2} = \frac{1{,}000}{100^2} = \frac{1{,}000}{10{,}000} = 0.1$ km/s^{2}의 가속도가 나온다. 단위를 미터로 환산하면 0.1 km/s$^2 = 100$ m/s^{2}이므로, 질량 1 kg의 물체가 받는 힘의 크기는 $F = ma = 1\text{ kg} \times 100\text{ m/s}^2 = 100$ N이다.

NoteBase

선지 판단

① 50: 계산 과정에서 제곱을 빠뜨리거나 거리 비를 잘못 적용했을 때 나오는 값으로, 올바른 계산 결과인 100과 다르다.
② 100: $GM = v^2 r = 1{,}000\ \mathrm{km}^3/\mathrm{s}^2$을 표면 반지름의 제곱으로 나누어 얻은 표면 중력 가속도 $100\ \mathrm{m/s}^2$에 물체의 질량 1 kg을 곱한 값과 일치한다.
③ 150: 단위 환산이나 거리 비를 다르게 적용했을 때 나올 수 있는 오답으로, 올바른 계산과 맞지 않는다.
④ 200: $r/R = 10$이므로 거리 비의 제곱인 100을 그대로 쓰지 않고 다른 값을 곱했을 때 나올 수 있는 오답으로, 올바른 계산과 맞지 않는다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 단위를 통일하지 않고 km와 m을 섞어 계산하는 것이다. GM을 $\mathrm{km}^3/\mathrm{s}^2$ 단위로 구했다면 표면 가속도도 같은 단위계에서 계산한 뒤 마지막에 한 번만 SI 단위로 환산해야 한다. 또한 궤도 반지름 r과 행성 반지름 R을 혼동하여 서로 다른 값을 같은 자리에 대입하지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

위성이나 행성의 궤도 운동 문제에서 질량이나 GM이 직접 주어지지 않으면, 등속 원운동 조건 $GM = v^2 r$을 이용해 먼저 GM을 구하는 것으로 접근한다. 이후 표면에서의 중력이나 중력 가속도를 물으면 구한 GM을 행성 반지름의 제곱으로 나누기만 하면 되므로, 별도로 밀도나 질량을 구할 필요가 없다.

암기 포인트

등속 원운동 위성: $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow GM = v^2 r$. 표면 중력 가속도: $g = \frac{GM}{R^2}$, 물체가 받는 힘은 $F = mg$이다. 궤도 반지름과 행성(표면) 반지름을 헷갈리지 않는다.

NoteBase

문 17. 정지해 있던 전자에 일정한 전압을 가하여 가속시킨 후 드브로이 파장을 측정하였다. 1kV로 가속시킨 전자의 파장을 λ_1, 4kV로 가속시킨 전자의 파장을 λ_4라고 할 때, $\frac{\lambda_1}{\lambda_4}$은? (단, 상대론적 효과는 무시한다)

① 0.25

② 0.5

③ 2

④ 4

정답 3번

출제 포인트

정지 상태의 전자를 전압으로 가속시켰을 때 얻는 운동 에너지와 드브로이 파장의 관계를 묻는다. 가속 전압이 클수록 전자의 운동량이 커지고 파장은 짧아진다는 반비례 관계를 정확한 거듭제곱 관계식으로 계산할 수 있는지를 확인한다.

조건 정리

전자는 정지 상태에서 출발하여 전압 V로 가속된다. 상대론적 효과는 무시하므로 전자의 운동 에너지는 $E = eV$로 둘 수 있다. $V_1 = 1\text{kV}$일 때 파장은 λ_1, $V_4 = 4\text{kV}$일 때 파장은 λ_4이며, $\frac{\lambda_1}{\lambda_4}$를 구한다.

사용할 공식

드브로이 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$이고, 비상대론적으로 가속된 전자의 운동량은 운동 에너지로부터 $E = \frac{p^2}{2m} \Rightarrow p = \sqrt{2mE} = \sqrt{2meV}$로 구해진다. 따라서 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$이며, 같은 전자에 대해 h, m, e가 공통이므로 $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{V}}$의 관계가 성립한다.

계산 과정

$\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{V}}$이므로 $\frac{\lambda_1}{\lambda_4} = \frac{1/\sqrt{V_1}}{1/\sqrt{V_4}} = \sqrt{\frac{V_4}{V_1}} = \sqrt{\frac{4\text{kV}}{1\text{kV}}} = \sqrt{4} = 2$이다. 즉 가속 전압이 4배가 되면 운동량은 $\sqrt{4} = 2$배가 되고, 파장은 그 역수인 1/2배가 되므로 λ_1은 λ_4의 2배가 된다.

