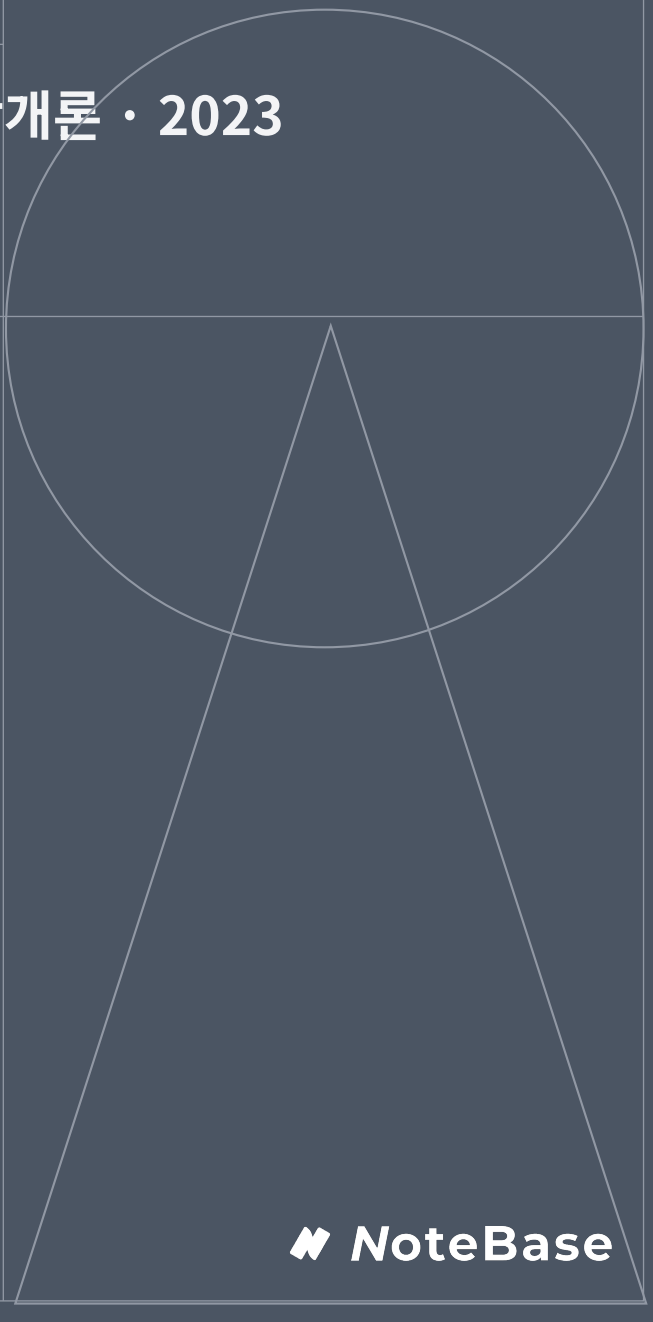
기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 물리학개론 · 2023



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/7급 · 물리학개론 · 2023

공무원/지방직/7급 · 물리학개론 · 2023

문 1. 지표면에서 비스듬히 던진 물체가 포물선 운동을 할 때, 이 물체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 물체가 받는 힘은 일정하다.

② 속도의 수평성분은 일정하다.

③ 가속도의 방향은 궤적의 접선 방향과 같다.

④ 속도의 연직성분은 시간에 따라 변한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 공기 저항을 무시한 포물선 운동에서 힘·가속도와 속도 성분의 방향 및 변화를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

포물선 운동은 수평 방향으로는 등속도 운동, 연직 방향으로는 중력에 의한 등가속도 운동이 동시에 일어나는 운동이다. 물체에는 아래쪽의 일정한 중력만 작용하므로 가속도는 항상 연직 아래쪽이고, 속도의 방향은 궤적의 접선 방향이다.

선지별 해설

① O: 공기 저항을 무시하면 물체에는 중력 $\vec{F} = m\vec{g}$만 작용한다. 지표면 근처에서는 중력의 크기와 방향이 일정하므로 물체가 받는 힘도 일정하다.

② O: 수평 방향의 힘이 0이므로 수평 가속도도 0이다. 따라서 속도의 수평 성분은 일정하다.

③ X: 틀린 표현은 '가속도의 방향은 궤적의 접선 방향과 같다'이다. 궤적의 접선 방향은 순간 속도의 방향이고, 가속도는 항상 연직 아래쪽이다. 올바르게는 '속도의 방향이 궤적의 접선 방향과 같다'이다.

④ O: 연직 방향에는 아래쪽 가속도 g가 작용한다. 따라서 속도의 연직 성분은 시간에 따라 변하며, 올라갈 때는 감소하고 내려올 때는 증가한다.

NoteBase

오답 포인트

③은 속도와 가속도의 방향을 바꾸어 놓은 선지이다. 접선 방향은 속도의 방향이며, 가속도의 방향은 포물선의 모양을 결정하는 연직 아래쪽 방향이다.

다시 나오면 이렇게 판단

포물선 운동에서는 먼저 힘의 방향을 확인한다. 중력만 작용하면 가속도는 항상 아래쪽, 수평 속도 성분은 일정, 연직 속도 성분은 시간에 따라 변한다고 판단한다.

암기 포인트

접선 방향은 속도, 아래쪽 방향은 가속도이다.

NoteBase

문 2. 어떤 물체가 지구의 중력으로부터 완전히 벗어나는 데 필요한 지표면에서의 최소 속력을 지구에서의 탈출속력이라고 한다. 지구와 반지름이 같고 질량이 4배인 행성 A에서의 탈출속력은 지구에서의 탈출속력의 몇 배인가? (단, 지구와 행성 A는 모두 밀도가 균일한 구형이고, 자전하지 않으며, 대기는 없다고 가정한다)

① $\sqrt{2}$

② 1.5

③ 2

④ 3

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 탈출속력 v_{esc}가 행성의 질량 M과 반지름 R에 따라 어떻게 달라지는지를 이용하는 문제이다.

조건 정리

행성 A의 반지름은 지구와 같고, 질량은 지구의 4배이다. 따라서 두 행성의 탈출속력 비에서는 반지름의 영향은 서로 상쇄되며 질량의 비만 비교하면 된다.

사용할 공식

탈출속력은 $v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. 이 공식은 물체가 행성 표면에서 중력을 완전히 벗어나기 위한 최소 속력을 나타내며, 같은 반지름에서는 $v_{esc} \propto \sqrt{M}$가 된다.

계산 과정

$\frac{v_A}{v_\oplus} = \sqrt{\frac{M_A/R_A}{M_\oplus/R_\oplus}} = \sqrt{\frac{4M_\oplus/R_\oplus}{M_\oplus/R_\oplus}} = \sqrt{4} = 2$ 따라서 행성 A의 탈출속력은 지구의 2배이다.

선지 판단

① X. $\sqrt{2}$배가 아니다. 반지름이 같을 때 질량이 4배이면 탈출속력은 $\sqrt{4} = 2$배이다. 틀린 표현 $\sqrt{2}$배 → 올바르게는 2배이다.

② X. 1.5배가 아니다. 탈출속력은 질량에 비례하는 것이 아니라 질량의 제곱근에 비례하므로 계산 결과는 2배이다. 틀린 표현 1.5배 → 올바르게는 2배이다.

③ O. 질량이 4배이고 반지름이 같으므로 탈출속력의 비는 $\sqrt{4} = 2$이다.

④ X. 3배가 아니다. 탈출속력이 3배가 되려면 같은 반지름에서 질량이 $3^2 = 9$배여야 한다. 틀린 표현 3배 → 올바르게는 2배이다.

NoteBase

오답 포인트

질량이 4배라는 사실을 보고 탈출속력도 4배로 생각하거나, 제곱근 관계를 잘못 적용해 $\sqrt{2}$배 또는 3배로 판단하기 쉽다. 탈출속력에서는 질량비 전체가 아니라 그 제곱근을 취한다.

다시 나오면 이렇게 판단

탈출속력 비교에서는 먼저 $v_{\text{esc}} = \sqrt{2GM/R}$를 쓰고, 질량과 반지름의 비를 공식 안에 대입한 뒤 마지막에 제곱근을 계산한다.

암기 포인트

탈출속력은 $\sqrt{M/R}$에 비례한다. 반지름이 같으면 질량 4배 → 탈출속력 2배이다.

NoteBase

문 3. 질량이 m인 질점을 길이 L인 줄로 천장에 매달아 만든 단진자가 천장에 수직인 평면에서 주기 T인 단순조화 운동을 하고 있다. m과 L이 모두 2배가 된 이후에도 단순조화 운동을 한다면 이때의 주기는? (단, 중력가속도는 10m/s^2이고, 줄의 질량은 무시한다)

① $4T$

② $2T$

③ $\sqrt{2}T$

④ T

정답 3번

출제 포인트

단진자의 주기가 질량과 무관하고 줄의 길이의 제곱근에 비례한다는 관계를 적용하는 문제이다.

조건 정리

초기 질량은 m, 줄의 길이는 L, 주기는 T이다. 변화 뒤 질량은 $2m$, 줄의 길이는 $2L$이다. 중력가속도 g는 변하지 않고, 줄의 질량은 무시한다.

사용할 공식

단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{L/g}$이다. 작은 진폭의 단순조화운동에서 복원력은 중력 성분으로 정해지며, 점질량 m은 운동방정식에서 약분되므로 주기에 영향을 주지 않는다.

계산 과정

변화 뒤 주기를 T'라 하면 $T' = 2\pi\sqrt{2L/g} = \sqrt{2}\left(2\pi\sqrt{L/g}\right) = \sqrt{2}T$이다. 질량이 m에서 $2m$으로 변한 것은 주기식에 들어가지 않는다.

선지 판단

① X: $4T$가 되려면 주기가 4배가 되어야 하나, 주기는 $\sqrt{L}$에 비례하므로 길이를 2배로 하면 $\sqrt{2}$배가 된다. 틀린 표현 $4T$ → 올바르게는 $\sqrt{2}T$이다.
② X: $2T$는 줄의 길이가 4배일 때의 결과이다. 틀린 표현 $2T$ → 올바르게는 $\sqrt{2}T$이다.
③ O: 줄의 길이가 $2L$이므로 $T' = \sqrt{2}T$이다. 질량 변화는 주기에 영향을 주지 않는다.
④ X: T는 줄의 길이가 변하지 않을 때의 주기이다. 틀린 표현 T → 올바르게는 $\sqrt{2}T$이다.
따라서 정답은 3번이다.

