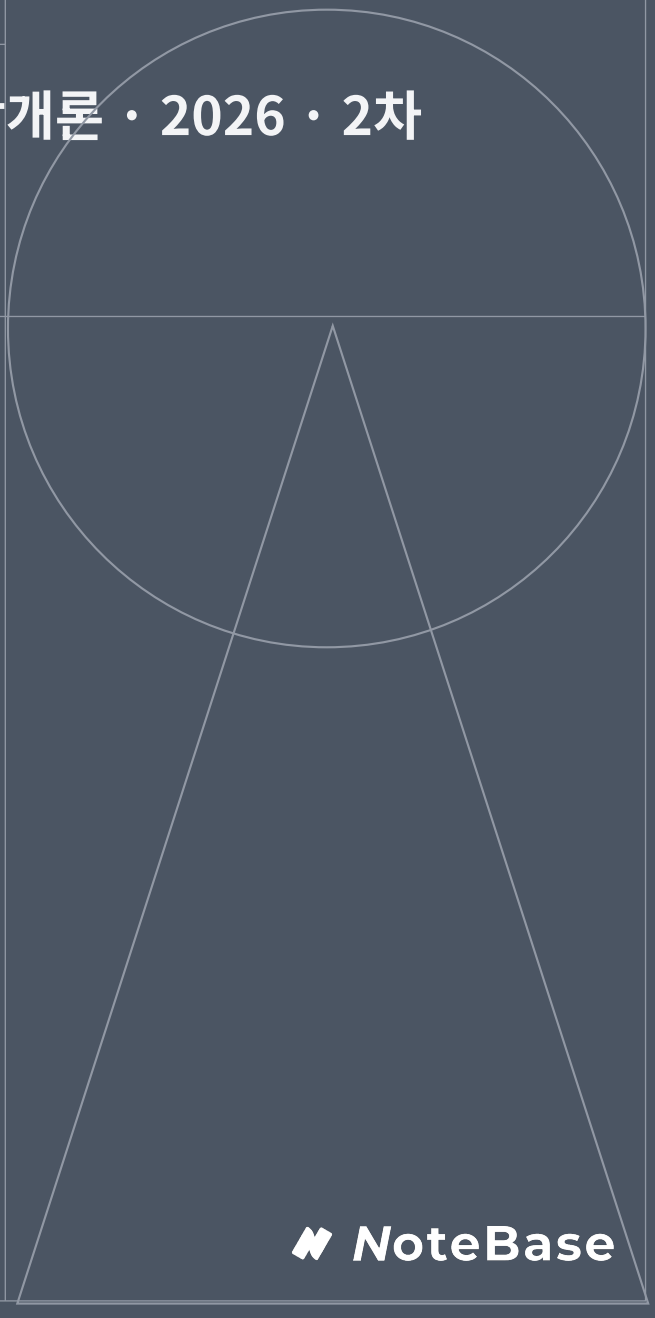
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2026 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2026 · 2차

공무원/국가직/7급 · 물리학개론 · 2026 · 2차

문 1. 정지한 관측자를 향해 진동수 480 Hz의 경적을 울리는 자동차가 일정한 속력 v로 접근하고 있을 때, 관측자가 듣는 경적의 진동수는 540 Hz이다. v [m/s]는? (단, 음속은 360 m/s이다)

① 20

② 30

③ 40

④ 60

정답 3번

간단한 해설

자동차가 다가오면 파면 사이의 간격이 좁아져 **관측 진동수가 커진다**. 정지한 관측자에 대한 도플러 효과 관계 $f' = f\frac{c}{c-v}$에 주어진 값을 대입하면 자동차의 속력은 40 m/s이다.

계산 과정

조건 확인: 경적 자체의 진동수는 $f = 480\text{Hz}$, 관측 진동수는 $f' = 540\text{Hz}$, 음속은 $c = 360\text{m/s}$이다. 관측자는 정지해 있고, 음원인 자동차가 관측자를 향해 속력 v로 접근한다.

관계식 세우기: 자동차는 소리의 한 주기 동안 관측자 쪽으로 이동하므로 앞쪽의 파면 간격, 즉 파장이 짧아진다. 이때 파장은 $\lambda = \frac{c-v}{f}$이다. **관측자는 정지해 있으므로** 파면이 관측자를 지나는 속력은 음속 c이며, 관측 진동수는 $f' = \frac{c}{\lambda} = f\frac{c}{c-v}$가 된다.

속력 계산: 관계식에 값을 대입하면 $540 = 480 \cdot \frac{360}{360-v}$이다. 이를 정리하면 $360 - v = \frac{480 \cdot 360}{540} = 320$이다. 여기서 320 m/s는 **음속과 자동차 속력의 차이**이므로, 자동차의 속력은 $v = 360 - 320 = 40\text{m/s}$이다.

