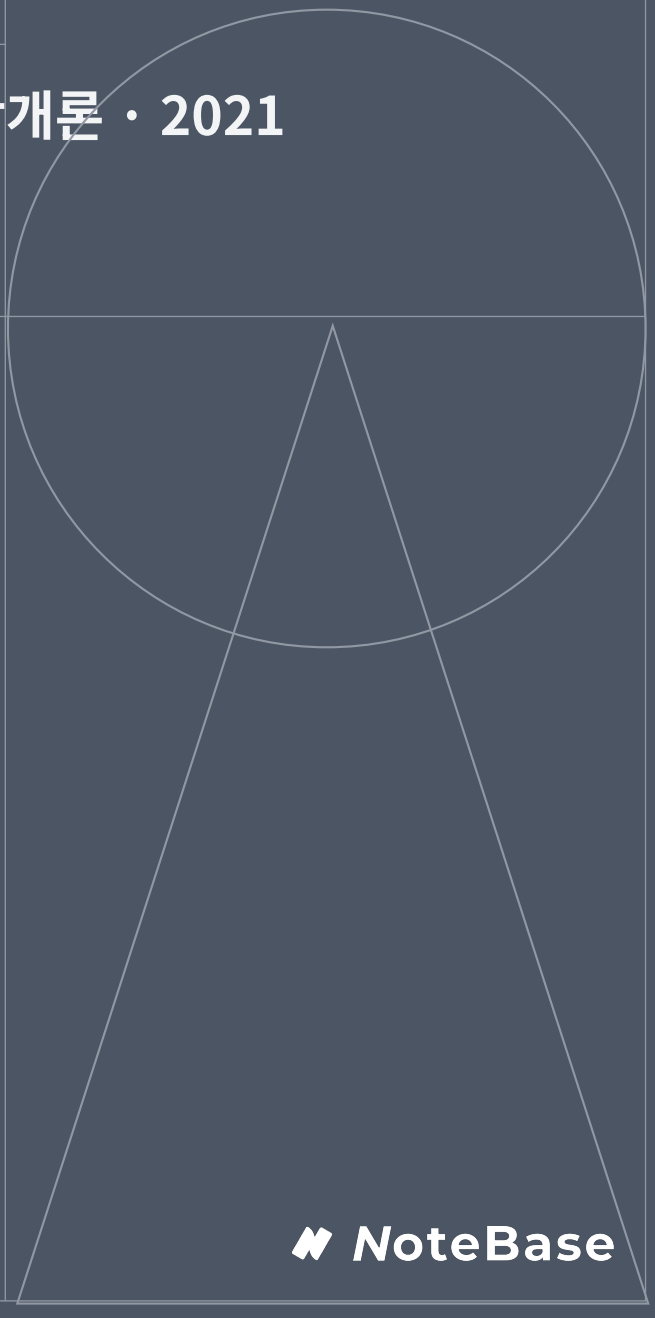
기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 물리학개론 · 2021



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 물리학개론 · 2021

공무원/지방직/7급 · 물리학개론 · 2021

문 1. 부피, 압력, 온도가 각각 10 L, 10 atm, 15 °C인 이상기체에서, 부피와 압력이 각각 5 L, 15 atm이 되었을 때의 온도[°C]는? (단, 이 이상기체의 몰 수는 일정하다)

① -17

② -37

③ -57

④ -77

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 몰수가 일정한 이상기체에 대해 결합기체법칙을 적용하여 최종 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 상태는 부피 $10L$, 압력 $10atm$, 온도 $15^\circ C$이다. 최종 상태는 부피 $5L$, 압력 $15atm$이다. 기체 법칙의 온도에는 섭씨온도가 아니라 절대온도 K를 사용한다. 따라서 초기 온도는 $15 + 273 = 288K$이다.

사용할 공식

몰수 n이 일정하면 (PV)/(T)=일정이므로 $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$이다. 압력과 부피가 모두 변하고 몰수는 일정하므로 이 식을 사용한다.

계산 과정

$\frac{10atm \cdot 10L}{288K} = \frac{15atm \cdot 5L}{T_2}$이다.
따라서 $T_2 = 288 \times \frac{15 \times 5}{10 \times 10} = 216K$이다.
이를 섭씨온도로 바꾸면 $216 - 273 = -57^\circ C$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: $-17\,^\circ C$는 계산 결과와 다르다. 틀린 표현인 $-17\,^\circ C \rightarrow$ 올바르게는 $-57\,^\circ C$이다.
② X: $-37\,^\circ C$는 계산 결과와 다르다. 틀린 표현인 $-37\,^\circ C \rightarrow$ 올바르게는 $-57\,^\circ C$이다.
③ O: 최종 온도는 $216K = -57\,^\circ C$이므로 옳다.
④ X: $-77\,^\circ C$는 계산 결과와 다르다. 틀린 표현인 $-77\,^\circ C \rightarrow$ 올바르게는 $-57\,^\circ C$이다.

오답 포인트

온도 비례식에 섭씨온도 $15\,^\circ C$를 그대로 넣으면 안 된다. P, V, T가 함께 변할 때는 반드시 K로 바꾼 뒤 계산하고, 마지막에만 섭씨온도로 환산한다.

다시 나오면 이렇게 판단

몰수가 일정한 기체는 먼저 온도를 K로 환산하고 $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$에 대입한다. 구한 최종 온도가 K이면 문제에서 요구한 단위로 다시 변환하여 선지와 비교한다.

암기 포인트

기체 법칙의 온도는 섭씨가 아니라 절대온도이다: $T(K) = t(\,^\circ C) + 273$이다.

NoteBase

문 2. 3차원 용기에 들어있는 이상기체의 온도가 T일 때 분자당 평균 병진 운동 에너지는? (단, 볼츠만 상수는 k_B이다)

① k_BT
② $\frac{3}{2}k_BT$
③ $\frac{5}{2}k_BT$
④ $\frac{7}{2}k_BT$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 3차원 이상기체 분자 1개의 평균 병진 운동 에너지를 에너지 등분배 정리로 구하는 문제이다.

조건 정리

구해야 할 값은 온도 T인 3차원 이상기체 분자 1개의 평균 병진 운동 에너지이다. 병진운동은 x, y, z 방향의 세 독립 성분으로 이루어진다.

사용할 공식

에너지 등분배 정리에 따라 이차항으로 나타나는 자유도 하나당 평균 에너지는 $\frac{1}{2}k_BT$이다. 병진운동의 자유도는 3개이므로 $\overline{E}_{\text{trans}} = 3 \times \frac{1}{2}k_BT = \frac{3}{2}k_BT$이다. 이상기체 분자의 병진 운동 에너지가 v_x^2, v_y^2, v_z^2의 세 이차항으로 이루어지므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 3차원 공간에서 병진운동 자유도는 x, y, z 방향의 3개이다.
2. 각 자유도는 평균 $\frac{1}{2}k_BT$의 에너지를 가진다.
3. 따라서 평균 병진 운동 에너지는 $3 \times \frac{1}{2}k_BT = \frac{3}{2}k_BT$이다.

선지 판단

① X. k_BT는 자유도 2개를 합한 값에 해당한다. 틀린 표현 k_BT → 올바르게는 $\frac{3}{2}k_BT$이다.
② O. 3개의 병진 자유도에 각각 $\frac{1}{2}k_BT$가 배분되므로 $\frac{3}{2}k_BT$이다.
③ X. $\frac{5}{2}k_BT$는 병진 3자유도에 더해 회전 자유도 2개까지 포함한 경우에 나타나는 값이다. 틀린 표현 $\frac{5}{2}k_BT$ → 병진운동만이면 $\frac{3}{2}k_BT$이다.
④ X. $\frac{7}{2}k_BT$는 병진운동만의 에너지가 아니다. 틀린 표현 $\frac{7}{2}k_BT$ → 3차원 병진운동의 평균 에너지는 $\frac{3}{2}k_BT$이다.

NoteBase

오답 포인트

③과 ④처럼 병진운동 외의 회전·진동 자유도까지 섞어 세면 안 된다. 문제는 분자의 전체 내부에너지가 아니라 평균 병진 운동 에너지만을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

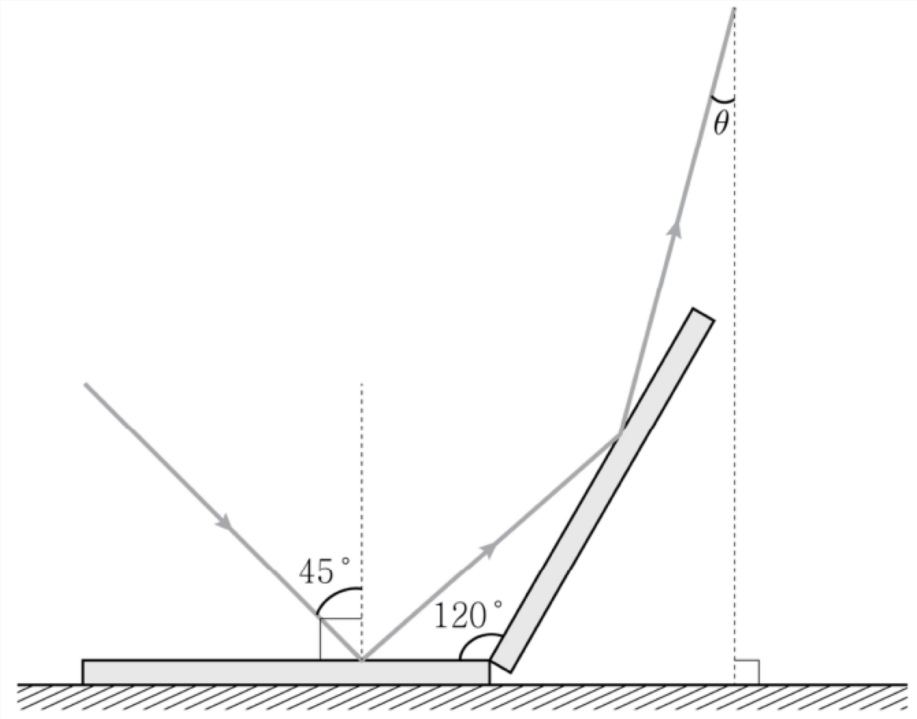
평균 에너지를 물으면 먼저 묻는 운동의 자유도 수를 세고, 자유도 하나당 $\frac{1}{2}k_{B}T$를 곱해 판단한다. 3차원 병진운동의 자유도 수는 항상 3개이다.