NoteBase

오답 포인트

질량이 2배가 되었으므로 주기도 변한다고 생각하기 쉽다. 그러나 단진자 주기에는 질량이 없고, 길이는 그대로 비례하지 않고 제곱근으로 작용한다. 따라서 길이를 2배로 했을 때 $2T$가 아니라 $\sqrt{2}T$가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

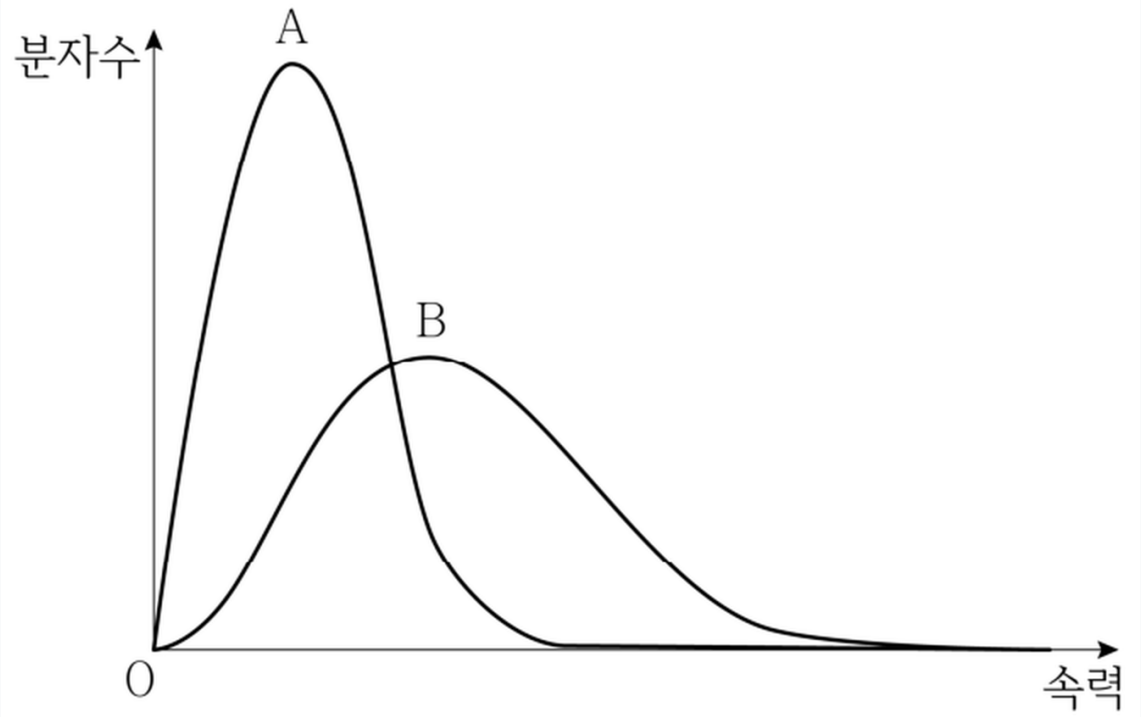
단진자 문제에서는 먼저 $T = 2\pi\sqrt{L/g}$에 질량이 없는지 확인하고, 길이 변화에는 제곱근을 적용한다.
중력가속도까지 변하면 $T \propto \sqrt{L/g}$의 비로 비교한다.

암기 포인트

단진자 주기: $T \propto \sqrt{L}$, 질량과 무관이다. 길이 4배이면 주기 2배이다.

NoteBase

문 4. 그림의 A와 B는 각각 이상기체의 상태가 변하기 전과 후에 대한 기체의 분자 속력 분포곡선이다. 기체의 상태 변화 후에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 상태 변화 시 기체의 총 분자수는 일정하다)



ㄱ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 상태 변화 전에 비해 감소한다.

ㄴ. 기체의 온도는 상태 변화 전에 비해 증가한다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지는 상태 변화 전에 비해 증가한다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄱ, ㄷ

④ ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

분자 속력 분포곡선에서 전체 면적은 총분자 수를 나타내며, 같은 면적에서 꼭짓점이 오른쪽으로 이동하고 곡선이 넓어지면 온도가 높아진다. 그림에서 A가 변화 전, B가 변화 후이므로 상태 변화 후 온도는 증가한다.

NoteBase

선지별 해설

① X: ㄱ만 고른 선택지이다. 온도에 비례하는 분자의 평균 운동 에너지는 상태 변화 후 감소하지 않고 증가한다. 틀린 표현 '감소한다' → 올바르게는 '증가한다'이다.
② X: ㄴ은 옳지만, ㄷ도 옳으므로 ㄴ만 고른 이 선택지는 정답이 아니다. 틀린 선택 조합 'ㄴ만' → 올바르게는 'ㄴ, ㄷ'이다.
③ X: ㄱ, ㄷ을 고른 선택지이다. ㄷ은 옳지만 ㄱ의 '평균 운동 에너지는 감소한다'가 틀리다. 평균 운동 에너지는 온도와 함께 증가하므로 올바른 조합은 ㄴ, ㄷ이다.
④ O: B는 A보다 분포의 중심이 더 큰 속력 쪽으로 이동한 고온 분포이다. 따라서 ㄴ의 온도 증가가 옳고, 이상기체는 총분자 수가 일정할 때 내부 에너지가 온도에 비례하므로 ㄷ의 내부 에너지 증가도 옳다.

오답 포인트

B의 최고점이 A보다 낮다는 사실을 평균 운동 에너지 감소로 오해하기 쉽다. 최고점의 높이는 분포가 넓어져 생긴 결과이고, 온도 판단은 분포가 더 큰 속력 쪽으로 이동했는지와 전체 면적이 같은지를 함께 보아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

총분자 수가 같을 때 곡선의 전체 면적이 같음을 먼저 확인한다. 이어서 분포가 오른쪽으로 이동하고 넓어지면 온도 증가로 판단하며, 평균 운동 에너지와 이상기체의 내부 에너지도 함께 증가한다고 판단한다.

암기 포인트

맥스웰 속력 분포는 오른쪽·넓게 갈수록 고온이고, 평균 운동 에너지와 내부 에너지도 커진다.

NoteBase

문 5. 질량이 2kg인 어떤 물체가 1C의 전하량으로 대전되어 한 지점에 정지해 있다. 이 물체가 16V만큼 전위차가 있는 다른 지점까지 이동할 때, 이동한 지점에서의 속력[m/s]은? (단, 전기력 이외에 물체에 미치는 다른 힘은 없다)

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 2번

출제 포인트

전위차를 지나는 전하의 전기적 위치에너지 변화가 운동에너지로 전환되는 원리를 이용하여 속력을 구하는 문제이다.

조건 정리

질량은 $m = 2kg$, 전하량은 $q = 1C$, 전위차의 크기는 $16V$이다. 처음에는 정지해 있으므로 처음 운동에너지는 0이다. 전기력 외의 힘이 없으므로 역학적 에너지가 보존된다.

사용할 공식

전위차에 따른 전기적 위치에너지 변화의 크기는 $|\Delta U| = q|\Delta V|$이고, 운동에너지는 K=12mv^2이다. 전기적 위치에너지가 감소한 만큼 운동에너지가 증가하므로 12mv^2=qΔ V를 사용한다.

계산 과정

전기적 위치에너지 감소량의 크기는 $q|\Delta V| = (1C)(16V) = 16J$이다. 따라서 12(2 kg)v^2=16 J이므로 $v^2 = 16m^2/s^2$, $v = 4m/s$이다.

선지 판단

① X: 계산된 속력은 $4m/s$이므로 $2m/s$는 맞지 않는다. 틀린 값 $2m/s$ → 올바르게는 $4m/s$이다.
② O: 전위차에 의해 얻는 운동에너지 16 J를 대입하면 속력은 $4m/s$가 된다.
③ X: 계산된 속력은 $4m/s$이므로 $8m/s$는 맞지 않는다. 틀린 값 $8m/s$ → 올바르게는 $4m/s$이다.
④ X: 계산된 속력은 $4m/s$이므로 $16m/s$는 맞지 않는다. 틀린 값 $16m/s$ → 올바르게는 $4m/s$이다.

오답 포인트

전위차 $16V$를 그대로 속력으로 보거나, $q\Delta V$로 얻은 에너지 16 J와 속력을 혼동하기 쉽다. 속력은 운동에너지 식 12mv^2에 다시 대입하여 구한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전하가 전위차를 지나며 전기력만 받을 때에는 먼저 $q|\Delta V|$로 에너지 변화를 구한 뒤, 이를 12mv^2와 같게 놓고 속력을 계산한다.

암기 포인트

전위차가 만드는 에너지는 $q\Delta V$, 속력은 12mv^2=qΔ V에서 구한다.

문 6. 선팽창 계수 $\alpha = 5.0 \times 10^{-3}/^\circ\mathrm{C}$인 막대의 길이가 $25\,^\circ\mathrm{C}$일 때 10cm라면, $125\,^\circ\mathrm{C}$일 때 길이[cm]는? (단, α는 온도와 무관하게 일정하다)

① 12

② 13

③ 14

④ 15

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 선팽창계수와 온도 변화를 이용하여 막대의 최종 길이를 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 길이는 $L_0 = 10cm$이다. 선팽창계수는 $\alpha = 5.0 \times 10^{-3}/^\circ C$이고, 온도 변화는 $\Delta T = 125 - 25 = 100\,^\circ C$이다. α가 온도와 무관하므로 주어진 값을 그대로 적용한다.

사용할 공식

선팽창한 뒤의 길이는 $L = L_0(1 + \alpha\Delta T)$이다. 온도가 변하면 길이 변화량이 $\Delta L = L_0\alpha\Delta T$이므로, 최종 길이는 초기 길이에 이 변화량을 더해 구한다.

계산 과정

$\alpha\Delta T = (5.0 \times 10^{-3})(100) = 0.5$이다. 따라서 $L = 10cm \times (1 + 0.5) = 15cm$이다.

선지 판단

① X: 계산 결과는 $15cm$이므로 $12cm$가 아니다. 틀린 표현 "12" → 올바르게는 "15"이다.
② X: 계산 결과는 $15cm$이므로 $13cm$이 아니다. 틀린 표현 "13" → 올바르게는 "15"이다.
③ X: 계산 결과는 $15cm$이므로 $14cm$이 아니다. 틀린 표현 "14" → 올바르게는 "15"이다.
④ O: $\alpha\Delta T = 0.5$이므로 길이는 초기 길이의 1.5배인 $15cm$가 된다.