선지 판단

① 0.25 — X, $\lambda_1/\lambda_4 = (1/4)^{-1/2}$를 잘못 뒤집어 제곱까지 한 값으로 실제 비와 다르다.
② 0.5 — X, λ_4/λ_1에 해당하는 값이며 λ_1/λ_4와 역수 관계에 있어 문제에서 묻는 비가 아니다.
③ 2 — O, $\lambda_1/\lambda_4 = \sqrt{V_4/V_1} = \sqrt{4} = 2$로 계산 결과와 정확히 일치한다.
④ 4 — X, 전압비 $V_4/V_1 = 4$ 자체를 파장비로 착각한 값이며, 파장은 전압의 제곱근에 반비례하므로 전압비를 그대로 쓰면 안 된다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 파장과 전압의 관계를 $\lambda \propto V$ 또는 $\lambda \propto 1/V$로 잘못 놓는 것이다. 실제로는 운동 에너지 $E = eV$가 운동량의 제곱에 비례하므로($p = \sqrt{2mE}$), 파장은 전압의 제곱근에 반비례한다($\lambda \propto V^{-1/2}$). 이 제곱근 관계를 빠뜨리면 ②나 ④ 같은 오답을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

가속 전압과 드브로이 파장 비를 묻는 문제는 항상 $E = eV = \frac{p^2}{2m}$에서 $p \propto \sqrt{V}$를 먼저 세우고, $\lambda = h/p$이므로 $\lambda \propto 1/\sqrt{V}$로 정리한 뒤 주어진 전압비의 제곱근을 취해 답을 구한다. 상대론적 효과를 무시한다는 단서가 있으면 반드시 이 비상대론적 관계식을 사용한다.

암기 포인트

드브로이 파장 $\lambda = h/p$, 비상대론적 가속 전자의 운동량 $p = \sqrt{2meV}$, 그리고 이로부터 나오는 $\lambda \propto 1/\sqrt{V}$ 관계를 한 세트로 기억해 둔다.

NoteBase

문 18. 단열된 용기가 내부의 칸막이에 의해 두 부분으로 나뉘어 있다. 한 부분에는 이상기체 X가 1몰, 다른 부분에는 이상기체 Y가 3몰 들어 있다. 두 기체는 온도가 같고 압력도 동일하다. 용기 내부의 칸막이를 치워 두 기체가 섞이도록 한 후 평형 상태가 되었을 때, 이 계의 엔트로피 증가량은? (단, 기체 상수는 R이고, 기체 X와 Y는 서로 다른 종류로서 화학 반응을 하지 않으며, 용기의 모양은 변하지 않고 칸막이의 부피는 무시한다)

① $2R\ln 2$

② $8R\ln 2 - 3R\ln 3$

③ $2R\ln 2 + R\ln 3$

④ $8R\ln 2 + 5R\ln 3$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 서로 다른 두 이상기체가 같은 온도·같은 압력 상태에서 칸막이를 사이에 두고 있다가, 칸막이를 제거하고 자유롭게 섞여 평형에 도달할 때의 혼합 엔트로피(entropy of mixing)를 구하는 문제이다. 핵심은 각 기체가 자신이 처음 차지하던 부피에서 전체 부피로 등온 자유 팽창(free expansion)한 것과 동일하게 취급하여 엔트로피 변화를 계산하는 것이다.

조건 정리

용기는 단열되어 있고 부피가 일정하며 외부와 열·일 교환이 없다(고립계, 자유 팽창). 기체 X는 1몰, 기체 Y는 3몰이며 두 기체는 섞이기 전 온도와 압력이 서로 같다. 이상기체의 내부 에너지는 온도만의 함수이므로, 자유 팽창 과정에서 일도 하지 않고 열도 주고받지 않으면 내부 에너지가 변하지 않아 온도는 섞이기 전과 같은 값으로 유지된다. 섞이기 전 온도(T)와 압력(P)이 X, Y 모두 같으므로, 이상기체 법칙 $PV = nRT$에 의해 각 기체가 처음 차지하던 부피는 몰수에 비례한다. 전체 몰수는 $1 + 3 = 4$몰이므로, X의 처음 부피는 전체 부피의 1/4, Y의 처음 부피는 전체 부피의 3/4이다. 칸막이를 제거하면 X와 Y는 각각 전체 부피 전체로 퍼지게 되므로, X는 부피가 4배로, Y는 부피가 4/3배로 팽창한 것과 같다.