암기 포인트

병진 3자유도: $3 \times \frac{1}{2}k_{B}T = \frac{3}{2}k_{B}T$이다.

NoteBase

문 3. 지면에 평행한 한 거울과 또 하나의 거울이 서로 $120\,^{\circ}$의 각을 이루고 있다. 지면에 평행한 거울의 법선에 대하여 $45\,^{\circ}$의 각으로 광선이 입사할 때 첫 번째 거울에 반사된 후, 두 번째 거울에 반사된 빛이 지면의 법선과 이루는 각도 θ는?



① $10\,^{\circ}$

② $15\,^{\circ}$

③ $20\,^{\circ}$

④ $25\,^{\circ}$

정답 2번

출제 포인트

평면거울에서 입사각과 반사각이 같다는 법칙을 이용하여, 두 번째 반사 뒤 광선과 지면의 법선이 이루는 각을 구하는 문제이다.

조건 정리

첫 번째 거울은 지면과 평행하므로 거울면의 방향은 수평이다. 입사광선은 첫 번째 거울의 법선과 45°를 이루므로, 첫 번째 반사 뒤 광선은 지면과 45°를 이루며 오른쪽 위로 진행한다. 두 거울면이 이루는 각은 120°이므로 두 번째 거울면은 수평선과 60°를 이룬다.

NoteBase

사용할 원리

거울면의 방향을 기준으로 광선의 방향은 대칭이 된다. 거울면이 수평선과 이루는 각을 α, 입사광선의 진행 방향을 수평선 기준 ϕ_{in}이라 하면 반사광의 방향은 다음과 같다.

$\phi_{\text{out}} = 2\alpha - \phi_{\text{in}}$

이 원리는 입사각과 반사각이 거울의 법선에 대해 같다는 사실을 방향각으로 나타낸 것이다.

계산 과정

1. 첫 번째 거울에서 반사된 광선의 방향은 수평선 기준 45°이다.
2. 두 번째 거울면의 방향은 수평선 기준 60°이다.
3. 두 번째 거울에서 반사된 광선의 방향은 $2 \times 60° - 45° = 75°$이다.
4. 지면의 법선은 수직 방향이므로, 구하는 각은 $\theta = 90° - 75° = 15°$이다.

선지 판단

① X. 최종 반사광과 지면 법선의 각은 10°가 아니다. 틀린 표현 '10°' → 올바르게는 '15°'이다. 10°는 두 번째 거울면의 방향 60°와 첫 반사광 45°의 차만을 잘못 이용한 값이다.

② O. 최종 반사광은 수평선과 75°를 이루므로 지면 법선과는 15°를 이룬다.

③ X. 최종 반사광과 지면 법선의 각은 20°가 아니다. 틀린 표현 '20°' → 올바르게는 '15°'이다. 두 번째 거울의 60°와 첫 반사광의 45°를 거울면에 대해 대칭시키는 과정을 빠뜨린 값이다.

④ X. 최종 반사광과 지면 법선의 각은 25°가 아니다. 틀린 표현 '25°' → 올바르게는 '15°'이다. 첫 반사광의 45°를 수직선 기준 각으로 바꾸는 과정에서 두 번째 거울의 방향을 잘못 반영한 값이다.

오답 포인트

그림의 120°는 두 거울 사이의 둔각이다. 따라서 두 번째 거울면이 수평선과 이루는 예각은 60°이다. 또한 반사 법칙은 거울면 자체가 아니라 그 법선에 대해 입사각과 반사각이 같다는 뜻이므로, 방향을 거울면에 대해 대칭시켜야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 거울면의 수평선 기준 방향을 먼저 정한 뒤, 반사할 때마다 광선의 진행 방향을 그 거울면에 대해 대칭시킨다. 마지막에는 광선의 수평선 기준 각을 수직선 기준 각으로 바꾸어 구한다.

암기 포인트

거울면 방향이 α이면 반사 후 방향은 '거울면 각의 두 배에서 입사 방향을 뺀 값'인 $2\alpha - \phi_{\text{in}}$이다.

NoteBase

문 4. 백색광이 프리즘을 통과할 때 여러 색깔의 가시광선으로 분리되는 현상은?

① 분산
② 반사
③ 회절
④ 간섭

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 프리즘에서 백색광이 색깔별로 갈라지는 분산과 다른 빛의 현상을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

분산은 물질 속에서 빛의 파장마다 굴절률이 달라 굴절각도 달라져, 백색광이 여러 색의 빛으로 나뉘는 현상이다. 반사는 빛이 경계면에서 되돌아오는 현상이고, 회절은 빛이 좁은 틈이나 물체의 가장자리에서 퍼져 나가는 현상이며, 간섭은 두 빛이 겹쳐 세기가 강해지거나 약해지는 현상이다.

선지별 해설

① O: 프리즘에서는 색깔마다 굴절률과 굴절각이 달라져 백색광이 여러 색의 가시광선으로 분리된다. 이는 분산이다.
② X: 틀린 표현은 '반사'이다. 반사는 빛이 경계면에서 되돌아오는 현상이며, 프리즘에서 색깔별로 갈라지는 현상은 분산이다.
③ X: 틀린 표현은 '회절'이다. 회절은 빛이 좁은 틈이나 물체의 가장자리를 지날 때 퍼지는 현상이며, 프리즘에 의한 색 분리는 분산이다.
④ X: 틀린 표현은 '간섭'이다. 간섭은 둘 이상의 빛이 중첩되어 밝고 어두운 무늬를 만드는 현상이며, 백색광의 색깔별 분리는 분산이다.

오답 포인트

②의 반사, ③의 회절, ④의 간섭은 모두 빛의 현상이지만, '프리즘'과 '여러 색깔의 가시광선으로 분리'라는 표현은 파장에 따른 굴절 차이인 분산을 가리킨다.

다시 나오면 이렇게 판단

백색광이 프리즘을 통과한 뒤 무지개색으로 갈라지면 먼저 파장별 굴절률 차이를 떠올려 분산으로 판단한다. 빛이 되돌아오면 반사, 틈이나 모서리에서 퍼지면 회절, 빛이 겹쳐 밝고 어두운 무늬가 생기면 간섭으로 구별한다.

NoteBase

암기 포인트

프리즘의 무지개색 분리 = 파장별 굴절 차이 = 분산이다.

NoteBase

문 5. xy 평면에 놓여 있는 질량이 m인 세 개 입자의 위치벡터는 $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3$이다. 이 입자계에 질량이 $2m$인 입자를 추가하여 네 개의 입자들로 이루어진 입자계의 질량중심이 원점에 놓이도록 하려면, 추가될 입자의 위치벡터는?

$\vec{r}_1 = -5a\hat{x} + 3a\hat{y}, \quad \vec{r}_2 = a\hat{x} + a\hat{y}, \quad \vec{r}_3 = 5a\hat{x} - 6a\hat{y}$

① $a\hat{x} - 2a\hat{y}$

② $-\frac{a}{2}\hat{x} + a\hat{y}$

③ $-\frac{a}{2}\hat{x} - a\hat{y}$

④ $-a\hat{x} + 2a\hat{y}$

정답 2번

출제 포인트

질량중심이 원점에 있으려면 모든 입자의 질량가중 위치벡터 합이 0이어야 한다는 조건을 적용하는 문제이다.

조건 정리

기존 세 입자의 질량은 모두 m이고, 추가 입자의 질량은 $2m$이다.
기존 위치벡터의 합은 $\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 = (-5+1+5)a\hat{x} + (3+1-6)a\hat{y} = a\hat{x} - 2a\hat{y}$이다.
질량중심이 원점이면 $m(\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3) + 2m\vec{r}_4 = 0$이다.

사용할 공식

질량중심 위치벡터는 $\vec{R}_{cm} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i}$이다. 질량중심이 원점이면 분자인 $\sum m_i \vec{r}_i$가 0이므로, 각 입자의 질량과 위치벡터를 곱한 합을 0으로 둔다.

계산 과정

1. 기존 세 입자의 질량가중 위치합은 $m(a\hat{x} - 2a\hat{y})$이다.
2. 따라서 $m(a\hat{x} - 2a\hat{y}) + 2m\vec{r}_4 = 0$이다.
3. $2m\vec{r}_4 = -m(a\hat{x} - 2a\hat{y})$이므로 $\vec{r}_4 = -\frac{a}{2}\hat{x} + a\hat{y}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: $a\hat{x} - 2a\hat{y}$는 기존 세 위치벡터의 단순합이다. 추가 입자는 질량이 $2m$이므로 이 벡터의 반대방향 크기 절반이어야 한다. 틀린 표현 $a\hat{x} - 2a\hat{y} \rightarrow$ 올바르게는 $-\frac{a}{2}\hat{x} + a\hat{y}$이다.
② O: $-\frac{a}{2}\hat{x} + a\hat{y}$에 질량 $2m$을 곱하면 $-ma\hat{x} + 2ma\hat{y}$가 되어 기존 합 $ma\hat{x} - 2ma\hat{y}$를 정확히 상쇄한다.
③ X: $-\frac{a}{2}\hat{x} - a\hat{y}$는 y성분의 부호가 틀리다. 기존 합의 y성분이 $-2ma$이므로 추가 입자의 질량가중 y성분은 $+2ma$이어야 한다. 틀린 표현 $-a\hat{y} \rightarrow$ 올바르게는 $+a\hat{y}$이다.
④ X: $-a\hat{x} + 2a\hat{y}$는 기존 위치합의 반대벡터이지만, 추가 입자의 질량 $2m$을 반영하지 않아 크기가 2배이다. 틀린 표현 $-a\hat{x} + 2a\hat{y} \rightarrow$ 올바르게는 $-\frac{a}{2}\hat{x} + a\hat{y}$이다.