오답 포인트

ΔT를 $125\,^\circ C$로 두는 실수가 흔하다. 선팽창에서는 최종 온도가 아니라 온도 변화 $125 - 25 = 100\,^\circ C$를 사용한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

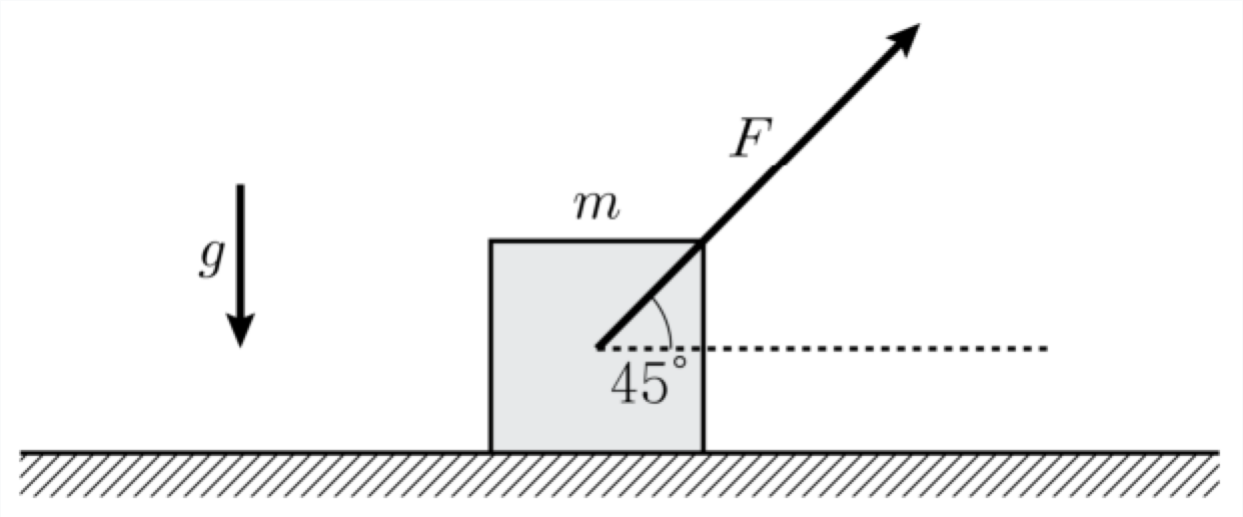
계산형 문제는 초기값 L_0, 온도 변화 ΔT, 계수 α를 먼저 정리한 뒤 $L = L_0(1 + \alpha\Delta T)$에 대입하여 단위를 검산한다.

암기 포인트

선팽창은 $\Delta L = L_0\alpha\Delta T$이며, 최종 길이는 $L_0 + \Delta L$이다.

NoteBase

문 7. 질량 m이 1kg인 물체가 지면과의 각도 45°를 이루는 $\sqrt{2}\,\mathrm{N}$ 크기의 힘 F에 의해 수평 방향으로 움직이고 있다. 물체와 바닥 사이의 운동 마찰계수는 0.1이다. 물체의 가속도 [$\mathrm{m/s^2}$]는? (단, 중력가속도 g는 $10\mathrm{m/s^2}$이고, 공기 저항은 무시한다)



① 0

② 0.1

③ 0.5

④ 1

정답 2번

출제 포인트

비스듬히 위로 당기는 힘이 작용할 때 수직항력과 운동 마찰력을 구한 뒤, 수평 방향의 알짜힘으로 가속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

질량은 $1kg$, 중력가속도는 $10m/s^2$, 운동 마찰계수는 0.1이다. 힘의 크기 $\sqrt{2}N$은 수평·수직 성분이 각각 $1N$이고, 물체는 수평 오른쪽으로 운동하므로 마찰력은 왼쪽으로 작용한다.

사용할 공식

수직 방향에는 가속도가 없으므로 $N + F_y - mg = 0$이다. 운동 마찰력의 크기는 $f_k = \mu_k N$, 수평 방향 운동 방정식은 $F_x - f_k = ma$이다. 힘의 위쪽 성분이 수직항력을 감소시키므로 N을 먼저 구해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. $F_x = F_y = \sqrt{2}\cos 45^\circ = 1N$이다.
2. $N = mg - F_y = 10N - 1N = 9N$이다.
3. $f_k = 0.1 \times 9N = 0.9N$이고, $ma = 1N - 0.9N = 0.1N$이다. 따라서 $a = 0.1m/s^2$이다.

선지 판단

① X: $0m/s^2$는 수평 힘과 마찰력이 같을 때의 값이다. 여기서는 위쪽 힘 성분 때문에 $N = 9N$으로 줄어 마찰력이 $0.9N$이므로 알짜힘이 남는다. 틀린 표현 $0m/s^2$ → 올바르게는 $0.1m/s^2$이다.
② O: 수평 알짜힘이 $0.1N$, 질량이 $1kg$이므로 가속도는 $0.1m/s^2$이다.
③ X: $0.5m/s^2$가 되려면 수평 알짜힘이 $0.5N$이어야 하나, 실제 마찰력은 $0.9N$이다. 틀린 표현 $0.5m/s^2$ → 올바르게는 $0.1m/s^2$이다.
④ X: $1m/s^2$는 마찰력을 전혀 빼지 않고 수평 힘 $1N$만 사용한 값이다. 틀린 표현 $1m/s^2$ → 올바르게는 $0.1m/s^2$이다.

오답 포인트

④처럼 수평 성분 $1N$만으로 계산하면 마찰력을 빠뜨리게 된다. 반대로 ①처럼 수직항력을 mg로 두면, 위쪽 성분 $1N$이 마찰력을 줄이는 효과를 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

경사진 외력이 있는 수평면 문제는 힘을 수평·수직 성분으로 나눈다. 이어 수직 평형으로 N을 구하고, $f_k = \mu_k N$을 적용한 뒤 수평 알짜힘을 ma와 같게 둔다.

암기 포인트

위로 당기면 N과 마찰력이 감소하고, 아래로 누르면 N과 마찰력이 증가한다.

NoteBase

문 8. 반지름이 r이고 질량이 m인 밀도가 균일한 물체가 수평 바닥면에서부터 경사면으로 미끄러짐 없이 굴러 올라가고 있다. 수평 바닥 면에서 물체의 질량중심 속력은 v이며, 물체는 경사면을 따라 연직높이 $h = v^2/g$ 만큼 굴러 올라가 정지상태에 도달하였다. 이 물체의 회전관성은? (단, g는 중력가속도이고, 공기 저항은 무시한다)

① $\frac{2}{5}mr^2$

② $\frac{1}{2}mr^2$

③ $\frac{2}{3}mr^2$

④ mr^2

정답 4번

출제 포인트

구름 운동의 역학적 에너지 보존을 이용하여 물체의 회전관성 I를 구하는 문제이다.

조건 정리

수평면에서 질량중심 속도는 v이고, 미끄러짐 없이 구르므로 $\omega = v/r$이다. 물체는 연직 높이 $h = v^2/g$까지 올라가 정지하므로 증가한 중력 위치에너지는 $mgh = mv^2$이다.

사용할 공식

처음의 운동에너지와 최고점의 위치에너지를 같게 둔다.

12mv^2+12Iω^2=mgh

미끄러짐이 없으므로 $\omega = v/r$를 대입한다. 중력과 접촉면의 정지 마찰력은 이 과정에서 전체 역학적 에너지를 변화시키지 않는다.

계산 과정

$h = v^2/g$, $\omega = v/r$를 에너지식에 대입하면

12mv^2+12I≤ft((v)/(r))^2=mg≤ft((v^2)/(g))=mv^2

양변을 $v^2/2$로 나누면

$m + \frac{I}{r^2} = 2m$

따라서 $I = mr^2$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: I=25mr^2이면 전체 운동에너지는 $\frac{7}{10}mv^2$이므로 도달 높이는 $\frac{7}{10}v^2/g$이다. 제시된 높이 v^2/g와 맞지 않는다. 틀린 값 25mr^2 → 올바르게는 mr^2이다.
② X: I=12mr^2이면 도달 높이는 34v^2/g이다. 틀린 값 12mr^2 → 올바르게는 mr^2이다.
③ X: I=23mr^2이면 도달 높이는 56v^2/g이다. 틀린 값 23mr^2 → 올바르게는 mr^2이다.
④ O: $I = mr^2$이면 병진 운동에너지와 회전 운동에너지가 각각 12mv^2이어서 합이 mv^2이다. 이는 $mgh = mv^2$와 일치한다.

오답 포인트

$h = v^2/g$를 병진 운동에너지 12mv^2만으로 처리하면 회전 운동에너지를 빠뜨린다. 이 경우 필요한 총 운동에너지가 mv^2이므로 회전 운동에너지도 12mv^2이어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

구름 운동에서는 먼저 $\omega = v/r$를 세운 뒤, 12mv^2+12Iω^2=mgh에 대입하여 병진·회전 에너지를 함께 비교한다.

암기 포인트

미끄럼 없는 구름 운동: $\omega = v/r$, 전체 운동에너지 = 병진 + 회전이다.

NoteBase

문 9. 마찰이 없는 평면에서 용수철에 달린 물체가 진동주기가 4초인 단순조화 운동을 하고 있다. 어떤 시간 t_0 초에서 물체의 위치와 속력은 각각 42cm, 0m/s이고, $(t_0 + 1)$초에서 물체의 위치는 38cm였다. $(t_0 + 2)$초에서 물체의 위치[cm]와 속력[m/s]을 바르게 연결한 것은?

① 위치: 34, 속력: 0

② 위치: 34, 속력: 2π

③ 위치: 42, 속력: 0

④ 위치: 42, 속력: 2π

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 단순조화운동에서 정지한 순간이 진폭의 양끝점이며, 주기의 1/4마다 위치와 속력이 어떻게 변하는지를 이용하는 문제이다.

조건 정리

진동주기는 $T = 4s$이다. t_0에서 위치는 42 cm이고 속력은 0 m/s이므로 물체는 한쪽 끝점에 있다.
$t_0 + 1s = T/4$에서의 위치 38 cm는 평형 위치이다. 따라서 진폭은 $42 - 38 = 4cm$이다.

사용할 공식

각진동수는 $\omega = \frac{2\pi}{T}$이고, 단순조화운동에서는 끝점에서 속력이 0이며 평형 위치에서 속력이 최대이다. 주기의 절반 $T/2$ 뒤에는 반대쪽 끝점에 도달한다. 이 원리를 쓰는 이유는 t_0에서 속력이 0인 조건이 끝점을, 1초 뒤의 위치가 주기의 1/4 뒤 평형 위치를 뜻하기 때문이다.

계산 과정

1. $t_0 + 1s$는 $T/4$ 뒤이므로 위치 38 cm가 평형 위치이다.
2. $t_0 + 2s$는 $T/2$ 뒤이므로, 42 cm의 반대쪽 끝점으로 이동한다.
3. 반대쪽 끝점의 위치는 $38 - 4 = 34cm$이고, 끝점에서는 순간적으로 방향이 바뀌므로 속력은 $0m/s$이다.

선지 판단

① O: $t_0 + 2s = T/2$ 뒤의 위치는 34 cm이고, 반대쪽 끝점이므로 속력은 $0m/s$이다.
② X: 위치 34 cm는 맞지만 속력이 $2\pi m/s$일 수 없다. 틀린 표현 '속력 $2\pi m/s$' → 올바르게는 끝점에서 속력은 $0m/s$이다.
③ X: $t_0 + 2s$에는 반대쪽 끝점인 34 cm에 있다. 틀린 표현 '위치 42 cm' → 올바르게는 위치는 34 cm이다.
④ X: 위치와 속력이 모두 틀렸다. 틀린 표현 '위치 42 cm, 속력 $2\pi m/s$' → 올바르게는 위치 34 cm, 속력 $0m/s$이다.

NoteBase

오답 포인트

1초 뒤의 38 cm를 진폭 위치로 오해하면 안 된다. $T/4$ 뒤에는 끝점에서 평형 위치로 이동하므로 38 cm는 평형 위치이다. 또한 속력이 최대가 되는 곳은 평형 위치이지 끝점이 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

단순조화운동에서 속력이 0인 시각을 먼저 끝점으로 정한다. 이어서 $T/4$ 뒤는 평형 위치, $T/2$ 뒤는 반대쪽 끝점이라는 순서로 위치를 판단하고, 끝점의 속력은 0으로 검산한다.