자동차의 속력 40 m/s는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 2. 온도가 각각 50 K, 100 K, 150 K인 세 개의 열원이 있다. 이 중 두 열원을 선택해서 제작된 카르노 기관의 열효율이 될 수 있는 경우가 아닌 것은?

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

정답 2번

간단한 해설

카르노 기관의 열효율은 **두 열원의 절대온도 비**로 결정된다. 주어진 열원으로 가능한 열효율은 $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$이므로 $\frac{2}{5}$는 나올 수 없다.

계산 과정

카르노 기관은 고온 열원에서 받은 열의 일부를 일로 바꾸고 나머지를 저온 열원으로 내보내는 가역 열기관이다. 고온 열원의 절대온도를 T_H, 저온 열원의 절대온도를 T_C라 하면 열효율은 $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$이다. 온도는 **절대온도 K**를 사용하며, 주어진 값은 이미 K 단위이므로 변환할 필요가 없다. 열효율은 받은 열 중 일로 전환되는 비율이므로 단위가 없다.

50 K와 100 K: 고온 열원은 100 K, 저온 열원은 50 K이다. $\eta = 1 - \frac{50}{100} = \frac{1}{2}$이므로 ③의 값이 가능하다.

50 K와 150 K: 고온 열원은 150 K, 저온 열원은 50 K이다. $\eta = 1 - \frac{50}{150} = \frac{2}{3}$이므로 ④의 값이 가능하다.

100 K와 150 K: 고온 열원은 150 K, 저온 열원은 100 K이다. $\eta = 1 - \frac{100}{150} = \frac{1}{3}$이므로 ①의 값이 가능하다.

세 열원 중 두 개를 고르는 조합은 위의 세 가지가 전부이다. 따라서 이 중 어느 조합에서도 얻을 수 없는 열효율은 ②의 $\frac{2}{5}$이다.

NoteBase

문 3. 200 W의 전열기로 비열이 1000 J/kg · °C이고, 질량이 100 g인 액체의 온도를 20 °C에서 100 °C로 올리는데 필요한 시간[s]은? (단, 전열기의 일률은 모두 액체의 온도를 높이는 데만 사용된다)

① 4

② 10

③ 20

④ 40

정답 4번

간단한 해설

액체의 온도를 80 °C 높이는 데 필요한 열량은 8000 J이다. 전열기가 이 에너지를 **매초 200 J씩 공급**하므로 40 s가 걸린다.

계산 과정

1. 주어진 양 정리: 비열 c는 1000 J/(kg·°C)이므로 **질량을 kg 단위로** 맞추면 m = 100 g = 0.1 kg이다. 온도 변화는 $\Delta T = 100 - 20 = 80°C$이다.

2. 필요한 열량: 비열은 물질 1 kg의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량이다. 따라서 질량 m인 액체의 온도를 ΔT 만큼 높이는 데 필요한 열량은 $Q = mc\Delta T$이다. 수치를 대입하면 $Q = 0.1 \times 1000 \times 80 = 8000J$이다. 이는 액체 전체의 온도를 20 °C에서 100 °C까지 높이는 데 필요한 에너지이다.

3. 가열 시간: 일률 P = 200 W는 1초에 200 J의 에너지를 공급한다는 뜻이다. 공급 에너지가 **모두 액체의 온도 상승에 사용**되므로 시간 t 동안 공급한 에너지 Pt는 필요한 열량 Q와 같다. 따라서 $t = \frac{Q}{P}$이고, $t = \frac{8000}{200} = 40s$이다. 필요한 시간은 40 s로, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. 질량이 m이고 전하량이 $+e$인 양성자와 질량이 $4m$이고 전하량이 $+2e$인 알파 입자가 균일한 자기장 영역에 자기장과 수직한 방향으로 같은 속도 v로 각각 입사하였다. 두 입자는 자기장 영역 내에서 각각 등속 원운동을 하는데, 양성자와 알파 입자의 궤도 반지름은 각각 R_p, R_α이다. $\frac{R_\alpha}{R_p}$는?

① $\frac{1}{2}$

② 1

③ 2

④ 4

정답 3번

간단한 해설

같은 자기장에서 속력이 같으면 궤도 반지름은 **질량을 전하량으로 나눈 값**에 비례한다. 알파 입자는 양성자보다 질량이 4배이고 전하량이 2배이므로 궤도 반지름은 2배이다.

계산 과정

자기력과 구심력: 자기장의 세기를 B, 입자의 질량을 M, 양의 전하량을 q라 하자. 속도가 자기장에 수직이므로 자기력의 크기는 qvB이다. 이 힘이 **속도에 수직으로 작용하여 구심력 역할**을 하므로 $qvB = \frac{Mv^2}{R}$이다. 이를 정리하면 궤도 반지름은 $R = \frac{Mv}{qB}$이다.