오답 포인트

①과 ④는 질량 $2m$을 반영하지 않고 기존 위치벡터 합만 사용한 경우이다. 특히 ④는 방향은 맞지만, 새 입자의 질량이 두 배이므로 위치벡터의 크기는 반으로 해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

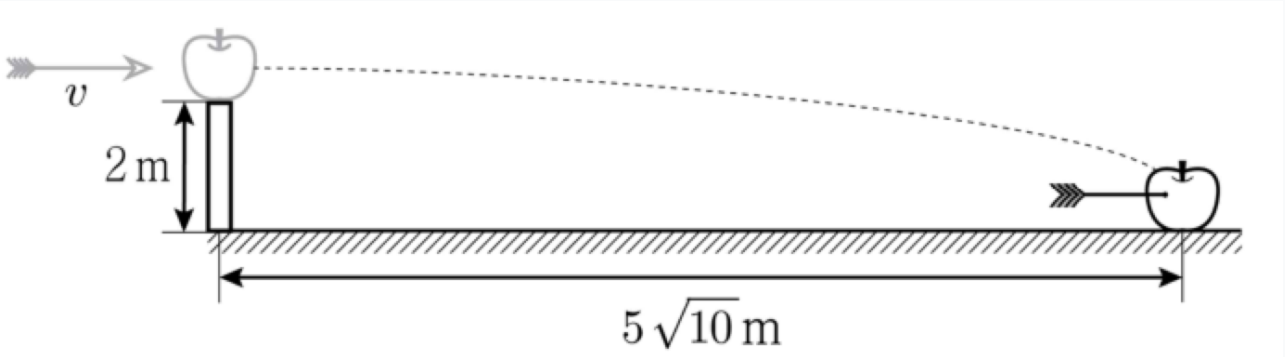
질량중심이 원점인 문제는 먼저 기존 입자들의 $\sum m_i\vec{r}_i$를 구한 뒤, 추가 입자의 질량을 곱한 항이 그 반대벡터가 되도록 둔다. 마지막에 추가 입자의 질량으로 나누어 위치벡터를 구한다.

암기 포인트

질량중심 원점 조건은 $\sum m_i\vec{r}_i = 0$이다. 질량이 2배이면 같은 상쇄 효과를 내는 위치벡터의 크기는 절반이다.

NoteBase

문 6. 질량 100g인 사과가 지면에 수직하게 놓인 길이 2m의 막대 끝에 놓여 있다. 질량 100g인 화살이 지면과 평행하게 속력 v로 날아와 정지해 있던 사과에 박혔고, 화살이 박힌 사과는 처음 위치에서 지면과 평행한 방향으로 $5\sqrt{10}$m만큼 떨어진 바닥에 닿았다. 속력 v[m/s]는? (단, 사과와 화살의 크기, 공기저항은 무시하고, 중력 가속도는 10m/s^{2}이다)



① 50

② 75

③ 100

④ 150

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 충돌 직후의 수평속도를 포물선 운동으로 구한 뒤, 비탄성 충돌에서 수평방향 운동량 보존을 적용하여 화살의 처음 속력을 구하는 문제이다.

조건 정리

사과와 화살의 질량은 각각 $0.10kg$이고, 충돌 뒤에는 함께 움직이므로 질량은 $0.20kg$이다. 낙하 높이는 $2m$, 수평 이동거리는 $5\sqrt{10}m$, 중력가속도는 $10m/s^2$이다. 충돌 직후 결합체의 수직속도는 0이고, 충돌 중에는 수평방향 외력이 무시된다.

사용할 공식

낙하 시간은 $h = \frac{1}{2}gt^2$로 구하고, 수평방향에서는 $x = Vt$를 사용한다. 충돌 전후 수평 운동량은 m_화살v=(m_화살+m_사과)V로 보존된다. 충돌 뒤 결합체가 수평으로 날아가며 자유낙하하므로 이 식들을 순서대로 적용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 낙하 시간은 $2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$이므로 $t = \frac{\sqrt{10}}{5} s$이다.
2. 충돌 직후 수평속도 V는 $5\sqrt{10} = V \cdot \frac{\sqrt{10}}{5}$이므로 $V = 25 m/s$이다.
3. 운동량 보존식 $0.10v = 0.20 \cdot 25$에서 $v = 50 m/s$이다.

선지 판단

① O. 계산한 화살의 처음 속력은 $50 m/s$이므로 옳다.
② X. $75 m/s$를 대입하면 충돌 전 운동량 $7.5 kg \cdot m/s$가 충돌 후 운동량 $5.0 kg \cdot m/s$와 달라진다. 틀린 표현 $75 m/s$ → 올바르게는 $50 m/s$이다.
③ X. $100 m/s$를 대입하면 충돌 전 운동량 $10 kg \cdot m/s$가 충돌 후 운동량 $5.0 kg \cdot m/s$와 달라진다. 틀린 표현 $100 m/s$ → 올바르게는 $50 m/s$이다.
④ X. $150 m/s$를 대입하면 충돌 전 운동량 $15 kg \cdot m/s$가 충돌 후 운동량 $5.0 kg \cdot m/s$와 달라진다. 틀린 표현 $150 m/s$ → 올바르게는 $50 m/s$이다.

오답 포인트

충돌 직후 속도 $25 m/s$를 화살의 처음 속력으로 바로 쓰는 실수가 핵심 함정이다. 이 속도는 화살과 사과가 결합한 뒤의 속도이므로, 그 다음에 두 물체의 질량을 포함한 운동량 보존을 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

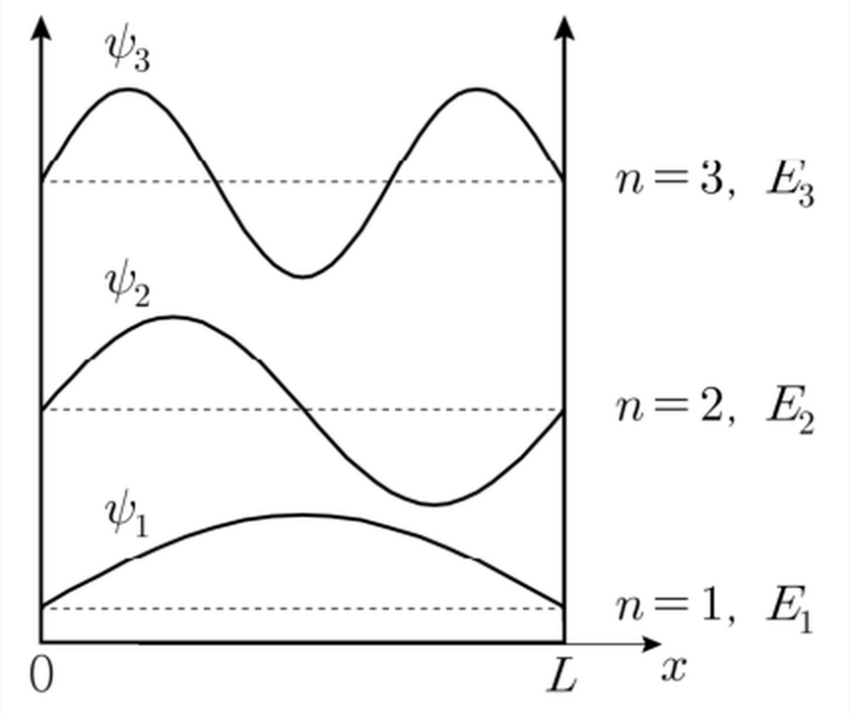
수평 충돌 뒤 낙하하는 문제에서는 낙하 높이로 시간을 먼저 구하고, 수평 이동거리로 충돌 직후 속도를 구한다. 이어서 충돌 전후의 수평 운동량을 비교하여 충돌 전 속도를 판단한다.

암기 포인트

결합 충돌: 충돌 직후 속도는 작아지고, 수평 운동량은 보존된다.

NoteBase

문 7. 그림은 길이가 L인 1차원 무한 퍼텐셜 우물에 갇힌 입자에 대해, 양자수 $n=1$, $n=2$, $n=3$에 해당하는 파동함수 ψ_1, ψ_2, ψ_3와 각 상태의 에너지 E_1, E_2, E_3를 나타낸 것이다. $E_2-E_1=E_o$일 때, E_3-E_2는?



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

정답 3번

출제 포인트

1차원 무한 퍼텐셜 우물에서 에너지 준위가 양자수의 제곱에 비례하는 관계 $E_n=n^2E_1$를 이용해 인접한 에너지 차를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 $E_2-E_1=E_0$이다.
구할 값은 E_3-E_2이다.
무한 퍼텐셜 우물에서는 $E_n \propto n^2$이므로 에너지 준위의 간격은 일정하지 않고 n이 커질수록 커진다.

NoteBase

사용할 공식

$E_n = n^2 E_1$
이 식을 쓰는 이유는 길이 L인 1차원 무한 퍼텐셜 우물의 정상상태 에너지가 n^2에 비례하기 때문이다. 따라서 $E_1 : E_2 : E_3 = 1 : 4 : 9$이다.

계산 과정

$E_2 - E_1 = (4-1)E_1 = 3E_1 = E_0$이므로 $E_1 = E_0/3$이다.
$E_3 - E_2 = (9-4)E_1 = 5E_1$이다.
따라서 $E_3 - E_2 = 5(E_0/3) = \frac{5}{3}E_0$이다.

선지 판단

① X: $\frac{1}{3}E_0$는 계산 결과와 다르다. 틀린 표현 $\frac{1}{3}E_0$ → 올바르게는 $\frac{5}{3}E_0$이다.
② X: $\frac{1}{2}E_0$는 $n=2$와 $n=3$의 제곱 차 $9-4=5$를 반영하지 못한 값이다. 틀린 표현 $\frac{1}{2}E_0$ → 올바르게는 $\frac{5}{3}E_0$이다.
③ O: $E_3 - E_2 = (9-4)E_1 = 5E_1 = \frac{5}{3}E_0$이므로 옳다.
④ X: $2E_0$는 $E_1 = E_0/3$을 대입한 결과와 다르다. 틀린 표현 $2E_0$ → 올바르게는 $\frac{5}{3}E_0$이다.