암기 포인트

끝점 → $T/4$ 뒤 평형 위치 → $T/2$ 뒤 반대쪽 끝점, 끝점의 속력은 0이다.

NoteBase

문 10. 어떤 열기관은 일률과 열효율이 각각 5kW, 20%이고, 한 순환과정 동안 4.8kJ의 열을 방출한다. 한 순환과정 동안 이 기관이 고열원에서 흡수한 열 Q[kJ]와 걸린 시간 T[초]를 바르게 연결한 것은?

① Q: 6, T: 0.24

② Q: 6, T: 0.96

③ Q: 1.2, T: 0.24

④ Q: 1.2, T: 0.96

정답 1번

출제 포인트

열기관의 열효율과 한 순환에서의 에너지 보존을 이용하여 고열원에서 흡수한 열과 순환 시간을 구하는 문제이다.

조건 정리

일률은 $5kW = 5kJ/s$이다.
열효율은 $20\% = 0.20$이다.
한 순환 동안 방출한 열은 $Q_c = 4.8kJ$이다.
구할 값은 고열원에서 흡수한 열 Q_h와 한 순환 시간 T이다.

사용할 공식

열기관에서는 $\eta = W/Q_h$, $Q_h = W + Q_c$이므로 $Q_c = (1 - \eta)Q_h$가 성립한다.
일률은 단위 시간당 일의 양이므로 $P = W/T$를 사용한다. 주어진 일률과 한 순환당 방출열로부터 먼저 한 순환당 흡수열과 일을 구한 뒤 시간을 구할 수 있다.

계산 과정

1. $Q_c = (1 - \eta)Q_h$에 $Q_c = 4.8kJ$, $\eta = 0.20$을 대입하면 $4.8 = 0.80Q_h$이다. 따라서 $Q_h = 6kJ$이다.
2. 한 순환에서 한 일은 $W = \eta Q_h = 0.20 \times 6 = 1.2kJ$이다.
3. $P = W/T$이므로 $T = W/P = 1.2kJ/(5kJ/s) = 0.24s$이다.

NoteBase

선지 판단

① O. $Q_h = 6kJ$, $T = 0.24s$로 계산 결과와 일치한다.
② X. $Q_h = 6kJ$는 맞지만 $T = 0.96s$가 틀리다. $0.96s$ → 올바르게는 $0.24s$이다. $P = W/T$에서 일률을 잘못 적용하면 이와 같이 시간이 커질 수 있다.
③ X. $T = 0.24s$는 맞지만 $Q = 1.2kJ$가 틀리다. $1.2kJ$ → 올바르게는 고열원 흡수열 $Q_h = 6kJ$이다. $1.2kJ$는 흡수열이 아니라 한 순환에서 기관이 한 일 W이다.
④ X. $Q = 1.2kJ$, $T = 0.96s$가 모두 틀리다. $Q \rightarrow Q_h = 6kJ$, $T \rightarrow 0.24s$가 된다.

오답 포인트

③과 ④의 $1.2kJ$는 열기관이 한 일 W인데, 이를 고열원에서 흡수한 열 Q_h로 혼동하기 쉽다. 흡수열은 일과 방출열의 합이므로 $6kJ$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

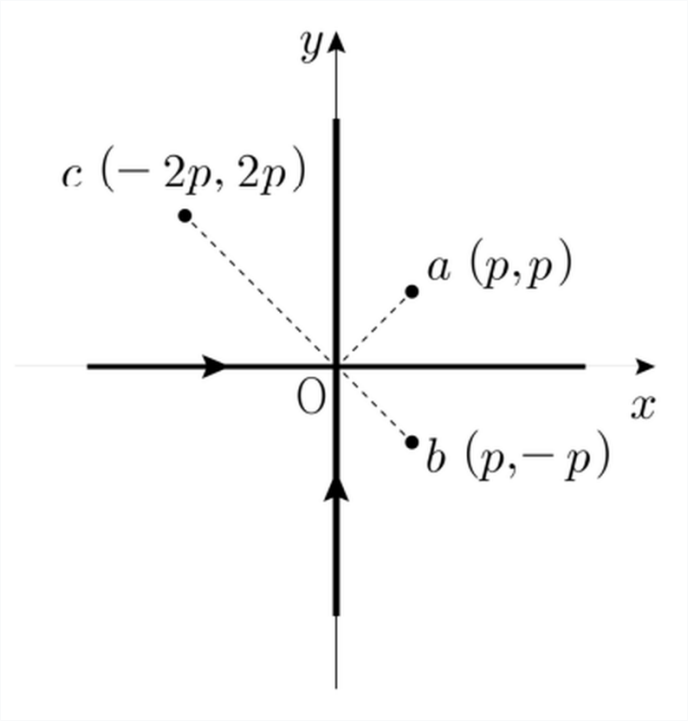
열기관 계산에서는 먼저 $Q_c = (1 - \eta)Q_h$로 흡수열을 구하고, $W = \eta Q_h$로 일을 구한 다음, $T = W/P$로 시간을 구한다. 열량과 일을 서로 다른 물리량으로 구분해 단위를 kJ, kJ/s, s로 검산한다.

암기 포인트

열기관은 $Q_h = W + Q_c$, 일률은 $P = W/T$이다.

NoteBase

문 11. 두께를 무시할 수 있는 무한히 긴 절연된 두 도선이 한 평면에서 서로 수직인 상태에 놓여 있다. 두 도선에는 0이 아닌 같은 크기의 전류가 화살표 방향으로 흐른다. 그림의 점 a, 점 b, 점 c에서 자기장의 크기를 각각 B_a, B_b, B_c라 하면, 이들 사이의 관계를 바르게 표현한 것은?



① $B_a = 0,\ B_b = \sqrt{2}B_c$

② $B_a = 0,\ B_b = 2B_c$

③ $B_a = B_b = \sqrt{2}B_c$

④ $B_a = B_b = 2B_c$

정답 2번

출제 포인트

서로 수직인 두 무한 직선 도선이 만드는 자기장을 중첩하여 각 점의 자기장 크기를 비교하는 문제이다.

조건 정리

두 도선에는 같은 전류 I가 각각 $+x$축과 $+y$축 방향으로 흐른다. 점의 좌표는 $a = (p, p)$, $b = (p, -p)$, $c = (-2p, 2p)$이다. 두 도선이 만드는 자기장은 모두 종이 면에 수직인 방향이므로, 방향을 포함하여 대수적으로 더한다.

NoteBase

사용할 공식

무한 직선 도선에서 거리 r인 곳의 자기장 크기는 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$이다. $+x$축 도선은 점의 y좌표에 따라, $+y$축 도선은 점의 x좌표에 따라 자기장 방향이 달라진다. 따라서 두 자기장의 크기만 더하지 않고 오른손 법칙으로 부호를 정해 중첩한다.

계산 과정

$K = \frac{\mu_0 I}{2\pi}$라 두면, $+x$축 도선의 자기장은 $K\frac{y}{x^2+y^2}$, $+y$축 도선의 자기장은 $-K\frac{x}{x^2+y^2}$에 비례한다. 따라서 합성 자기장은 $B_z = K\frac{y-x}{x^2+y^2}$.

점 a에서는 $y - x = 0$이므로 $B_a = 0$이다.

점 b에서는 $|B_b| = K\left|\frac{-p-p}{p^2+p^2}\right| = \frac{K}{p}$이다.

점 c에서는 $|B_c| = K\left|\frac{2p-(-2p)}{(-2p)^2+(2p)^2}\right| = \frac{K}{2p}$이다.

따라서 $B_b = 2B_c$이다.

선지 판단

① X: $B_a = 0$은 맞지만 $B_b = \sqrt{2}B_c$가 틀리다. 계산 결과 $B_b = 2B_c$이다. $\sqrt{2}$는 두 도선까지의 거리가 $\sqrt{2}p$인 사실만 보고 각 도선의 자기장을 따로 비교할 때 생기는 오답이다.

② O: 점 a에서는 두 도선의 자기장 방향과 크기가 같아 상쇄되어 $B_a = 0$이고, $B_b = 2B_c$이다.

③ X: $B_a = B_b$라는 표현이 틀리다. $B_a = 0$, $B_b = 2B_c$이므로 올바르게는 $B_a = 0,\ B_b = 2B_c$이다.

④ X: $B_a = B_b$라는 표현이 틀리다. $B_b = 2B_c$는 맞지만 $B_a = 0$이므로 올바르게는 $B_a = 0,\ B_b = 2B_c$이다.

오답 포인트

점 a는 두 도선까지의 거리가 같다는 사실만으로 판단하면 안 된다. 두 도선이 만드는 자기장의 방향이 서로 반대이므로 정확히 상쇄된다. 또한 ①의 $\sqrt{2}$는 도선까지의 거리만 비교하고 두 자기장의 중첩을 빠뜨린 결과이다.

다시 나오면 이렇게 판단

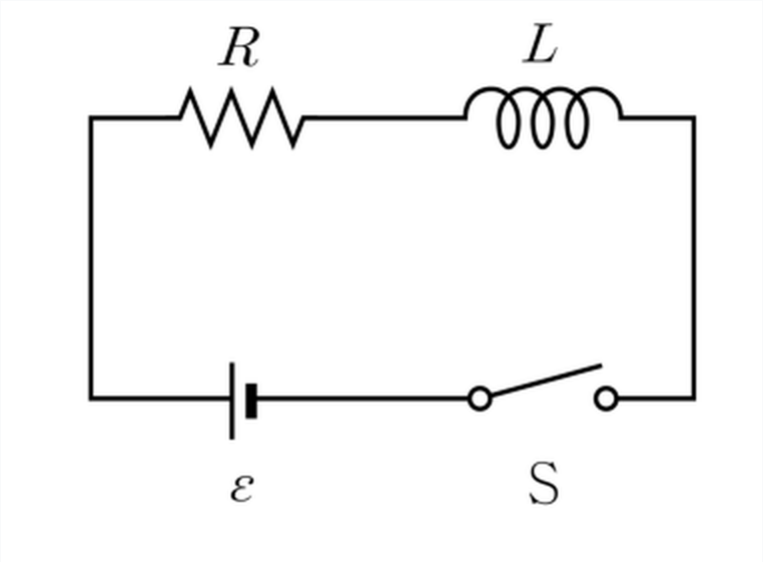
각 도선에 대해 먼저 오른손 법칙으로 자기장 방향을 정하고, $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$로 크기를 구한 뒤 같은 방향이면 더하고 반대 방향이면 뺀다. 좌표 문제에서는 각 도선까지의 수직거리도 따로 확인한다.

암기 포인트

무한 직선 도선의 자기장은 $1/r$에 비례하고, 여러 도선의 자기장은 방향까지 포함해 중첩한다.