사용할 공식

온도가 일정한 이상기체가 부피 V_i에서 V_f로 등온 팽창할 때 엔트로피 변화는 $\Delta S = nR\ln\frac{V_f}{V_i}$이다. 자유 팽창은 비가역 과정이지만 엔트로피는 상태함수이므로, 처음과 끝 상태(같은 온도, 부피만 다름)를 잇는 가역 등온 팽창 경로를 가정하여 위 식으로 계산할 수 있다. 계 전체의 엔트로피 증가량은 두 기체 각각의 엔트로피 변화의 합이다: $\Delta S_{total} = \Delta S_X + \Delta S_Y$.

NoteBase

계산 과정

기체 X: 처음 부피가 전체 부피의 1/4이었다가 전체 부피로 팽창하므로 부피비는 4배이다.
$\Delta S_X = n_X R \ln 4 = 1 \cdot R \ln 4 = R \ln(2^2) = 2R \ln 2$
기체 Y: 처음 부피가 전체 부피의 3/4이었다가 전체 부피로 팽창하므로 부피비는 4/3배이다.
$\Delta S_Y = n_Y R \ln \frac{4}{3} = 3R(\ln 4 - \ln 3) = 3R(2\ln 2 - \ln 3) = 6R \ln 2 - 3R \ln 3$
계 전체: $\Delta S_{total} = \Delta S_X + \Delta S_Y = 2R \ln 2 + (6R \ln 2 - 3R \ln 3) = 8R \ln 2 - 3R \ln 3$

선지 판단

① 2R ln2: X 기체 하나의 엔트로피 변화만 계산한 값이다. Y 기체의 팽창에 따른 엔트로피 증가분이 빠져 있으므로 옳지 않다.
② 8R ln2-3R ln3: 앞선 계산 과정에서 얻은 $\Delta S_X + \Delta S_Y = 2R \ln 2 + 6R \ln 2 - 3R \ln 3 = 8R \ln 2 - 3R \ln 3$과 정확히 일치한다. 옳다.
③ 2R ln2+R ln3: Y의 부피 팽창비를 4/3이 아니라 다른 값으로 잘못 대입하거나 부호를 잘못 처리했을 때 나오는 값으로, 옳지 않다.
④ 8R ln2+5R ln3: Y의 엔트로피 변화 항 $-3R \ln 3$을 부호를 반대로 계산하고 계수도 다르게 처리한 값으로, 옳지 않다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, X와 Y 중 한 기체의 엔트로피 변화만 계산하고 나머지를 더하지 않는 실수(①)이다. 혼합 과정에서는 두 기체가 각각 독립적으로 전체 부피로 퍼지므로 반드시 두 항을 모두 구해 더해야 한다. 둘째, 각 기체의 부피 팽창비를 몰분율의 역수로 정확히 세우지 않아 로그 안의 값이나 부호를 틀리는 실수(③, ④)이다. 압력과 온도가 같다는 조건에서 부피가 몰수에 비례한다는 사실을 먼저 확정해야 팽창비를 올바르게 세울 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

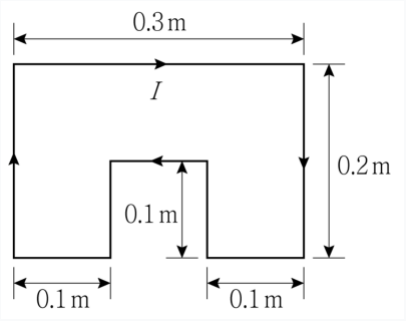
같은 온도·같은 압력의 서로 다른 두 이상기체를 섞는 문제가 나오면, 우선 전체 몰수 대비 각 기체의 몰분율을 구해 각 기체가 처음 부피에서 전체 부피로 몇 배 팽창하는지(몰분율의 역수)를 확인한다. 그다음 각 기체에 대해 $\Delta S_i = n_i R \ln(1/x_i)$ 형태로 엔트로피 변화를 구하고 모두 더하면 계 전체의 엔트로피 증가량이 된다. 온도가 자유 팽창 전후로 변하지 않는다는 점(이상기체이고 열·일 교환이 없으므로)도 함께 확인해 둔다.