오답 포인트

에너지 준위가 n에 비례한다고 보고 간격을 일정하게 처리하면 오답이 된다. 이 문항에서는 $E_2 - E_1 = 3E_1$인데 $E_3 - E_2 = 5E_1$이므로, 두 간격의 비는 $3 : 5$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

무한 퍼텐셜 우물의 에너지 차는 먼저 $E_n \propto n^2$로 각 준위의 계수를 적고, 인접 준위에서는 $(n+1)^2 - n^2$를 계산한 뒤 주어진 에너지 차와 비례식으로 연결해 판단한다.

암기 포인트

무한 우물에서는 $E_n \propto n^2$, 따라서 인접 준위 간격은 1, 3, 5, 7, …처럼 커진다.

NoteBase

문 8. 전기장 $\vec{E}$와 자기장 $\vec{B}$로 구성된 전자기파가 진공 중에서 진행할 때 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 광속은 c이다)

ㄱ. 에너지가 전달되는 방향은 $\vec{E} \times \vec{B}$의 방향이다.
ㄴ. 전기장 크기 E와 자기장 크기 B의 비 $\frac{E}{B}$는 $\frac{c}{2}$와 같다.
ㄷ. 전기장의 에너지 밀도와 자기장의 에너지 밀도는 같다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

진공에서 진행하는 평면 전자기파의 에너지 전달 방향, 전기장·자기장 세기의 관계, 두 장의 에너지 밀도 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

포인팅 벡터 $\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B}$는 전자기파의 에너지 흐름 방향을 나타낸다. 진공에서는 $E = cB$, 즉 $\frac{E}{B} = c$이다. 전기장 에너지 밀도 $u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$와 자기장 에너지 밀도 $u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$는 같으며, 이는 $c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}$와 $E = cB$로 확인된다.

선지별 해설

① X: ㄱ은 옳지만 ㄷ도 옳다. 'ㄱ만 옳다'는 선택이므로 옳은 것을 모두 고른 결과가 아니다.
② X: ㄴ의 '$\frac{E}{B} = \frac{c}{2}$'가 틀렸다. 진공의 전자기파에서는 $\frac{E}{B} = c$이다.
③ O: ㄱ에서 에너지 전달 방향은 $\vec{E} \times \vec{B}$ 방향이며, ㄷ에서 전기장과 자기장의 에너지 밀도는 같다. 따라서 ㄱ, ㄷ을 모두 고른 ③이 맞다.
④ X: ㄱ과 ㄷ은 옳지만 ㄴ이 틀리다. ㄴ의 '$\frac{c}{2}$'는 'c'로 고쳐야 하므로 ㄱ, ㄴ, ㄷ 전체가 옳지는 않다.

오답 포인트

ㄴ에서 E와 B의 비를 $c/2$로 잘못 기억하기 쉽다. 또한 ㄱ만 확인하고 ㄷ의 에너지 밀도 같음을 놓치면 ①을 고르게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

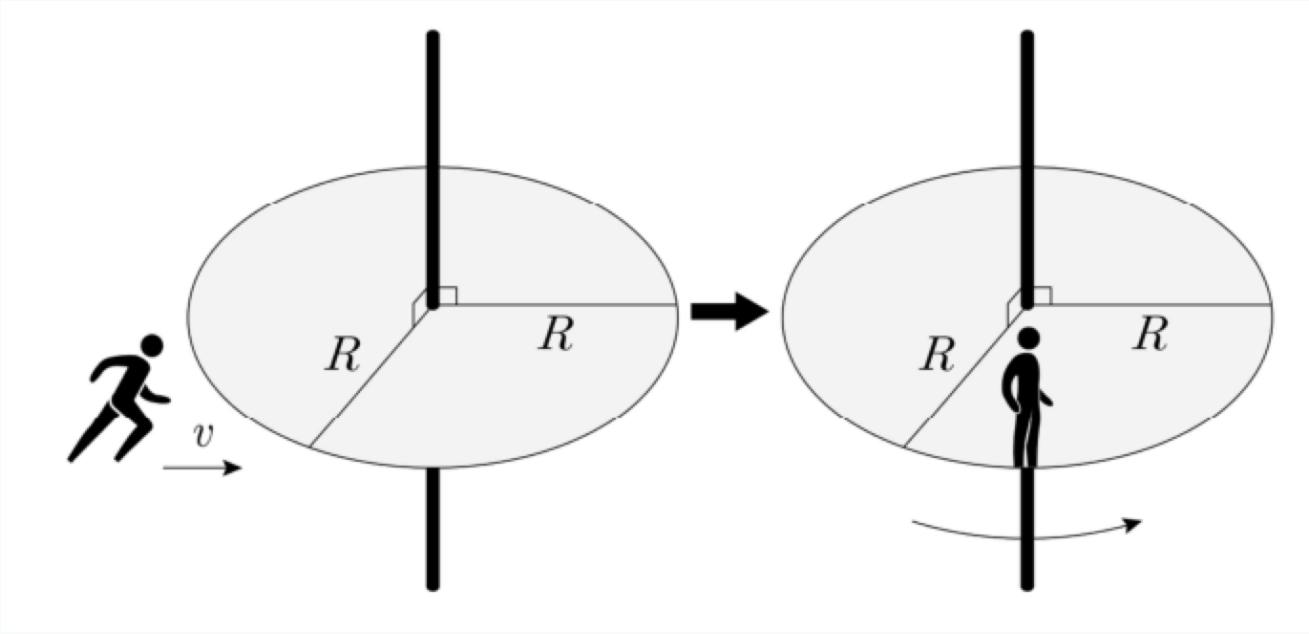
진공 전자기파는 먼저 에너지 흐름을 $\vec{E} \times \vec{B}$로 판단하고, 세기 관계는 $E = cB$로 확인한다. 이어 $u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$, $u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$에 $E = cB$를 대입하여 두 에너지 밀도가 같은지 판단한다.

암기 포인트

진공 전자기파: 에너지 방향은 $\vec{E} \times \vec{B}$, 장의 비는 $E/B = c$, 전기·자기 에너지 밀도는 같다.

NoteBase

문 9. 질량 M, 반지름 R인 균일한 원형 회전판이 고정된 중심축에 대해 자유롭게 회전할 수 있는 상태에서 수평하게 정지해 있다. 원형 회전판의 접선 방향으로 질량이 m인 사람이 속력 v로 달려가서 이 원판의 가장자리에 올라탄 직후의 회전판의 각속도의 크기는? (단, 사람의 크기는 무시한다)



① $\frac{mv}{(\frac{M}{2}+m)R}$
② $\frac{mv}{(M+m)R}$
③ $\frac{mv}{(2M+m)R}$
④ $\frac{mv}{(4M+m)R}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 사람이 회전판 가장자리에 올라타는 비탄성 과정에서 중심축에 대한 각운동량 보존으로 충돌 직후의 각속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

회전판의 질량과 반지름은 각각 M, R이고, 사람의 질량과 속력은 각각 m, v이다.
회전판은 처음 정지해 있고, 사람은 중심에서 거리 R인 가장자리를 접선 방향으로 달려온다.
사람의 크기는 무시하므로, 올라탄 뒤 사람은 반지름 R 위치의 질점으로 본다.

NoteBase

사용할 공식

외부에서 중심축에 작용하는 충격량의 돌림힘이 없으므로 중심축에 대한 각운동량이 보존된다.
$L_i = L_f$
균일한 원판의 관성모멘트는 I_원판=(1)/(2)MR^2이고, 가장자리에 선 사람의 관성모멘트는 I_사람=mR^2이다.
사람이 접선 방향으로 들어오므로 처음 각운동량의 크기는 mvR이다.

계산 과정

처음 각운동량은 $L_i = mvR$이다.
올라탄 뒤 전체 관성모멘트는 $I_f = \frac{1}{2}MR^2 + mR^2 = \left(\frac{M}{2} + m\right)R^2$이다.
따라서
$mvR = \left(\frac{M}{2} + m\right)R^2\omega$
이므로
$\omega = \frac{mv}{\left(\frac{M}{2} + m\right)R}$

선지 판단

① O: 계산한 각속도 $\frac{mv}{\left(\frac{M}{2} + m\right)R}$와 일치한다.
② X: 분모의 $(M + m)R$가 틀렸다. 원판의 관성모멘트를 MR^2로 둔 결과에 해당한다. 균일한 원판은 $\frac{1}{2}MR^2$이므로 $(M + m)R \rightarrow \left(\frac{M}{2} + m\right)R$로 고쳐야 한다.
③ X: 분모의 $(2M + m)R$가 틀렸다. 전체 관성모멘트에 대응하는 원판 항은 $2MR^2$가 아니라 $\frac{1}{2}MR^2$이다. $(2M + m)R \rightarrow \left(\frac{M}{2} + m\right)R$로 고쳐야 한다.
④ X: 분모의 $(4M + m)R$가 틀렸다. 균일한 원판의 관성모멘트 계수는 4가 아니라 $\frac{1}{2}$이다. $(4M + m)R \rightarrow \left(\frac{M}{2} + m\right)R$로 고쳐야 한다.
계산 결과가 ①과 같으므로 정답은 1번이다.

오답 포인트

회전판을 가장자리에 질량이 모인 고리로 오인하면 관성모멘트를 MR^2로 두어 ②를 고르게 된다. 균일한 원판의 관성모멘트는 반드시 $\frac{1}{2}MR^2$임을 구분한다.