NoteBase

문 12. 그림은 기전력 ε인 직류 전원, 저항값 R인 저항, 인덕턴스 L인 코일을 스위치 S에 연결하여 만든 회로를 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, S를 닫기 전 코일에 흐르는 전류는 0이고, 회로에서 저항값은 R만 고려한다)



ㄱ. S를 닫은 직후, 회로에는 반시계방향으로 전류가 흐른다.
ㄴ. S를 닫아 전류가 평형값에 도달한 후, 저항에 걸리는 전압의 크기는 ε이다.
ㄷ. S를 닫아 전류가 평형값에 도달한 회로에서 S를 연 후, 전류가 평형값에서 반으로 줄어들 때까지 걸리는 시간은 R이 커질수록 길어진다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

직류 RL 직렬회로에서 스위치를 닫은 뒤의 전류 변화, 정상상태에서의 전압 분배, 그리고 시정수를 판단하는 문제이다.

조건 정리

회로의 저항은 R뿐이고, 스위치를 닫기 전 코일 전류는 0이다. 전지는 긴 선 쪽이 양극이므로, 스위치를 닫은 뒤 정상상태 전류의 방향은 회로를 시계방향으로 도는 방향이다.

NoteBase

사용할 공식

스위치를 닫아 전류가 증가할 때 $i(t)=\frac{\varepsilon}{R}(1-e^{-Rt/L})$이다. 정상상태에서는 $i_\infty=\frac{\varepsilon}{R}$이고, 전류가 감소하는 RL 회로의 시정수는 $\tau=\frac{L}{R}$이다. 인덕터는 전류의 급격한 변화를 막으므로 $i(0^+)=i(0^-)=0$이다.

계산 과정

스위치를 닫은 직후에는 $i=0$이므로 전류가 곧바로 반시계방향으로 흐른다고 할 수 없다. 시간이 충분히 지나면 인덕터의 전압은 0이 되어 $V_R=i_\infty R=(\varepsilon/R)R=\varepsilon$이다. 전류 감소 시 반감시간은 $t_{1/2}=\tau\ln 2=\frac{L}{R}\ln 2$이므로 R이 클수록 짧아진다.

선지 판단

① X: ㄱ은 거짓이므로 ①은 옳지 않다. ㄱ의 'S를 닫은 직후, 반시계방향으로 전류가 흐른다'가 틀렸다. 닫은 직후 전류는 0이고, 이후 전류는 시계방향으로 증가한다.
② O: ㄴ만 옳다. 정상상태에서는 인덕터가 도선처럼 작용하여 전류가 ε/R이고, 저항 전압은 ε이다.
③ X: ㄱ과 ㄷ이 모두 거짓이므로 ③은 옳지 않다. ㄱ은 닫은 직후 전류가 0이라는 점에서 틀리고, ㄷ의 'R이 커질수록 길어진다'는 표현도 틀리다. 올바르게는 R이 클수록 반감시간이 짧아진다.
④ X: ㄴ은 옳지만 ㄷ이 거짓이므로 ④는 옳지 않다. ㄷ은 $t_{1/2}=\frac{L}{R}\ln 2$에서 알 수 있듯 'R이 커질수록 짧아진다'로 고쳐야 한다.

오답 포인트

ㄱ에서는 전지의 극성만 보고 전류 방향을 정하면 안 된다. 인덕터 때문에 닫은 직후 전류는 0이다. ㄷ에서는 시정수 L/R를 R/L로 뒤집어 생각하면 저항이 커질수록 시간이 길어진다고 오판한다.

다시 나오면 이렇게 판단

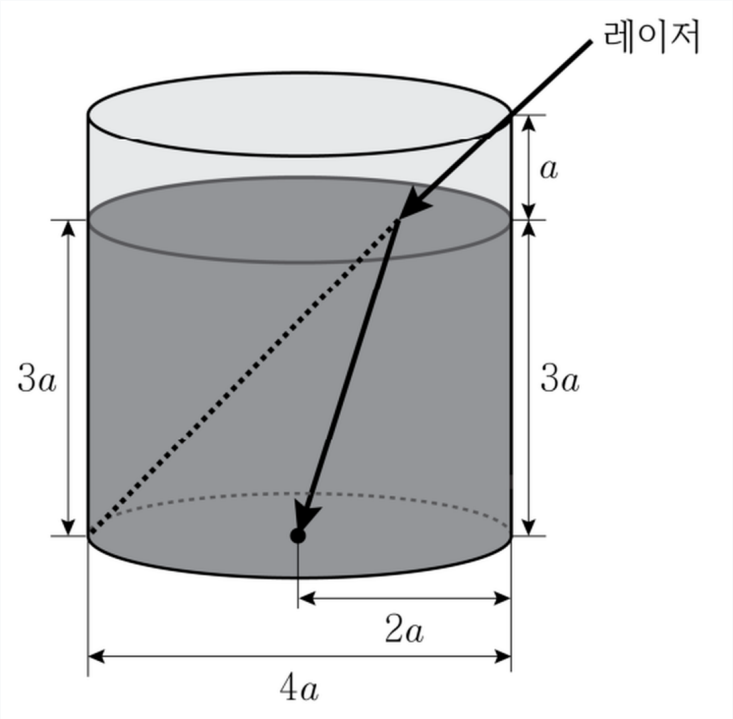
RL 회로는 먼저 직후와 정상상태를 분리한다. 직후에는 전류 연속성으로 기존 전류를 유지하고, 정상상태에서는 인덕터 전압을 0으로 둔다. 시간 변화는 $\tau=L/R$의 R의 위치를 확인해 판단한다.

암기 포인트

RL 회로: 직후 전류 유지, 정상상태 코일은 도선, 시정수는 L/R이다.

NoteBase

문 13. 그림과 같이 높이와 지름이 $4a$로 같은 빈 원통형 용기의 위쪽 모서리와 바닥 모서리에 동시에 접하도록 비스듬하게 레이저 빛을 쏜다. 이 용기에 어떤 용액을 $3a$ 높이만큼 채우자 레이저 빛이 용액 표면에서 굴절하여 용기 바닥의 중심에 도달하였다면 이 용액의 굴절률은? (단, 공기의 굴절률은 1이다)



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

정답 4번

출제 포인트

원통의 지름과 높이로 빛의 진행 방향을 정하고, 액면에서 스넬 법칙을 적용하여 용액의 굴절률을 구하는 문제이다.

조건 정리

원통의 높이와 지름은 모두 $4a$이고, 반지름은 $2a$이다. 용액의 높이는 $3a$이므로 액면 위 공기층의 높이는 a이다. 빛은 위쪽 모서리에서 반대쪽 바닥 모서리로 향하는 직선 방향으로 입사하며, 액면을 지난 뒤 바닥 중심에 도달한다.

NoteBase

사용할 공식

스넬 법칙은 $n_{\text{air}}\sin i = n_{\text{liq}}\sin r$이다. 여기서 i와 r는 모두 액면의 법선인 수직선과 빛이 이루는 각이다. 공기의 굴절률이 1이므로 $n_{\text{liq}} = \sin i / \sin r$가 된다.

계산 과정

1. 위쪽 모서리와 반대쪽 바닥 모서리의 수평 거리는 지름 $4a$, 수직 거리는 높이 $4a$이다. 따라서 공기 중 빛은 수평선과 45°를 이루며, 법선 기준 입사각도 $i = 45^\circ$이다.
2. 액면은 바닥에서 $3a$ 높이에 있다. 공기 중 빛이 액면에 닿는 점은 중심에서 수평으로 a만큼 떨어져 있고, 그 점에서 바닥 중심까지는 수평 거리 a, 수직 거리 $3a$이다. 따라서 $\tan r = a/(3a) = 1/3$이다.
3. $\tan r = 1/3$인 직각삼각형의 빗변은 $\sqrt{10}$이므로 $\sin r = 1/\sqrt{10}$이다. 또한 $\sin i = \sin 45^\circ = 1/\sqrt{2}$이다.
4. 따라서 $n_{\text{liq}} = (1/\sqrt{2})/(1/\sqrt{10}) = \sqrt{5}$이다.

선지 판단

① X. 굴절률은 $\sqrt{2}$가 아니다. 스넬 법칙에 필요한 굴절각은 45°가 아니라 $\tan r = 1/3$으로부터 구하며, 올바른 값은 $\sqrt{5}$이다.
② X. 굴절률은 $\sqrt{3}$이 아니다. 용액 안에서의 수평 이동 거리 a와 수직 이동 거리 $3a$를 이용하면 $\sin r = 1/\sqrt{10}$이므로, 올바른 값은 $\sqrt{5}$이다.
③ X. 굴절률은 2가 아니다. 입사각과 굴절각을 모두 법선 기준으로 적용하면 $n = \sqrt{5}$가 되므로, 올바르게는 $\sqrt{5}$이다.
④ O. $n_{\text{liq}} = \sqrt{5}$이므로 옳다.

오답 포인트

공기 중 빛의 45°를 용액 속 굴절각으로 그대로 쓰는 것이 함정이다. 굴절각은 액면부터 바닥 중심까지의 수평 거리 a, 수직 거리 $3a$로 새로 구해야 한다. 또한 각도는 액면이 아니라 법선 기준으로 사용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

굴절 문제가 입체 용기 그림으로 주어지면 먼저 빛의 경로가 들어 있는 단면을 잡는다. 각 매질에서 수평 이동 거리와 수직 이동 거리를 구해 법선 기준 각도의 사인값을 만든 뒤, $n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$를 적용한다.

암기 포인트

수평면에서의 굴절은 수직 법선 기준으로 각을 재고, $n\sin\theta$가 양쪽 매질에서 같다.

NoteBase

문 14. 편광축이 서로 수직인 두 개의 편광판 P_1, P_2에 편광되지 않은 빛이 P_1을 통과하여 P_2로 입사하고 있다. 또 다른 편광판 P_m을 편광축이 P_1의 편광축과 θ의 각도를 이루도록 두 편광판 사이에 놓을 때, P_2를 통과한 빛의 세기가 가장 크기 위한 θ[rad]는? (단, 이 빛은 모든 편광판에 수직으로 입사한다)

① 0
② $\frac{1}{8}\pi$
③ $\frac{1}{4}\pi$
④ $\frac{1}{2}\pi$

정답 3번

출제 포인트

서로 수직인 두 편광판 사이에 편광판을 하나 넣을 때, 말뤼스 법칙을 두 번 적용하여 최종 투과 세기가 최대가 되는 각도를 구하는 문제이다.

조건 정리

입사광의 세기를 I_0라 하면, 자연광이 P_1을 지난 뒤의 세기는 $I_0/2$이다. P_m의 편광축은 P_1과 θ를 이루고, P_2의 편광축은 P_1과 수직이므로 P_m과 P_2 사이의 각은 $\pi/2-\theta$이다.

사용할 공식

편광된 빛이 편광축과 ϕ를 이루는 편광판을 지날 때 말뤼스 법칙은 $I=I_{\text{in}}\cos^2\phi$이다. P_1을 지난 빛은 P_m과 P_2를 연속해서 통과하므로 이 공식을 각각의 편광판에 적용한다.