암기 포인트

서로 다른 이상기체의 혼합 엔트로피 공식은 $\Delta S = -R \sum_i n_i \ln x_i$이며, 여기서 x_i는 각 기체의 몰분율이다. 같은 온도·압력에서는 몰분율이 곧 부피비와 같다는 점, 그리고 같은 종류의 기체를 같은 온도·압력에서 섞으면 몰분율 개념 자체가 무의미해져 엔트로피 증가가 없다는 깁스 역설(Gibbs paradox)도 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 평면에 놓인 회로에 2 A의 전류 I가 화살표를 따라 시계 방향으로 흐를 때, 발생하는 자기 쌍극자모멘트의 크기[Am^2]와 방향은?



① 크기: 0.1, 방향: 지면에서 나오는 방향

② 크기: 0.1, 방향: 지면으로 들어가는 방향

③ 크기: 2.4, 방향: 지면에서 나오는 방향

④ 크기: 2.4, 방향: 지면으로 들어가는 방향

정답 2번

출제 포인트

회로가 단순한 사각형이 아니라 일부가 파여 있는 도형일 때, 자기 쌍극자모멘트를 구하려면 전체 테두리가 감싸는 순수 면적(전체 면적에서 파인 부분의 면적을 뺀 값)을 먼저 구해야 한다. 그 다음 전류의 회전 방향(시계 방향/반시계 방향)에 오른손 법칙을 적용해 모멘트의 방향을 정한다.

조건 정리

전류의 크기는 $I = 2$ A이다. 바깥 테두리는 가로 0.3 m, 세로 0.2 m인 직사각형이고, 아랫변 중앙에는 가로 0.1 m, 세로 0.1 m인 사각형 홈이 안쪽으로 파여 있다. 전류는 그림에 표시된 화살표를 따라 시계 방향으로 흐른다.

사용할 공식

평면 전류 고리의 자기 쌍극자모멘트 크기는 $m = IA$이며, 방향은 전류가 흐르는 방향으로 오른손의 네 손가락을 감아쥘 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 여기서 A는 전류 고리가 실제로 둘러싸는 순수 면적이다.

NoteBase

계산 과정

바깥 직사각형의 면적은 $0.3\ \text{m} \times 0.2\ \text{m} = 0.06\ \text{m}^2$이다. 아랫변 중앙에 파인 홈은 가로 $0.1\ \text{m}$, 세로 $0.1\ \text{m}$이므로 그 면적은 $0.1\ \text{m} \times 0.1\ \text{m} = 0.01\ \text{m}^2$이다. 전류 경로를 따라가 보면 이 홈 부분은 바깥 테두리 안쪽으로 파고들어가 되짚어 나오는 구간이므로, 실제로 전류가 둘러싸는 면적은 바깥 면적에서 홈의 면적을 뺀 값이 된다. 따라서 순수 면적은 $A = 0.06\ \text{m}^2 - 0.01\ \text{m}^2 = 0.05\ \text{m}^2$이다. 이 값으로 자기 쌍극자모멘트의 크기를 구하면 $m = IA = 2\ \text{A} \times 0.05\ \text{m}^2 = 0.1\ \text{Am}^2$이다. 방향은 전류가 시계 방향(위에서 내려다볼 때 오른쪽으로 갔다가 아래로, 왼쪽으로, 다시 위로 도는 방향)으로 흐르므로, 오른손 네 손가락을 이 회전 방향으로 감아쥐면 엄지손가락은 종이면(지면) 아래쪽, 즉 지면으로 들어가는 방향을 가리킨다.