다시 나오면 이렇게 판단

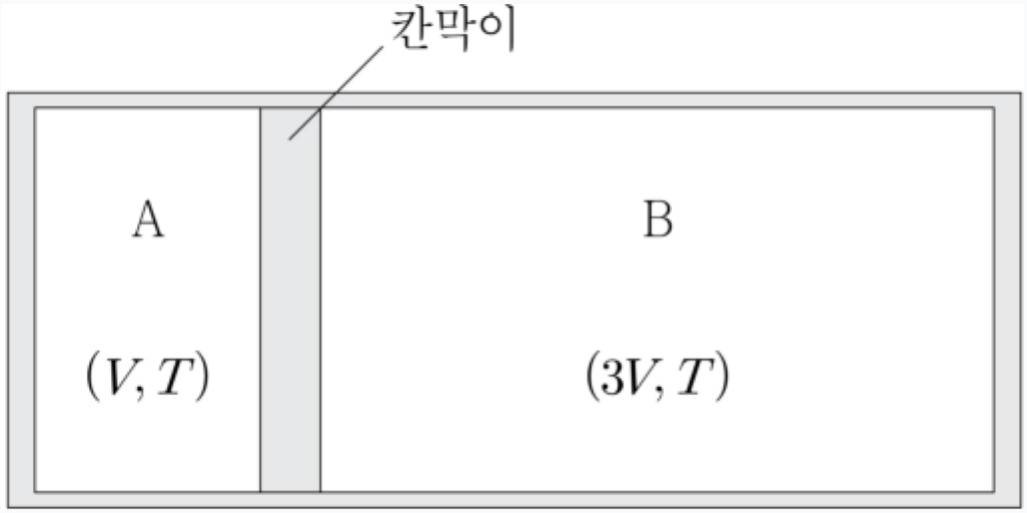
접선 방향으로 들어오는 질점이 회전체에 붙는 문제에서는 먼저 초기 각운동량을 mvR로 쓰고, 붙은 뒤의 모든 물체의 관성모멘트를 더한 뒤 $L_i = I_f\omega$를 적용한다.

암기 포인트

원판은 $\frac{1}{2}MR^2$, 가장자리 질점은 mR^2이다. 접선 입사 질점의 각운동량은 mvR이다.

NoteBase

문 10. 단열되어 있는 밀폐 용기에 자유롭게 움직일 수 있는 칸막이를 중심으로 단원자 분자 이상기체 A, B가 나누어져 있다. A, B의 기체 분자 1개의 질량은 각각 m, $2m$이고, A와 B의 부피는 각각 V, $3V$이다. A, B의 온도는 T로 같으며, 칸막이는 정지해 있다. A, B의 분자의 수를 각각 N_A, N_B라 할 때, $N_A : N_B$는?



① 1 : 3

② 2 : 3

③ 3 : 2

④ 4 : 3

정답 1번

출제 포인트

자유롭게 움직이는 칸막이가 정지한 조건에서 양쪽 기체의 압력이 같다는 사실과 이상기체식을 이용해 분자 수의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

A의 부피는 V, B의 부피는 $3V$이고, 두 기체의 온도는 모두 T이다. 칸막이가 정지해 있으므로 $P_A = P_B$이다. 분자 1개의 질량은 A가 m, B가 $2m$이지만, 이 문제에서 압력 비교에는 직접 쓰이지 않는다.

사용할 공식

이상기체의 압력은 $P = \frac{NkT}{V}$이다. 양쪽 기체는 같은 온도에서 칸막이가 정지해 있으므로, 압력식의 값이 서로 같아야 한다.

NoteBase

계산 과정

$P_A = \frac{N_A kT}{V}, \qquad P_B = \frac{N_B kT}{3V}$

압력 평형 $P_A = P_B$를 대입하면 $\frac{N_A kT}{V} = \frac{N_B kT}{3V}$이다. 양변에서 kT/V를 약분하면 $N_A = \frac{N_B}{3}$이므로 $N_A : N_B = 1 : 3$이다.

선지 판단

① O. $N_A : N_B = 1 : 3$이며, B의 부피가 A의 3배이므로 같은 온도와 압력에서 B의 분자 수도 A의 3배이다.

② X. '2 : 3'이 틀린 표현이다. 분자 1개 질량이 $m : 2m$인 점을 분자 수 비에 반영한 결과이지만, 압력식 $P = NkT/V$에는 분자 1개 질량이 들어가지 않는다. 올바르게는 1 : 3이다.

③ X. '3 : 2'가 틀린 표현이다. 압력 평형에서는 같은 온도일 때 분자 수가 부피에 비례하므로, 부피가 더 큰 B의 분자 수가 더 많아야 한다. 올바르게는 1 : 3이다.

④ X. '4 : 3'이 틀린 표현이다. 압력 평형식에서 $N_A/N_B = V/(3V) = 1/3$이므로 A의 분자 수가 B보다 많을 수 없다. 올바르게는 1 : 3이다.

오답 포인트

②처럼 분자 1개의 질량 m, $2m$을 분자 수 비에 곧바로 반영하는 함정이 핵심이다. 이상기체의 압력은 같은 온도에서 분자 수 밀도 N/V로 결정되며, 분자 질량은 이 조건의 압력식에 직접 나타나지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

움직일 수 있는 칸막이가 정지하면 먼저 $P_A = P_B$를 둔다. 이어서 $P = NkT/V$를 양쪽에 적용하고, 온도가 같으면 $N_A/V_A = N_B/V_B$로 정리하여 분자 수 비를 부피 비와 같게 판단한다.

암기 포인트

같은 T에서 압력 평형이면 N/V가 같다. 따라서 분자 수 비는 부피 비와 같다.

NoteBase

문 11. 용수철 상수가 k인 용수철이 연직으로 매달려 있다. 늘어나지 않은 상태의 용수철에 질량 m인 물체를 매달아 가만히 놓으면 물체는 진동수 f의 단진동을 한다. 만약 동일한 물체에 대해, 용수철 상수가 $2k$인 용수철을 이용하였다면, 단진동의 진동수는? (단, 용수철의 질량, 마찰, 공기저항은 무시한다)

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

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 용수철 진동수 f가 용수철 상수 k의 제곱근에 비례한다는 관계를 이용하는 문제이다.

조건 정리

질량 m은 그대로이고, 용수철 상수만 k에서 $2k$로 바뀐다. 중력은 평형 위치만 바꾸며 단진동의 진동수에는 영향을 주지 않는다.

사용할 공식

수직 용수철 진동의 진동수는
$f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$이다. 질량이 일정하면 $f\propto\sqrt{k}$이므로, 용수철 상수 변화의 제곱근만큼 진동수가 변한다.

계산 과정

처음 진동수는 $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$이다.
바뀐 뒤 진동수는 $f'=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{2k}{m}}$이다.
따라서 $f'=\sqrt{2}\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}=\sqrt{2}f$이다.

선지 판단

① X: $f/2$가 아니다. 이는 진동수가 k에 반비례한다고 잘못 본 값이다. 올바르게는 $\sqrt{2}f$이다.
② X: $f/\sqrt{2}$가 아니다. 이는 k가 커질 때 진동수가 감소한다고 반대로 판단한 값이다. 올바르게는 $\sqrt{2}f$이다.
③ X: f가 아니다. 용수철 상수의 변화가 진동수에 영향을 준다. 올바르게는 k가 2배이면 진동수는 $\sqrt{2}$배인 $\sqrt{2}f$이다.
④ O: k가 2배이면 $\sqrt{k}$는 $\sqrt{2}$배가 되므로 진동수는 $\sqrt{2}f$이다.

오답 포인트

용수철 상수 k와 진동수를 선형 비례 또는 반비례로 처리하기 쉽다. 진동수는 k 자체가 아니라 $\sqrt{k}$에 비례한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

질량이 일정한 용수철 진동에서는 $f \propto \sqrt{k}$를 먼저 적용한다. k가 a배이면 진동수는 $\sqrt{a}$배가 된다.

암기 포인트

용수철 상수 2배 → 진동수 $\sqrt{2}$배이다.

문 12. $y(x, t) = c\sin(ax - bt)$**로 기술되는 진행파의** x**방향 속력은? (단,** a, b, c**는 모두 상수이다)**

① ab

② $c(a + b)$

③ $\frac{a}{b}$

④ $\frac{b}{a}$

정답 4번

출제 포인트

진행파 $y(x, t) = c\sin(ax - bt)$에서 위상이 일정하게 이동하는 조건으로 x방향 파동의 전파 속력을 구하는 문제이다.

조건 정리

진폭은 c이고, 공간에 따른 위상 변화의 계수는 a, 시간에 따른 위상 변화의 계수는 b이다. 구할 값은 같은 위상점이 x방향으로 이동하는 속력이다.

사용할 공식

진행파에서는 마루·골처럼 위상이 같은 점에 대해 ax-bt=상수이다. 이를 시간에 대해 미분하면 $a\frac{dx}{dt} - b = 0$ 이므로 $v = \frac{dx}{dt} = \frac{b}{a}$이다. 위상 변화가 일정한 점의 이동을 묻는 문제이므로 이 조건을 사용한다.

계산 과정

1. 같은 위상점의 조건을 ax-bt=상수로 둔다.
2. 양변을 시간에 대해 미분하면 $a\frac{dx}{dt} - b = 0$이다.
3. 따라서 $\frac{dx}{dt} = \frac{b}{a}$이므로 x방향 속력은 $\frac{b}{a}$이다.

선지 판단

① X. ab는 공간 위상 계수와 시간 위상 계수를 곱한 값일 뿐 전파 속력이 아니다. 틀린 표현 ab → 올바르게는 $\frac{b}{a}$이다.

② X. c는 파동의 진폭이므로 전파 속도를 정하지 않는다. 틀린 표현 $c(a + b)$ → 올바르게는 $\frac{b}{a}$이다.

③ X. $\frac{a}{b}$는 공간 계수와 시간 계수의 비를 거꾸로 쓴 것이다. 틀린 표현 $\frac{a}{b}$ → 올바르게는 $\frac{b}{a}$이다.

④ O. ax-bt=상수에서 $\frac{dx}{dt} = \frac{b}{a}$가 되므로 옳다.

오답 포인트

③처럼 a와 b의 분자·분모를 바꾸는 실수가 흔하다. 공간 위상 계수 a가 클수록 같은 위상 변화에 필요한 이동 거리가 작아지므로 속력 식에서는 a가 분모에 놓인다. 또한 진폭 c는 파동의 높이만 바꾸므로 속력과 무관하다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

$\sin(kx-\omega t)$ 꼴이면 위상을 상수로 두고 kx-ω t=상수에서 $\frac{dx}{dt}=\frac{\omega}{k}$를 구한다. x와 t의 부호가 반대이면 $+x$ 방향으로 진행한다.

암기 포인트

$\sin(kx-\omega t)$의 전파 속력은 $\frac{\omega}{k}$, 즉 시간 계수 ÷ 공간 계수이다.