계산 과정

1. P_m을 지난 세기는 $I_1=(I_0/2)\cos^2\theta$이다.
2. P_2를 지날 때의 축 사이 각은 $\pi/2-\theta$이므로 최종 세기는 $I=(I_0/2)\cos^2\theta\cos^2(\pi/2-\theta)$이다.
3. $\cos(\pi/2-\theta)=\sin\theta$이므로 $I=(I_0/2)\sin^2\theta\cos^2\theta=(I_0/8)\sin^2(2\theta)$이다. $\sin^2(2\theta)$의 최댓값은 1이므로 $2\theta=\pi/2$, 즉 $\theta=\pi/4$에서 세기가 최대이다.

NoteBase

선지 판단

① X. $\theta = 0$이면 P_m과 P_1의 축은 같지만 P_m과 P_2의 축은 수직이어서 최종 세기는 0이다. 틀린 표현 $\theta = 0 \rightarrow$ 올바르게는 $\theta = \pi/4$이다.
② X. $\theta = \pi/8$이면 $I = (I_0/8)\sin^2(\pi/4) = I_0/16$으로 최대값 $I_0/8$보다 작다. 틀린 표현 $\theta = \pi/8 \rightarrow$ 올바르게는 $\theta = \pi/4$이다.
③ O. $\theta = \pi/4$이면 두 인접 편광판의 축 사이 각이 모두 $\pi/4$가 되어 $I = I_0/8$로 최대이다.
④ X. $\theta = \pi/2$이면 P_m은 P_1과 수직이므로 P_m에서 빛이 전혀 통과하지 못한다. 틀린 표현 $\theta = \pi/2 \rightarrow$ 올바르게는 $\theta = \pi/4$이다.

오답 포인트

"두 편광판 사이 각이 작을수록 투과가 잘 된다"고 한 단계만 보는 것이 함정이다. P_m을 P_1에 가깝게 두면 다음 P_2와의 각이 커지므로, 두 투과율의 곱을 함께 최대화해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

여러 편광판 문제에서는 앞 편광판을 지난 세기를 먼저 구하고, 인접한 편광축 사이의 각마다 말뤼스 법칙을 차례로 곱한다. 마지막에는 삼각함수 항의 최댓값이 1이 되는 조건을 찾는다.

암기 포인트

수직인 두 편광판 사이의 중간 편광판은 정확히 중간 각도인 $45^\circ = \pi/4$에 둘 때 투과 세기가 최대이다.

NoteBase

문 15. 운동하고 있는 어떤 중성자의 전체 에너지가 정지에너지(질량에너지)의 3배라고 한다. 이 중성자의 운동 에너지가 2배가 되면 운동량은 몇 배가 되는가? (단, 모든 퍼텐셜 에너지는 무시한다)

① $\sqrt{2}$
② $\sqrt{3}$
③ $2\sqrt{2}$
④ $2\sqrt{6}$

정답 2번

출제 포인트

상대론적 에너지-운동량 관계를 이용하여 운동 에너지가 두 배가 될 때 운동량의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

처음 전체 에너지는 $E = 3mc^2$이다.
처음 운동 에너지는 $K = E - mc^2 = 2mc^2$이다.
운동 에너지가 두 배이면 $K' = 4mc^2$이고, 그때 전체 에너지는 $E' = K' + mc^2 = 5mc^2$이다.

사용할 공식

상대론적 에너지와 운동량 사이에는 $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$가 성립한다. 전체 에너지가 주어졌으므로 이 식에서 운동량을 구한다.

계산 과정

처음에는 $(3mc^2)^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$이므로 $p = 2\sqrt{2}mc$이다.
운동 에너지가 두 배일 때는 $(5mc^2)^2 = (p'c)^2 + (mc^2)^2$이므로 $p' = 2\sqrt{6}mc$이다.
따라서 $\frac{p'}{p} = \frac{2\sqrt{6}mc}{2\sqrt{2}mc} = \sqrt{3}$이다.

선지 판단

① X. 운동량은 $\sqrt{2}$배가 아니다. 틀린 표현 $\sqrt{2}$배 → 올바르게는 $\sqrt{3}$배이다.
② O. 계산한 운동량의 비가 $\sqrt{3}$이므로 옳다.
③ X. 운동량은 $2\sqrt{2}$배가 아니다. 틀린 표현 $2\sqrt{2}$배 → 올바르게는 $\sqrt{3}$배이다.
④ X. 운동량은 $2\sqrt{6}$배가 아니다. 틀린 표현 $2\sqrt{6}$배 → 올바르게는 $\sqrt{3}$배이다. $2\sqrt{6}$은 최종 운동량 p'의 계수이며, 처음 운동량과의 비가 아니다.

NoteBase

오답 포인트

처음 전체 에너지 $3mc^2$를 운동 에너지로 바로 취급하면 안 된다. 운동 에너지는 전체 에너지에서 정지에너지 mc^2를 뺀 값이며, $2\sqrt{6}$은 운동량 자체의 계수이지 운동량 변화 비가 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

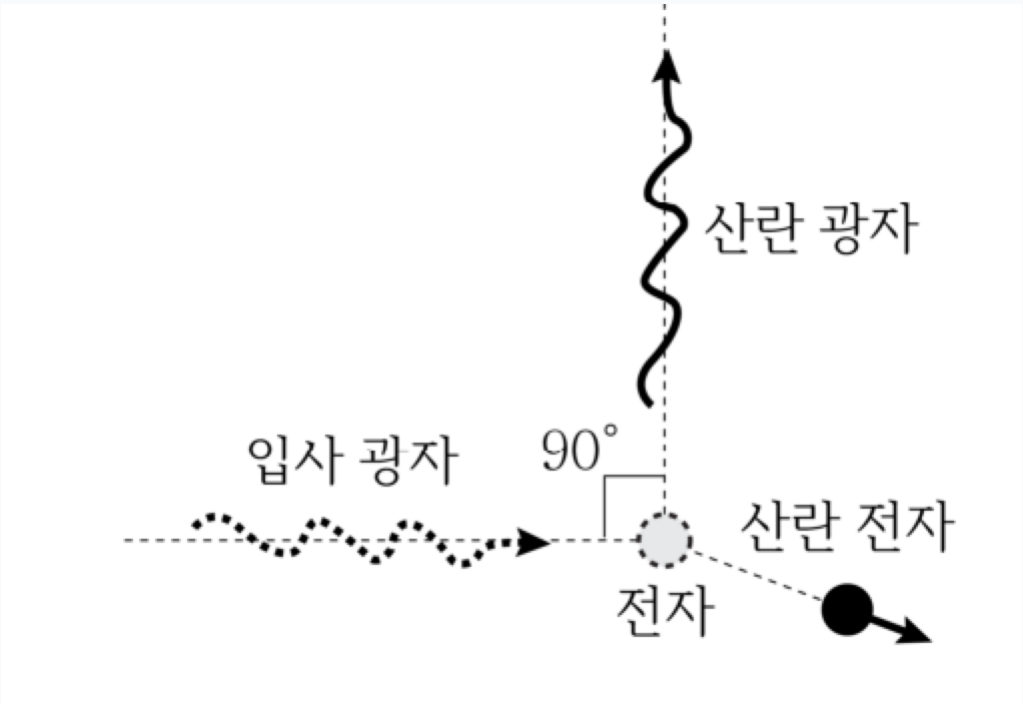
상대론 문제에서는 먼저 $K = E - mc^2$로 운동 에너지를 전체 에너지로 바꾼 뒤, $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$에 대입하여 처음과 나중의 운동량을 각각 구하고 비를 계산한다.

암기 포인트

상대론적 전체 에너지는 $E = K + mc^2$이며, 운동량은 $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2$로 구한다.

NoteBase

문 16. 파장이 12pm인 X선 광자가 진공에서 정지해 있던 전자와 상호작용하여 그림과 같이 수직으로 산란되었다. 산란된 X선 광자의 파장[pm]은? (단, $\frac{h}{m_e c} = 2.4\text{pm}$이고, h는 플랑크 상수, m_e는 전자의 정지질량, c는 빛의 속력이다)



① 9.6

② 12

③ 13.2

④ 14.4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 광자의 콤프턴 산란에서 산란각이 90 °일 때의 파장 변화량을 구하는 문제이다.

조건 정리

입사 X선의 파장은 $\lambda = 12pm$이고, 산란각은 $\theta = 90\,^\circ$이다. 또한 $h/(m_e c) = 2.4pm$이다. 구할 값은 산란 X선의 파장 λ'이다.

사용할 공식

콤프턴 산란의 파장 변화는 $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$이다. 전자가 처음 정지해 있고 광자가 산란하므로, 광자가 전자에 에너지를 주어 파장이 길어지는 콤프턴 산란 공식을 적용한다.

NoteBase

계산 과정

$\theta = 90^\circ$이므로 $\cos 90^\circ = 0$이다. 따라서 $\lambda' - 12pm = 2.4pm(1-0) = 2.4pm$이므로 $\lambda' = 14.4pm$이다.

선지 판단

① X: 9.6 pm은 입사 파장에서 2.4 pm을 뺀 값이다. 산란 광자의 파장은 줄어들지 않으며, 제시값 9.6 pm → 올바르게는 14.4 pm이다.
② X: 12 pm은 파장 변화가 없다고 본 값이다. 이는 $\theta = 0^\circ$일 때에 해당하며, 90° 산란에서는 2.4 pm만큼 증가한다. 제시값 12 pm → 올바르게는 14.4 pm이다.
③ X: 13.2 pm은 파장 증가량을 1.2 pm으로 잘못 계산한 값이다. $1 - \cos 90^\circ = 1$이므로 증가량은 2.4 pm이다. 제시값 13.2 pm → 올바르게는 14.4 pm이다.
④ O: 콤프턴 이동량이 2.4 pm이므로 $12pm + 2.4pm = 14.4pm$이다.

오답 포인트

산란각 90°에서 $1 - \cos\theta$를 0으로 두면 ②처럼 파장 변화가 없다는 오답이 나온다. 전자에 에너지를 전달한 광자는 에너지가 감소하므로 파장이 증가한다.

다시 나오면 이렇게 판단

콤프턴 산란 문제는 $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$에 산란각을 먼저 대입해 파장 변화량을 구한 뒤, 그 값을 입사 파장에 더해 판단한다.

암기 포인트

콤프턴 산란은 $\theta = 0^\circ$이면 변화량 0, $\theta = 90^\circ$이면 $h/(m_e c)$, $\theta = 180^\circ$이면 $2h/(m_e c)$이다.

NoteBase

문 17. 어떤 입자의 파동함수가 $x \geq 0$에서 $\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} e^{-x/a}$, $x < 0$에서 $\psi(x) = 0$로 주어진다. $0 \leq x \leq a$에서 이 입자를 발견할 확률은?

① $1 - e^{-1}$

② $1 - e^{-2}$

③ $e - 1$

④ $e^2 - 1$

정답 2번

출제 포인트

파동함수의 절댓값 제곱인 확률밀도 $|\psi(x)|^2$를 구간 전체에서 적분하여 위치 확률을 구하는 문제이다.