선지 판단

① 크기 0.1, 지면에서 나오는 방향 → 크기는 맞지만 방향이 반대이다. 시계 방향 전류에서는 모멘트가 지면으로 들어가는 방향이지 나오는 방향이 아니다.
② 크기 0.1, 지면으로 들어가는 방향 → 옳다. $m = IA = 2 \times 0.05 = 0.1\ \text{Am}^2$이고, 시계 방향 전류이므로 오른손 법칙에 의해 방향은 지면으로 들어가는 방향이다.
③ 크기 2.4, 지면에서 나오는 방향 → 크기가 틀렸다. 홈 부분을 빼지 않고 바깥 면적만 쓰거나 다른 값을 곱한 경우에 나올 수 있는 값으로, 순수 면적 $0.05\ \text{m}^2$를 쓰면 나올 수 없는 크기이며 방향도 반대이다.
④ 크기 2.4, 지면으로 들어가는 방향 → 방향은 맞지만 크기가 틀렸다. 올바른 크기는 0.1이다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 홈이 파인 부분의 면적을 빼지 않고 바깥 직사각형 면적 $0.06\ \text{m}^2$를 그대로 쓰는 것이다. 둘째, 전류의 회전 방향을 반시계 방향으로 착각해서 방향을 반대로 답하는 것이다. 그림에서 화살표를 끝까지 따라가 보면 위쪽 변에서 오른쪽으로, 오른쪽 변에서 아래로, 홈을 돌아 다시 왼쪽 변에서 위로 올라가는 흐름이 전체적으로 시계 방향을 이루므로, 방향을 판단할 때는 반드시 전체 경로를 끝까지 추적해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

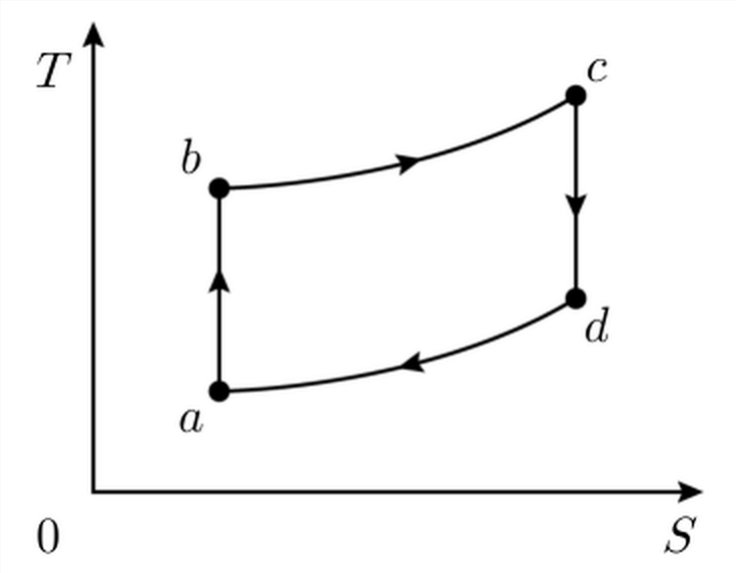
회로 모양이 단순한 사각형이 아니라 일부가 파이거나 겹쳐진 형태로 나오면, 가장 먼저 전체 테두리 면적에서 파인(또는 반대 방향으로 도는) 부분의 면적을 빼서 순수 면적을 구한다. 그 다음 전류가 실제로 도는 방향을 화살표를 따라 끝까지 추적하여 시계 방향인지 반시계 방향인지 확정한 후, 오른손 법칙으로 모멘트의 방향(지면에서 나오는지 들어가는지)을 정한다.

암기 포인트

자기 쌍극자모멘트 크기는 $m = IA$(면적은 순수 둘러싸는 면적), 방향은 전류 방향으로 오른손을 감아쥘 때 엄지가 가리키는 방향이다. 시계 방향 전류(위에서 내려다볼 때)는 모멘트가 지면으로 들어가는 방향, 반시계 방향 전류는 지면에서 나오는 방향이다.

NoteBase

문 20. 그림은 어느 열기관의 순환 과정을 온도-엔트로피(T-S) 도표에서 나타낸 것이다. a → b, c → d 과정에서 기체의 엔트로피가 일정하고, b → c, d → a 과정에서 기체의 부피가 일정하다. 이 열기관의 순환 과정에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 열기관의 기체는 이상기체이다)



① a → b 과정에서 기체의 부피가 증가한다.

② b → c 과정에서 기체의 내부 에너지가 감소한다.

③ c → d 과정에서 열에너지를 외부로 방출한다.

④ d → a 과정에서 기체의 압력이 감소한다.

정답 4번

출제 포인트

T-S(온도-엔트로피) 도표에서 엔트로피가 일정한 구간(a→b, c→d)은 가역 단열(등엔트로피) 과정이고, 부피가 일정한 구간(b→c, d→a)은 등적 과정임을 파악한 뒤, 이상기체 상태방정식과 열역학 제1법칙을 각 과정에 적용해 부피·내부 에너지·열 출입·압력의 증감을 판단하는 문제이다. 그래프상 위치는 a(가장 낮은 T)-b(a보다 높은 T, 같은 S)-c(가장 높은 T와 S)-d(c보다 낮은 T, c와 같은 S)이다.