문 13. 물질의 자기적 성질에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 철, 코발트, 니켈 등과 같은 물질은 강자성체에 속한다.

② 상자성체에 외부 자기장을 걸어주면 외부 자기장과 같은 방향으로 알짜 자기 쌍극자모멘트가 생긴다.

③ 반자성체에 외부 자기장을 걸어주면 외부 자기장에 반대 방향으로 알짜 자기 쌍극자모멘트가 생긴다.

④ 강자성체는 퀴리 온도보다 낮은 온도에서 상자성체가 된다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 강자성체·상자성체·반자성체가 외부 자기장과 온도에 대해 보이는 성질을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

강자성체는 원자들의 자기모멘트가 같은 방향으로 정렬되어 강한 자성을 보이는 물질이다. 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 약하게 자화되는 물질이고, 반자성체는 외부 자기장과 반대 방향으로 약하게 자화되는 물질이다. 강자성체는 퀴리 온도보다 높아지면 열운동 때문에 정렬이 깨져 상자성체가 된다.

선지별 해설

① O. 철·코발트·니켈은 대표적인 강자성체로, 외부 자기장이 없어도 자기모멘트의 정렬 때문에 비교적 강한 자성을 보일 수 있다.

② O. 상자성체에 외부 자기장을 걸면 자기모멘트가 외부 자기장과 같은 방향으로 일부 정렬되어 알짜 자기 쌍극자모멘트가 생긴다.

③ O. 반자성체에서는 유도된 자기 쌍극자모멘트가 외부 자기장에 반대 방향으로 생겨 외부 자기장을 약하게 밀어낸다.

④ X. 틀린 표현은 '퀴리 온도보다 낮은 온도에서 상자성체가 된다'이다. 강자성체는 퀴리 온도보다 높은 온도에서 열운동으로 자발자화가 사라져 상자성체가 된다.

오답 포인트

④는 퀴리 온도를 기준으로 온도 방향을 뒤집은 선지이다. 낮은 온도에서는 강자성 정렬이 유지되고, 높은 온도에서 그 정렬이 무너진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

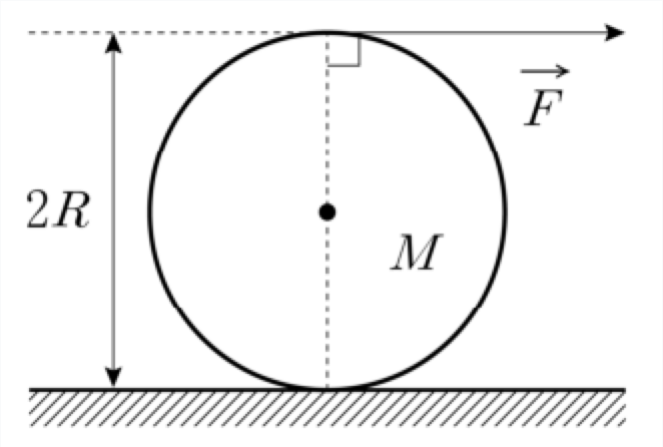
외부 자기장에 대한 알짜 자기모멘트의 방향을 먼저 본다. 같은 방향이면 상자성, 반대 방향이면 반자성이다. 강자성체의 온도 변화는 ‘퀴리 온도 이상에서 상자성체’로 판단한다.

암기 포인트

상자성은 같은 방향, 반자성은 반대 방향, 강자성체는 퀴리 온도 이상에서 상자성체이다.

NoteBase

문 14. 질량이 M이고 반지름 R인 원통 모양의 실패가 정지해 있다. 지면으로부터 높이가 $2R$인 곳에서, 실패에 감긴 실을 잡아당겨 실이 지면과 평행한 방향으로 풀리며 일정한 힘 F가 실패에 전달되어 실패가 미끄러짐 없이 굴러간다. 실패의 질량 중심이 길이 L만큼 이동했을 때 질량 중심의 이동속력은? (단, 원통 모양 실패의 밀도는 균일하며, 실의 질량은 무시한다)



① $\sqrt{\frac{4FL}{3M}}$
② $\sqrt{\frac{10FL}{7M}}$
③ $\sqrt{\frac{2FL}{M}}$
④ $\sqrt{\frac{8FL}{3M}}$

정답 4번

출제 포인트

미끄럼 없이 구르는 균일한 원통에 감긴 실을 위쪽에서 수평으로 당길 때, 힘이 한 일과 병진·회전 운동에너지의 관계를 적용하는 문제이다.

조건 정리

균일한 원통의 관성모멘트는 $I=\frac{1}{2}MR^2$이다.
미끄럼 없음 조건에서 $v=R\omega$이다.
질량중심이 L만큼 이동하면 원통 꼭대기에서 풀리는 실의 이동거리는 $2L$이다. 꼭대기 점의 속도가 질량중심 속도의 두 배인 $2v$이기 때문이다.

사용할 공식

일-에너지 정리를 사용하면 $W=\Delta K$이다.
힘 F가 작용하는 실의 이동거리가 $2L$이므로 외력이 한 일은 $W=2FL$이다. 정지 마찰력의 작용점은 바닥에 대해 순간적으로 정지하므로 마찰력은 일을 하지 않는다.

NoteBase

계산 과정

원통의 운동에너지는 병진과 회전의 합이다.
$K = \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$
$= \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}MR^2\right)\left(\frac{v}{R}\right)^2 = \frac{3}{4}Mv^2$
따라서 $2FL = \frac{3}{4}Mv^2$이므로,
$v = \sqrt{\frac{8FL}{3M}}$
이다.

선지 판단

① X: $\sqrt{\frac{4FL}{3M}}$는 힘이 한 일을 FL로만 놓은 값이다. 실의 이동거리는 L이 아니라 $2L$이므로, 올바르게는 $\sqrt{\frac{8FL}{3M}}$이다.
② X: $\sqrt{\frac{10FL}{7M}}$는 병진·회전 운동에너지의 합과 실의 이동거리 $2L$를 함께 적용한 결과와 일치하지 않는다.
올바르게는 $\sqrt{\frac{8FL}{3M}}$이다.
③ X: $\sqrt{\frac{2FL}{M}}$는 회전 운동에너지와 실이 $2L$만큼 풀리는 효과를 반영하지 못한 값이다. 올바르게는 $\sqrt{\frac{8FL}{3M}}$이다.
④ O: $2FL = \frac{3}{4}Mv^2$에서 얻는 속도 $\sqrt{\frac{8FL}{3M}}$와 일치한다.

오답 포인트

질량중심의 이동거리 L을 곧바로 힘의 작용점 이동거리로 놓는 것이 함정이다. 이 문제에서는 실이 원통의 꼭대기에서 풀리므로 힘의 작용점은 $2L$만큼 이동한다. 또한 원통은 병진 운동뿐 아니라 회전 운동도 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

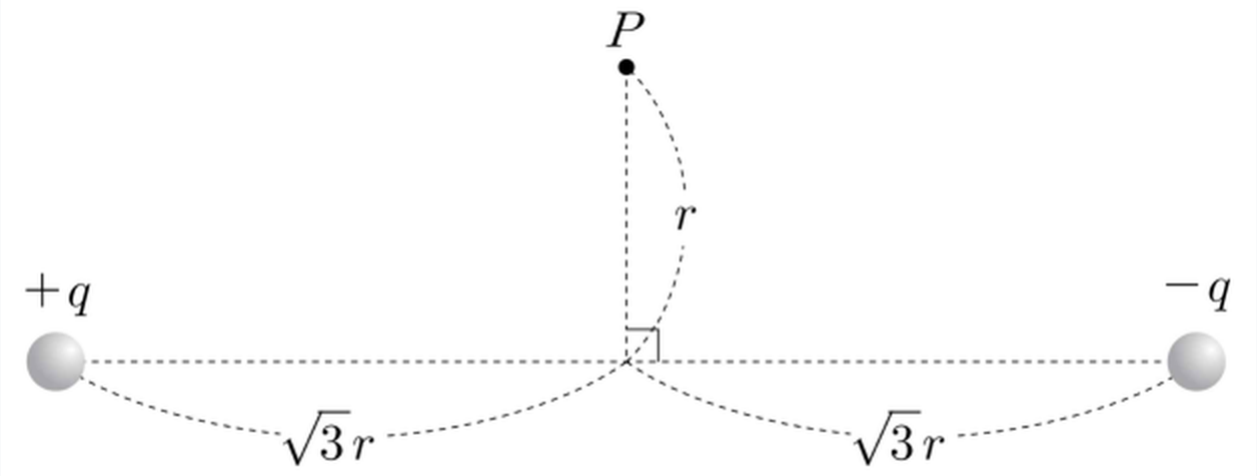
감긴 실을 당기는 구름 운동에서는 먼저 힘의 작용점 속도를 확인하여 일 $W = Fs$에서 s를 작용점 이동거리로 정한다. 그 뒤 $v = R\omega$를 이용해 병진 운동에너지와 회전 운동에너지를 더한다.

암기 포인트

위쪽 접선으로 실을 당기는 순수 구름에서는 꼭대기 점의 속도는 $2v$, 실의 이동거리는 질량중심 이동거리의 두 배이다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 $2\sqrt{3}r$만큼 떨어져 있는 두 점전하 $+q$, $-q$를 잇는 직선에 수직한 방향으로, 두 전하의 중간 지점으로부터 r만큼 떨어져 있는 점 P에서의 전기장의 크기는? (단, 쿨롱 상수는 k이다)



① $k\frac{q}{4r^2}$
② $k\frac{\sqrt{3}q}{4r^2}$
③ $k\frac{q}{2r^2}$
④ $k\frac{\sqrt{3}q}{2r^2}$

정답 2번

출제 포인트

두 점전하가 만드는 전기장을 벡터로 합성하여 점 P에서의 전기장 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

두 전하의 중점에서 각 전하까지의 거리는 $\sqrt{3}r$, 중점에서 P까지의 거리는 r이다. 따라서 $+q$와 $-q$ 각각에서 P까지의 거리는 $\sqrt{(\sqrt{3}r)^2 + r^2} = 2r$이다.