조건 정리

$x < 0$에서는 $\psi(x) = 0$이지만, 구하려는 구간은 $0 \leq x \leq a$이다. 이 구간에서 $\psi(x) = \sqrt{2/a}\, e^{-x/a}$이므로 확률밀도는 $|\psi(x)|^2 = (2/a)e^{-2x/a}$이다.

사용할 공식

구간 $[x_1, x_2]$에서 입자를 발견할 확률은 $P = \int_{x_1}^{x_2} |\psi(x)|^2 dx$이다. 파동함수 자체가 아니라 그 절댓값 제곱이 확률밀도이므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

$P(0 \leq x \leq a) = \int_0^a \frac{2}{a} e^{-2x/a} dx$

$= [-e^{-2x/a}]_0^a = 1 - e^{-2}$

따라서 구간 $0 \leq x \leq a$에서의 발견 확률은 $1 - e^{-2}$이다.

선지 판단

① X. $1 - e^{-1}$은 지수항을 제곱하지 않아 확률밀도를 $(2/a)e^{-x/a}$처럼 처리할 때 나오는 형태이다. 틀린 표현 $1 - e^{-1}$ → 올바르게는 $1 - e^{-2}$이다.

② O. $|\psi(x)|^2 = (2/a)e^{-2x/a}$를 0부터 a까지 적분하면 $1 - e^{-2}$가 된다.

③ X. $e - 1$은 1보다 커서 확률이 될 수 없고, 적분 결과의 지수 및 부호도 맞지 않는다. 틀린 표현 $e - 1$ → 올바르게는 $1 - e^{-2}$이다.

④ X. $e^2 - 1$도 1보다 커서 확률이 될 수 없으며 지수의 부호가 반대이다. 틀린 표현 $e^2 - 1$ → 올바르게는 $1 - e^{-2}$이다.

NoteBase

오답 포인트

①처럼 ψ의 지수 $-x/a$를 그대로 적분하면 안 된다. 확률밀도 $|\psi|^2$에서는 지수가 $-2x/a$가 된다. 또한 ③, ④처럼 확률이 1보다 큰 결과는 즉시 배제할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

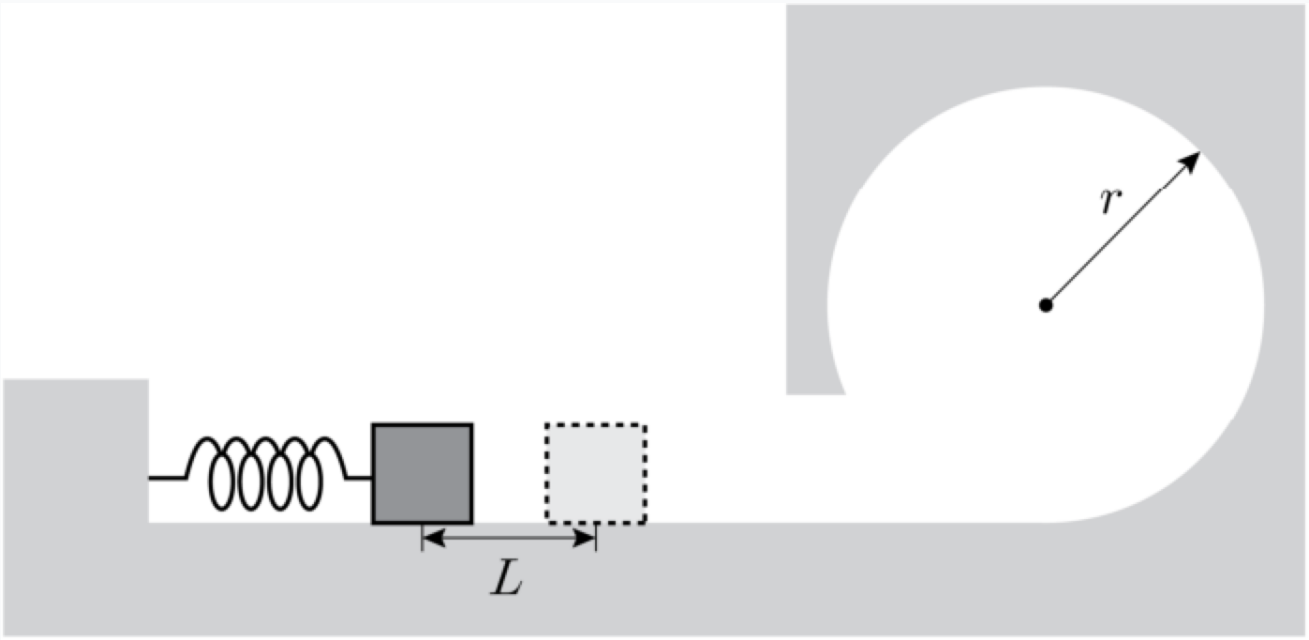
위치 확률 문제는 먼저 해당 구간의 $\psi(x)$를 확인하고, $|\psi(x)|^2$를 만든 뒤 그 구간에서 적분한다. 마지막에는 결과가 0과 1 사이인지 검산한다.

암기 포인트

확률은 ψ가 아니라 $|\psi|^2$를 적분한다. 지수함수를 제곱하면 지수의 계수도 2배가 된다.

NoteBase

문 18. 크기를 무시할 수 있는 0.2kg인 물체가 수평면 위에 놓여 있다. 물체를 밀어 용수철의 평형상태인 위치에서 길이 L만큼 압축했다가 놓는다. 용수철이 평형상태로 되돌아오는 순간, 물체는 용수철과 완전히 분리되어 반지름 $r = 20\text{cm}$인 빈 원통형 구조물 속으로 들어가 원운동을 한다. 물체가 구조물을 따라 원운동을 하는 데 필요한 용수철의 최소 압축 길이[cm]는? (단, 중력가속도는 10m/s^2, 용수철 상수는 200N/m이고, 용수철의 질량, 공기 저항, 마찰은 무시한다)



① 3

② 5

③ 10

④ 15

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 원통 내부의 꼭대기에서 물체가 궤도를 이탈하지 않는 최소 속도 조건과 역학적 에너지 보존을 이용하여 용수철의 최소 압축 길이를 구하는 문제이다.

조건 정리

물체의 질량은 $m = 0.2kg$, 원통의 반지름은 $r = 20cm = 0.20m$, 중력가속도는 $g = 10m/s^2$, 용수철 상수는 $k = 200N/m$이다. 마찰과 공기 저항이 없으므로, 용수철이 평형 위치에 도달한 뒤의 운동 에너지는 원통 최저점의 운동 에너지와 같다.

NoteBase

사용할 공식

꼭대기에서 막 이탈하지 않는 최소 조건은 $N=0$이므로 $mv_{\text{top}}^2/r=mg$, 즉 $v_{\text{top}}^2=gr$이다. 최저점에서 꼭대기까지 높이가 $2r$만큼 증가하므로 에너지 보존식은 12 mv_bottom^2=12 mv_top^2+mg(2r)이다. 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 12 kL^2이고, 이는 최저점에서의 운동 에너지 12 mv_bottom^2로 전환된다.

계산 과정

1. 꼭대기의 최소 속도는 $v_{\text{top}}^2=gr=10\times0.20=2$이다.
2. 최저점의 최소 속도는 $v_{\text{bottom}}^2=v_{\text{top}}^2+4gr=5gr=5\times10\times0.20=10$이다.
3. 용수철 에너지와 최저점 운동 에너지를 같게 두면 12 kL^2=12 mv_bottom^2=12×0.2×10=1 J이다.

따라서 $L^2=2/200=0.01m^2$, $L=0.10m=10cm$이다.

선지 판단

① X: 최소 압축 길이는 $3cm$가 아니다. 틀린 표현: 최소 압축 길이가 $3cm$이다 → 올바르게는 $10cm$이다. 이 길이로는 꼭대기에서 필요한 최소 속도를 확보하지 못한다.
② X: 최소 압축 길이는 $5cm$가 아니다. 틀린 표현: 최소 압축 길이가 $5cm$이다 → 올바르게는 $10cm$이다. 원통을 한 바퀴 도는 조건에서의 높이 증가 $2r$에 필요한 에너지가 부족하다.
③ O: 계산 결과 최소 압축 길이는 $10cm$이므로 옳다.
④ X: 최소 압축 길이는 $15cm$가 아니다. 틀린 표현: 최소 압축 길이가 $15cm$이다 → 올바르게는 최소값이 $10cm$이다. $15cm$도 원운동은 가능하지만, 최소 압축 길이는 아니다.

오답 포인트

꼭대기에서 속도를 0으로 두면 안 된다. 원통 내부를 따라 계속 운동하려면 꼭대기에서도 $v_{\text{top}}^2=gr$의 최소 속도가 필요하다. 또한 ④처럼 더 큰 압축 길이는 가능 조건을 만족해도 '최소'라는 물음의 정답이 될 수 없다.

다시 나오면 이렇게 판단

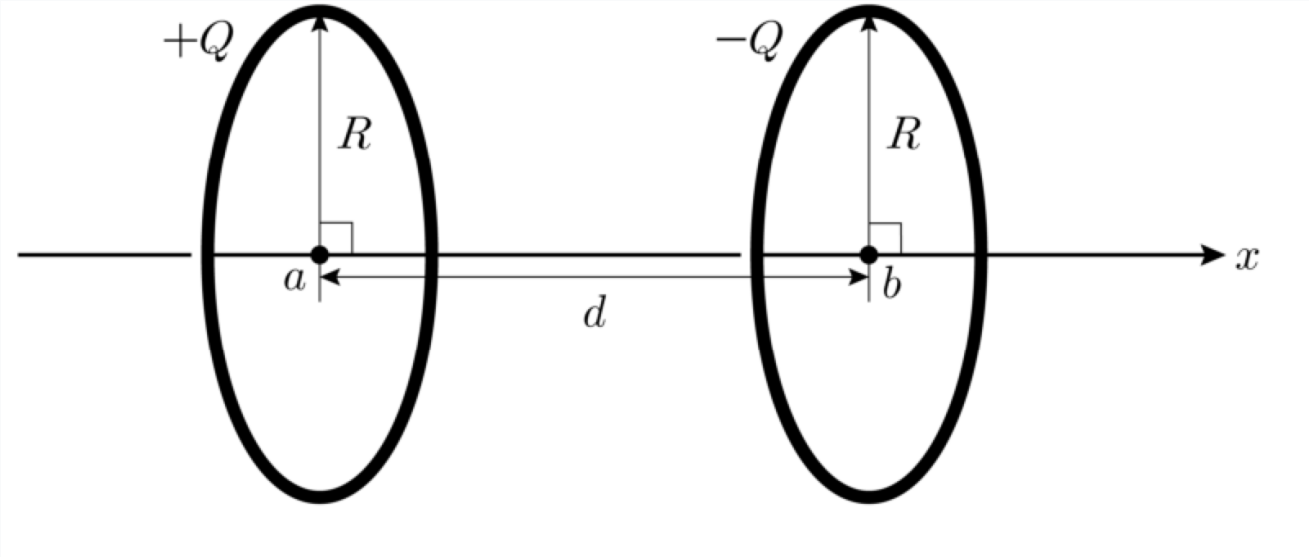
수직 원운동의 최소 조건은 먼저 꼭대기에서 $N=0$을 두어 $v_{\text{top}}^2=gr$를 구한다. 이어서 최저점과 꼭대기 사이에 에너지 보존을 적용하고, 마지막으로 용수철 에너지와 최저점 운동 에너지를 연결한다.