조건 정리

a→b: 엔트로피 일정(등엔트로피, 단열 가역), T가 증가한다. b→c: 부피 일정(등적), T와 엔트로피가 함께 증가한다. c→d: 엔트로피 일정(등엔트로피, 단열 가역), T가 감소한다. d→a: 부피 일정(등적), T와 엔트로피가 함께 감소한다. 기체는 이상기체이므로 내부 에너지는 온도만의 함수이고, 등적 과정에서는 $P = \frac{nRT}{V}$로 압력이 온도에 비례한다.

NoteBase

사용할 공식

이상기체 상태방정식 $PV = nRT$, 내부 에너지 변화 $\Delta U = nC_V\Delta T$, 등엔트로피(가역 단열) 과정의 열 출입 $Q = 0$, 등적 과정의 압력-온도 관계 $P = \frac{nRT}{V}$(V 일정 시 P는 T에 비례).

계산 과정

a→b는 엔트로피가 일정한 가역 단열 압축·팽창 과정이다. 단열 과정에서 온도가 상승(a에서 b로 T 증가)하는 경우는 기체가 압축되어 부피가 감소하는 경우에 해당한다(단열 관계식 TV^γ-1=일정에서 T가 커지려면 V는 작아져야 한다). 따라서 a→b에서 부피는 증가가 아니라 감소한다.
b→c는 부피가 일정한 등적 과정이며 T가 상승한다. 이상기체의 내부 에너지는 온도만의 함수이므로 $\Delta U = nC_V\Delta T > 0$, 즉 내부 에너지는 감소가 아니라 증가한다.
c→d는 엔트로피가 일정한 가역 단열 과정이므로 정의상 열 출입이 없다($Q = 0$). 따라서 외부로 열에너지를 방출한다는 설명은 성립하지 않는다.
d→a는 부피가 일정한 등적 과정이며 그래프에서 d보다 a의 온도가 더 낮다(T 감소). 부피가 일정하므로 $P = \frac{nRT}{V}$에서 압력은 온도에 정비례하고, 온도가 감소하므로 압력도 감소한다.

선지 판단

① a→b 과정에서 기체의 부피가 증가한다. → X, 등엔트로피 과정에서 온도가 상승하는 것은 압축을 의미하므로 부피는 오히려 감소한다.
② b→c 과정에서 기체의 내부 에너지가 감소한다. → X, 등적 과정에서 온도가 상승하므로 내부 에너지는 증가한다.
③ c→d 과정에서 열에너지를 외부로 방출한다. → X, 등엔트로피(가역 단열) 과정은 열 출입이 없는 과정이므로 열을 방출하지도 흡수하지도 않는다.
④ d→a 과정에서 기체의 압력이 감소한다. → O, 등적 과정에서 온도가 감소하므로 $P = \frac{nRT}{V}$에 의해 압력도 함께 감소한다.

오답 포인트

T-S 도표에서 수직선(엔트로피 일정)을 곧바로 등온 과정으로 착각하거나, 온도가 오른다고 무조건 부피도 증가한다고 넘겨짚는 오류를 조심해야 한다. 등엔트로피 과정에서는 온도와 부피가 반대 방향으로 움직이며(온도 상승은 압축), 등적 과정에서는 열 출입과 온도·압력 변화를 함께 따져야 한다. 엔트로피가 일정한 과정을 열 방출·흡수가 있는 과정으로 오인하지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

T-S 도표 문제는 먼저 각 구간이 등엔트로피(수직선, 단열 가역, Q=0)인지 등적(그 외 곡선, PV=nRT 적용)인지부터 구분한다. 그다음 그래프에서 온도가 오르내리는 방향을 읽어, 등엔트로피 구간은 부피 증감(온도 상승=압축=부피 감소)을, 등적 구간은 내부 에너지·압력의 증감(온도에 비례)을 판단하면 빠르게 풀 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

등엔트로피(단열 가역) 과정: Q=0, 열 출입 없음, 온도 상승은 압축(부피 감소)을 의미. 등적 과정: 부피 일정, 압력은 온도에 비례($P \propto T$), 내부 에너지는 온도 변화 방향과 같이 움직인다(온도 상승→내부 에너지 증가).

NoteBase