사용할 공식

점전하가 만드는 전기장 크기는 $E = k\frac{|q|}{d^2}$이다. 두 전기장은 같은 점 P에서 작용하므로 크기만 더하지 않고 방향별 성분을 합성한다.

계산 과정

각 전하가 만드는 전기장 크기는 $E_0 = k\frac{q}{(2r)^2} = k\frac{q}{4r^2}$이다. $+q$에 의한 전기장은 오른쪽 위, $-q$에 의한 전기장은 오른쪽 아래를 향한다. 각 전기장의 수평 성분은 $E_0\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}E_0$이고, 수직 성분은 크기가 같고 방향이 반대여서 상쇄된다. 따라서 합성 전기장은 $E = 2\left(\frac{\sqrt{3}}{2}E_0\right) = \sqrt{3}E_0 = k\frac{\sqrt{3}q}{4r^2}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X. $k\frac{q}{4r^2}$은 한 전하가 만드는 전기장 크기 E_0이다. 틀린 표현 → 두 전기장의 수평 성분을 합성하면 $k\frac{\sqrt{3}q}{4r^2}$이다.
② O. 수직 성분은 상쇄되고 수평 성분만 더해져 $k\frac{\sqrt{3}q}{4r^2}$가 된다.
③ X. $k\frac{q}{2r^2} = 2E_0$은 두 전기장의 크기를 방향을 무시하고 단순히 더한 값이다. 틀린 표현 → 전기장은 벡터이므로 $k\frac{\sqrt{3}q}{4r^2}$가 된다.
④ X. $k\frac{\sqrt{3}q}{2r^2} = 2\sqrt{3}E_0$은 수평 성분을 합성할 때 두 전하까지의 거리 $2r$를 제곱하지 않은 것에 해당한다. 틀린 표현 → 각 전기장 크기는 $k\frac{q}{4r^2}$이므로 합성값은 $k\frac{\sqrt{3}q}{4r^2}$이다.

오답 포인트

①처럼 한 전하의 전기장만 구하거나, ③처럼 두 전기장의 크기를 그대로 더하면 안 된다. $+q$와 $-q$가 만드는 수직 성분은 서로 반대 방향이므로 상쇄됨을 확인한다.

다시 나오면 이렇게 판단

대칭인 점전하 문제에서는 먼저 각 전하에서 관측점까지의 거리를 구하고, 전기장 방향을 화살표로 표시한 뒤 수평·수직 성분별로 합성한다.

암기 포인트

서로 다른 부호의 대칭 전하에서는 수직 이등분선 위 전기장이 전하축 방향으로 합쳐진다.

NoteBase

문 16. 원점에 정지해 있던 질량 m인 물체가 외부에서 작용하는 힘을 받으면서 1차원 직선을 따라 움직인다. 움직이기 시작하고 t만큼의 시간이 지난 순간 물체의 속력과 원점으로부터의 거리를 각각 v, s로 나타낼 경우, $v = A\sqrt{s}$의 관계를 만족한다. 외부에서 이 물체에 한 일은? (단, A는 상수이고, 모든 마찰은 무시한다)

① $\frac{mA^4t^2}{8}$
② $\frac{mA^4t^2}{4}$
③ $\frac{mA^4t^2}{2}$
④ mA^4t^2

정답 1번

출제 포인트

속도와 변위의 관계 $v = A\sqrt{s}$를 시간의 함수로 바꾼 뒤, 일-에너지 정리로 외력이 한 일을 구하는 문제이다.

조건 정리

물체는 원점에서 정지하므로 $t = 0$일 때 $s = 0, v = 0$이다.
주어진 관계는 $v = ds/dt = A\sqrt{s}$이다.
마찰이 없으므로 외력이 한 일은 운동에너지 변화량과 같다.

사용할 공식

$v = ds/dt$이므로 $ds/dt = A\sqrt{s}$를 적분한다. 외력이 한 일은 일-에너지 정리에 따라 $W = \Delta K = \frac{1}{2}mv^2 - 0$이다.
속도-변위 관계만 주어졌으므로 먼저 s와 v를 t로 나타내야 운동에너지 변화를 구할 수 있다.

계산 과정

$ds/\sqrt{s} = Adt$이므로 $2\sqrt{s} = At$이다.
따라서 $s = A^2t^2/4, v = A\sqrt{s} = A^2t/2$이다.
그러므로 $W = \frac{1}{2}m(A^2t/2)^2 = \frac{mA^4t^2}{8}$이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과가 $mA^4t^2/8$이므로 옳다.
② X: $mA^4t^2/4$는 정답의 2배이다. 틀린 표현 $\frac{mA^4t^2}{4}$ → 올바르게는 $\frac{mA^4t^2}{8}$이다. $W=\frac{1}{2}mv^2$의 1/2를 빠뜨리면 나오는 값이다.
③ X: $mA^4t^2/2$는 정답의 4배이다. 틀린 표현 $\frac{mA^4t^2}{2}$ → 올바르게는 $\frac{mA^4t^2}{8}$이다. $v=A^2t$로 두어 속도의 1/2를 빠뜨리고 운동에너지를 계산하면 나오는 값이다.
④ X: mA^4t^2는 정답의 8배이다. 틀린 표현 mA^4t^2 → 올바르게는 $\frac{mA^4t^2}{8}$이다. $2\sqrt{s}=At$에서 계수 2와 운동에너지식의 1/2를 모두 놓친 값이다.

오답 포인트

$ds/dt=A\sqrt{s}$를 적분할 때 $2\sqrt{s}=At$가 되는 계수 2를 빠뜨리기 쉽다. 또한 외력이 한 일은 mv^2가 아니라 $\frac{1}{2}mv^2$의 변화량이다.

다시 나오면 이렇게 판단

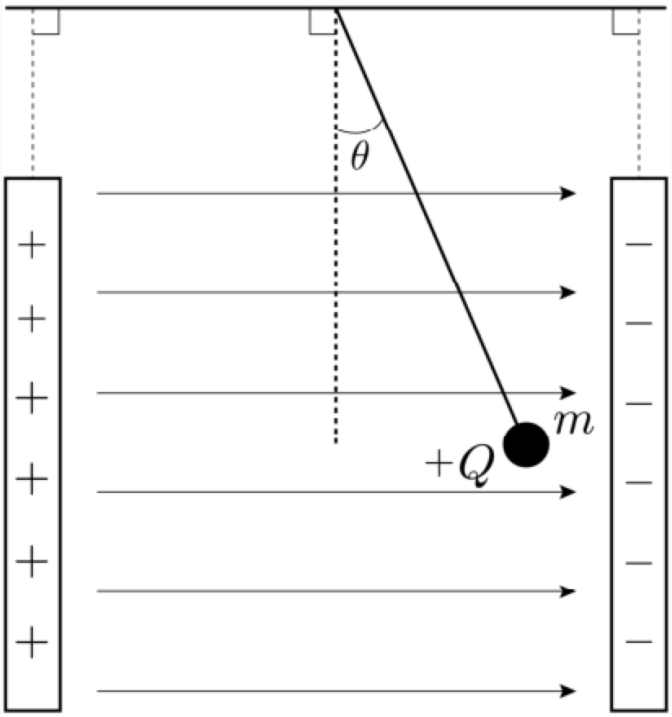
속도-변위식이 주어지면 먼저 $v=ds/dt$를 대입하여 $s(t)$와 $v(t)$를 구한다. 그다음 마찰 유무를 확인하고, 마찰이 없으면 $W=\Delta K$를 적용한다.

암기 포인트

마찰이 없을 때 외력이 한 일은 운동에너지 변화량 $W=\Delta K$이며, $K=\frac{1}{2}mv^2$이다.

NoteBase

문 17. 지면과 수직하고 서로 평행한 두 전극판 사이에 균일한 전기장이 형성되어 있고, 절연체 실의 한쪽 끝은 지면과 평행한 천장에 고정되고 다른 쪽 끝에는 질량이 m이고 전하량이 $+Q$인 절연체 공이 매달려 두 전극판 사이에 놓여 있다. 지면과 수직한 연직선에 대하여 절연체 실이 θ의 각을 이루며, 공이 평형 상태에 있을 때 두 전극판 사이의 전기장의 크기는? (단, 실의 질량, 절연체의 크기는 무시하고, 중력 가속도는 g이다)



① $\frac{mg}{Q}\sin\theta$
② $\frac{mg}{Q}\cos\theta$
③ $\frac{mg}{Q}\tan\theta$
④ $\frac{mg}{Q}\sin\theta\cos\theta$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전기장 속 양전하를 단 진자의 평형에서 수평 전기력과 중력의 비로 전기장 세기 E를 구하는 문제이다.

조건 정리

전하량은 $+Q$, 질량은 m이고, 전기장은 오른쪽을 향한다. 양전하가 받는 전기력 QE도 오른쪽을 향한다. 실은 연직선과 θ를 이루므로 장력 T의 수직 성분은 $T\cos\theta$, 수평 성분은 $T\sin\theta$이다.

NoteBase

사용할 공식

평형이므로 수직과 수평 방향에서 각각 힘의 합이 0이다.

$T\cos\theta = mg, \qquad T\sin\theta = QE$

두 식을 나누면 장력 T를 없앨 수 있다.

계산 과정

1. 수직 방향 평형식은 $T\cos\theta = mg$이다.
2. 수평 방향 평형식은 $T\sin\theta = QE$이다.
3. 두 식의 비를 취하면 $\tan\theta = \frac{QE}{mg}$이다. 따라서 $E = \frac{mg}{Q}\tan\theta$이다.

선지 판단

① X. $\frac{mg}{Q}\sin\theta$는 평형식의 두 성분을 올바르게 결합한 결과가 아니다. 틀린 표현 $\frac{mg}{Q}\sin\theta$ → 올바르게는 $\frac{mg}{Q}\tan\theta$이다.

② X. $\frac{mg}{Q}\cos\theta$는 수평 전기력과 수직 중력의 성분비를 반영하지 못한다. 틀린 표현 $\frac{mg}{Q}\cos\theta$ → 올바르게는 $\frac{mg}{Q}\tan\theta$이다.

③ O. $T\sin\theta = QE$, $T\cos\theta = mg$이므로 $E = \frac{mg}{Q}\tan\theta$이다.