암기 포인트

원통 내부 수직 원운동의 최소 속도는 꼭대기에서 $v^2=gr$, 최저점에서 $v^2=5gr$이다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 반지름이 R인 원형 고리 2개가 x축을 따라 거리 d만큼 떨어져 있다. 고리가 만드는 평면은 각각 x축에 수직이다. 두 고리에는 전하 $+Q$와 $-Q$가 각각 균일하게 분포하고 있다. 두 고리의 중심 a와 b 사이에서 전위차의 크기는? (단, ε_0는 공기의 유전율이고, 원형 고리의 두께는 무시한다)



① $\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}\left(1-\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{R}\right)^2}}\right)$
② $\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}\left(1+\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{R}\right)^2}}\right)$
③ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}\left(1-\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{R}\right)^2}}\right)$
④ $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}\left(1+\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{R}\right)^2}}\right)$

정답 1번

출제 포인트

균일하게 대전된 원형 고리의 축 위 전위 $V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{\sqrt{R^2+x^2}}$를 중첩하여 두 고리 중심 a, b 사이의 전위차를 구하는 문제이다.

조건 정리

왼쪽 고리의 전하는 $+Q$, 오른쪽 고리의 전하는 $-Q$이고, 각 고리의 반지름은 R, 중심 간 거리는 d이다. 한 고리 중심에서 자기 고리가 만드는 전위는 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}$이며, 다른 고리가 만드는 전위까지의 거리는 $\sqrt{R^2+d^2}$이다. 전위는 스칼라이므로 부호를 포함하여 대수적으로 더한다.

사용할 공식

반지름 R, 전하 q인 원형 고리의 중심으로부터 축 방향 거리 x인 점의 전위는 $V=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\sqrt{R^2+x^2}}$이다. 고리 위 모든 전하 요소에서 점까지의 거리가 같으므로, 전기장과 달리 전위를 직접 스칼라 합으로 중첩할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

a에서의 전위는 $V_a = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q}{R} - \frac{Q}{\sqrt{R^2+d^2}}\right)$이다. b에서는 두 전하의 부호가 반대이므로 $V_b = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q}{\sqrt{R^2+d^2}} - \frac{Q}{R}\right) = -V_a$이다. 따라서 전위차의 크기는 $|V_a - V_b| = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{d}{R}\right)^2}}\right)$이다.

선지 판단

① O. 계산한 $|V_a - V_b|$와 정확히 일치한다.

② X. 괄호 안의 ¤가 틀렸다. 두 고리가 만드는 전위는 각 중심에서 서로 반대 부호로 작용하므로 $1 + \frac{1}{\sqrt{1+(d/R)^2}}$가 아니라 $1 - \frac{1}{\sqrt{1+(d/R)^2}}$가 된다.

③ X. 전체 계수가 틀렸다. 두 중심의 전위를 빼면 $V_a = -V_b$이므로 전위차는 한쪽 전위의 2배가 되어 계수는 $\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}$이다. 올바른 식은 ①과 같다.

④ X. 전체 계수와 괄호 안의 부호가 모두 틀렸다. 올바르게는 $\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{R}\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+(d/R)^2}}\right)$이다.

오답 포인트

①과 ②의 차이는 다른 고리가 만드는 전위의 부호이다. a에서는 먼 $-Q$ 고리가 음의 전위를 만들고, b에서는 먼 $+Q$ 고리가 양의 전위를 만든다. 또 $V_a = -V_b$이므로 두 점 사이 전위차를 구할 때 2배가 되는 점을 놓치면 ③처럼 $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ 계수가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

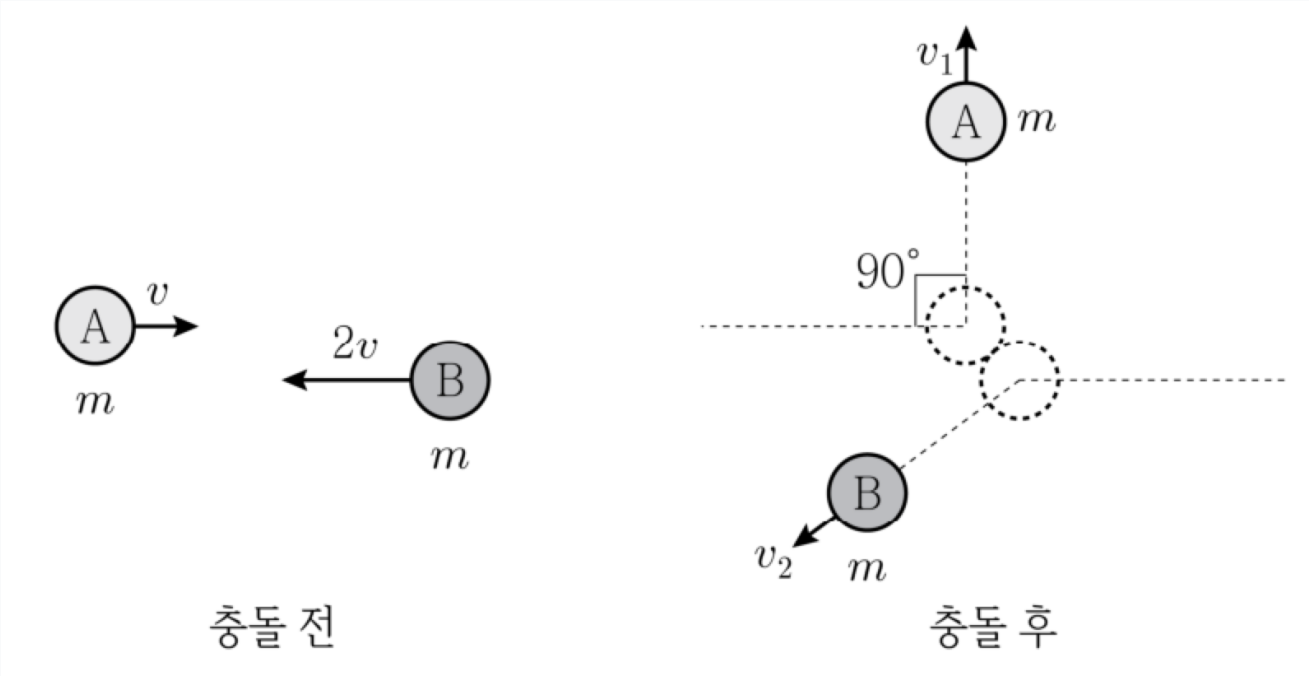
각 관측점에서 각 고리까지의 축 방향 거리 x를 정한 뒤, $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{\sqrt{R^2+x^2}}$에 전하의 부호를 넣어 전위를 각각 구한다. 마지막에 $|V_a - V_b|$를 계산하여 전위차의 크기를 판단한다.

암기 포인트

고리 중심 전위는 kQ/R, 축 위 전위는 $kQ/\sqrt{R^2+x^2}$이다. 대칭인 $+Q$, $-Q$ 고리에서는 $V_b = -V_a$이다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 질량이 m인 두 물체 A, B가 서로 반대 방향에서 다가와 각각 v와 $2v$의 속력으로 탄성 충돌하였다. 충돌 후 A는 운동 방향이 90°로 꺾이며 속력이 v_1이 되었다. 충돌 후 B의 속력 v_2는? (단, 물체의 크기와 중력은 무시한다)



① v

② $\sqrt{2}v$

③ $\sqrt{3}v$

④ $2v$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 2차원 탄성 충돌에서 운동량 보존과 운동에너지 보존을 함께 적용하여 충돌 후 B의 속력을 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 진행 방향을 x축으로 두면 A의 초기 속도는 $+v$, B의 초기 속도는 $-2v$이다.
충돌 후 A는 초기 방향에 수직인 y축 방향으로 v_1의 속력을 가진다.
충돌 전 전체 운동량은 $(-mv, 0)$이고, 전체 운동에너지는 $\frac{5}{2}mv^2$이다.

NoteBase

사용할 공식

운동량 보존:
$m\vec{v}_{A,i} + m\vec{v}_{B,i} = m\vec{v}_{A,f} + m\vec{v}_{B,f}$
탄성 충돌의 운동에너지 보존:
$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}m(2v)^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$
탄성 충돌이므로 운동량뿐 아니라 운동에너지도 보존된다. A의 충돌 후 방향이 x축에 수직이므로, 운동량의 두 성분을 이용해 B의 속력과 v_1의 관계를 구할 수 있다.

계산 과정

1. 충돌 전 전체 운동량은 $(-mv, 0)$이다. 충돌 후 A의 운동량은 $(0, mv_1)$이므로, B의 속도 성분은 $(-v,\ -v_1)$이다. 따라서 $v_2^2 = v^2 + v_1^2$이다.
2. 운동에너지 보존식에서 $v_1^2 + v_2^2 = 5v^2$이다.
3. $v_2^2 = v^2 + v_1^2$를 대입하면 $v_1^2 + (v^2 + v_1^2) = 5v^2$이므로 $v_1^2 = 2v^2$이다.
4. 따라서 $v_2^2 = v^2 + 2v^2 = 3v^2$이고, 속력은 양수이므로 $v_2 = \sqrt{3}v$이다.

선지 판단

① X. 선지의 v는 $v_2^2 = 3v^2$를 만족하지 않는다. 틀린 표현 v → 올바르게는 $\sqrt{3}v$이다.
② X. 선지의 $\sqrt{2}v$는 A의 충돌 후 속력 v_1의 값이다. 틀린 표현 $v_2 = \sqrt{2}v$ → 올바르게는 $v_1 = \sqrt{2}v$, $v_2 = \sqrt{3}v$이다.
③ O. 운동량 보존과 운동에너지 보존을 함께 적용하면 $v_2 = \sqrt{3}v$가 된다.
④ X. 선지의 $2v$는 충돌 전 B의 속력이다. 틀린 표현 $v_2 = 2v$ → 올바르게는 $v_2 = \sqrt{3}v$이다.

오답 포인트

②의 $\sqrt{2}v$는 B의 속력이 아니라 수직으로 꺾인 A의 속력 v_1의 값이다. 충돌 후 B의 속도는 수평·수직 성분을 모두 가지므로, 그 크기는 두 성분을 제곱해 더하여 구한다.

다시 나오면 이렇게 판단

2차원 탄성 충돌에서는 먼저 운동량 보존으로 각 물체의 속도 성분 관계를 세운 뒤, 운동에너지 보존으로 남은 미지수를 구한다. 마지막에는 속력의 제곱이 성분 제곱의 합인지 검산한다.

암기 포인트

탄성 충돌: 운동량 보존 + 운동에너지 보존, 속력: $v^2 = v_x^2 + v_y^2$이다.

NoteBase