④ X. $\frac{mg}{Q}\sin\theta\cos\theta$는 두 평형식을 곱한 형태로, 전기장을 구할 때 필요한 성분의 비 $\tan\theta$가 아니다. 틀린 표현 $\frac{mg}{Q}\sin\theta\cos\theta$ → 올바르게는 $\frac{mg}{Q}\tan\theta$이다.

오답 포인트

실이 연직선과 이루는 각이므로 장력의 수직 성분은 $T\cos\theta$, 수평 성분은 $T\sin\theta$이다. 두 식을 곱하거나 한 성분만 쓰면 $\sin\theta$, $\cos\theta$, $\sin\theta\cos\theta$ 형태의 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

전기장 속 진자가 정지해 있으면 먼저 전기력의 방향을 전하 부호로 정하고, 장력·중력·전기력을 수직과 수평으로 분해한다. 이어서 두 평형식을 나누어 장력을 제거하면 된다.

암기 포인트

연직선 기준 각도에서는 수평/수직 힘의 비가 $\tan\theta$이므로 $\frac{QE}{mg} = \tan\theta$이다.

NoteBase

문 18. 불확정성 원리에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 입자의 위치 x와 운동량 p를 동시에 정확히 측정할 수 없다.
ㄴ. 입자의 에너지 E와 운동량 p를 동시에 정확히 측정할 수 있는 경우는 없다.
ㄷ. 입자의 서로 다른 어떤 두 물리량도 동시에 정확히 측정할 수 없다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 불확정성 원리가 모든 물리량 쌍에 적용되는 것이 아니라, 서로 교환하지 않는 물리량 쌍에 적용됨을 묻는다.

핵심 개념

불확정성 원리는 위치와 운동량처럼 서로 비가환인 물리량을 동시에 임의의 정밀도로 정할 수 없다는 원리이다. 위치 x와 운동량 p는 $[x, p] = i\hbar$이므로 $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$를 만족한다. 반면 두 물리량이 서로 교환하면 동시에 정확한 값을 가질 수 있다.

선지별 해설

① ㄱ: O. 위치 x와 운동량 p는 비가환 물리량이므로 불확정성 원리에 따라 동시에 정확히 측정할 수 없다.
② ㄴ: X. 틀린 표현은 '동시에 정확히 측정할 수 있는 경우는 없다'이다. 에너지가 운동량의 함수인 자유입자에서는 에너지와 운동량이 함께 정해질 수 있으므로, 올바르게는 '에너지와 운동량의 동시 측정 가능 여부는 두 연산자의 교환 관계에 따라 달라진다'이다.
③ ㄷ: X. 틀린 표현은 '서로 다른 어떤 두 물리량도'이다. 불확정성 원리가 적용되는 것은 모든 서로 다른 물리량 쌍이 아니라 비가환 물리량 쌍이다. 서로 교환하는 물리량은 동시에 정확히 측정할 수 있다.
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ: X. ㄱ만 옳고 ㄴ과 ㄷ은 각각 동시 측정이 가능한 경우 및 비가환성의 조건을 무시하였으므로 포함될 수 없다.

오답 포인트

'동시에 정확히 측정할 수 없다'는 결론을 모든 물리량 쌍으로 확대하는 것이 함정이다. ㄴ의 '없는 경우는 없다'와 ㄷ의 '어떤 두 물리량도'는 비가환성이라는 조건을 지운 과장된 표현이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

두 물리량의 동시 측정 가능성을 묻는 선지에서는 먼저 두 물리량이 위치·운동량처럼 비가환 쌍인지 확인한다. 비가환 쌍이면 불확정성 원리가 적용되고, 모든 서로 다른 물리량에 적용된다고 하면 틀린 선지이다.

암기 포인트

불확정성 원리의 대상은 '서로 다른 물리량 전체'가 아니라 '비가환 물리량 쌍'이다. 위치-운동량은 대표적인 비가환 쌍이다.

NoteBase

문 19. 한쪽 끝이 천장에 고정된 실의 다른 쪽 끝에 질량 m인 물체가 매달려 단진자 운동을 한다. 물체가 최고점에 도달했을 때, 실에 작용하는 장력의 크기는 $0.6mg$이다. 물체가 최저점에 있을 때, 실에 작용하는 장력의 크기는? (단, 물체의 크기, 실의 질량, 마찰, 공기저항은 무시하고, g는 중력 가속도이다)

① $1.2mg$

② $1.4mg$

③ $1.8mg$

④ $2.2mg$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단진자의 최고점에서의 반지름방향 힘의 관계와 최고점·최저점 사이의 역학적 에너지 보존을 이용하여 최저점의 장력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 최고점에서의 장력은 $0.6mg$이다.
구할 값: 최저점에서의 장력 T_최저이다.
주의할 조건: 최고점에서는 속력이 0이지만, 최저점에서는 속력이 가장 크므로 장력에 구심력 항을 더한다.

사용할 공식

최고점에서는 속력이 0이므로 실의 방향 힘의 평형에서 T_최고=mgθ이다.
최고점에서 최저점까지는 역학적 에너지가 보존되어 12 mv^2=mgL(1-θ)이다.
최저점에서는 위쪽이 중심 방향이므로 T_최저-mg=(mv^2)/(L)이다.
이 공식을 쓰는 이유: 최고점에서는 구심속도가 0이고, 최저점에서는 원운동에 필요한 구심력이 장력과 중력의 차로 제공되기 때문이다.

계산 과정

1. 최고점에서 $0.6mg = mg\cos\theta$이므로 $\cos\theta = 0.6$이다.
2. 최고점과 최저점의 높이 차는 $L(1-\cos\theta) = 0.4L$이므로, 12 mv^2=0.4mgL이다. 따라서 $v^2 = 0.8gL$이다.
3. 최저점에서 T_최저=mg+(mv^2)/(L)=mg+0.8mg=1.8mg이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과는 $1.8mg$이므로 $1.2mg$은 아니다. 틀린 표현 $1.2mg$ → 올바르게는 $1.8mg$이다.
최저점에서는 중력 mg에 구심력에 필요한 $0.8mg$를 더해야 한다.
② X: 계산 결과는 $1.8mg$이므로 $1.4mg$은 아니다. 틀린 표현 $1.4mg$ → 올바르게는 $1.8mg$이다.
③ O: 최저점의 장력은 $mg + 0.8mg = 1.8mg$이므로 옳다.
④ X: 계산 결과는 $1.8mg$이므로 $2.2mg$은 아니다. 틀린 표현 $2.2mg$ → 올바르게는 $1.8mg$이다.
계산 결과가 $1.8mg$이므로 정답은 3번이다.

오답 포인트

최고점의 $0.6mg$을 최저점의 장력으로 바로 사용하거나, 최저점에서 구심력 항 mv^2/L을 빼는 것이 함정이다.
최저점에서는 장력이 중력보다 커야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

단진자 장력 문제는 먼저 최고점에서 속력이 0인지를 확인하여 각도 조건을 구하고, 에너지 보존으로 최저점 속력을 구한 뒤, 최저점의 식 $T - mg = mv^2/L$에 대입하여 판단한다.

암기 포인트

단진자 최저점: $T = mg + mv^2/L$이다. 장력은 중력과 구심력 항의 합이다.

NoteBase

문 20. 파장 600nm의 빛을 발생하는 레이저는 초당 3mJ의 빛 에너지를 방출한다. 이 레이저가 초당 방출하는 광자의 수는? (단, 플랑크 상수는 $6 \times 10^{-34}\mathrm{J \cdot s}$, 광속은 $3 \times 10^{8}\mathrm{m/s}$이다)

① $\frac{1}{2} \times 10^{16}$

② 1×10^{16}

③ 2×10^{16}

④ 4×10^{16}

정답 2번

출제 포인트

빛의 총에너지를 광자 한 개의 에너지로 나누어 초당 방출 광자 수를 구하는 문제이다.

조건 정리

파장은 $600nm = 6 \times 10^{-7}m$이다. 레이저의 초당 방출 에너지는 $3mJ = 3 \times 10^{-3}J$이다. 광자 한 개의 에너지는 $E = hc/\lambda$로 구한다.

사용할 공식

광자 한 개의 에너지는 $E = \frac{hc}{\lambda}$이고, 초당 광자 수는 $N = \frac{P}{E}$이다. 주어진 $3mJ$는 1초 동안 방출하는 총에너지이므로, 이를 광자 한 개의 에너지로 나누면 초당 광자 수가 된다.

계산 과정

1. 광자 한 개의 에너지는 $E = \frac{(6 \times 10^{-34}J \cdot s)(3 \times 10^{8}m/s)}{6 \times 10^{-7}m} = 3 \times 10^{-19}J$이다.
2. 초당 광자 수는 $N = \frac{3 \times 10^{-3}J}{3 \times 10^{-19}J} = 1 \times 10^{16}$이다.
3. 따라서 레이저는 초당 1×10^{16}개의 광자를 방출한다.

선지 판단

① X: $\frac{1}{2} \times 10^{16} = 5 \times 10^{15}$개는 계산값의 절반이다. 제시값은 틀렸으며, 올바른 값은 1×10^{16}개이다.
② O: $N = 1 \times 10^{16}$개로 계산값과 일치한다.
③ X: 2×10^{16}개는 계산값의 2배이다. 제시값은 틀렸으며, 올바른 값은 1×10^{16}개이다.
④ X: 4×10^{16}개는 계산값의 4배이다. 제시값은 틀렸으며, 올바른 값은 1×10^{16}개이다.

오답 포인트

파장 $600nm$를 $600 \times 10^{-9}m = 6 \times 10^{-7}m$로 바꾸지 않거나, mJ를 J로 바꾸지 않으면 지수 계산이 어긋난다. 특히 ①·③·④처럼 계산값의 일정 배수인 값을 고르는 실수를 주의한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 문제에서는 먼저 파장과 에너지의 단위를 SI 단위로 통일하고, $E = hc/\lambda$로 광자 한 개의 에너지를 구한 뒤 $N = P/E$를 계산한다.

암기 포인트

광자 수는 총에너지 ÷ 광자 1개의 에너지이며, $E = hc/\lambda$이다.

NoteBase