양성자의 반지름: 질량 m과 전하량 $+e$를 대입하면 $R_p = \frac{mv}{eB}$이다.

알파 입자의 반지름: 질량 $4m$과 전하량 $+2e$를 대입하면 $R_\alpha = \frac{4mv}{2eB} = \frac{2mv}{eB}$이다. 질량은 4배이지만 전하량도 2배이므로, **질량과 전하량의 비는 2배**가 된다.

반지름의 비: 두 입자의 속력과 자기장 세기가 같으므로 $\frac{R_\alpha}{R_p} = \frac{4m}{m} \cdot \frac{e}{2e} = 2$이다. 따라서 알파 입자의 궤도 반지름은 양성자의 2배이며, 이 값은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 5. 영의 이중슬릿 실험 장치에서 관찰된 간섭무늬의 간격을 일정하게 유지하려고 한다. 빛의 파장(λ), 이중슬릿의 간격(d), 이중슬릿과 스크린 사이의 거리(D)가 바르게 연결되지 않은 것은? (단, d ≪ D이다)

① λ: 2배, d: 2배, D: 유지

② λ: 유지, d: 1/2배, D: 1/2배

③ λ: 1/2배, d: 유지, D: 2배

④ λ: 1/4배, d: 2배, D: 1/2배

정답 4번

간단한 해설

간섭무늬 간격은 $\Delta x = \frac{\lambda D}{d}$이므로, 파장과 스크린 거리를 줄이고 슬릿 간격을 늘리면 모두 무늬 간격이 좁아지는 쪽으로 작용한다. ④의 변화에서는 무늬 간격이 **처음의 1/16배**가 되어 일정하게 유지되지 않는다.

계산 과정

빛의 파장을 λ, 두 슬릿 사이의 간격을 d, 슬릿과 스크린 사이의 거리를 D라 하자. 스크린이 슬릿에서 충분히 멀리 있는 영의 이중슬릿 실험에서, 중심 부근의 이웃한 밝은 무늬 사이 간격은 $\Delta x = \frac{\lambda D}{d}$이다. 즉, 무늬 간격은 **λ와 D에 비례하고 d에 반비례**한다. 변화 후의 값을 프라임으로 표시하면 $\frac{\Delta x'}{\Delta x} = \frac{\lambda'}{\lambda} \cdot \frac{D'}{D} \cdot \frac{d}{d'}$이므로, 이 비가 1이어야 간격이 유지된다. 여기서 비는 단위가 없는 배율이다.

① 파장은 2배, 슬릿 간격은 2배, 스크린 거리는 그대로이다. 무늬 간격의 변화 배율은 $2 \cdot 1 \cdot \frac{1}{2} = 1$이다. 파장 증가로 넓어지는 효과와 슬릿 간격 증가로 좁아지는 효과가 상쇄되어 간격이 유지된다.

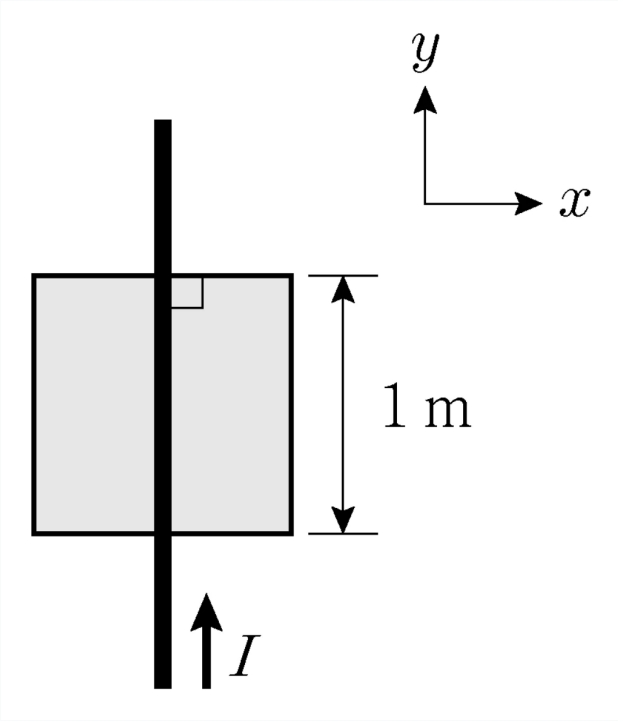
② 파장은 그대로이고, 슬릿 간격과 스크린 거리는 각각 1/2배이다. 변화 배율은 $1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = 1$이다. **슬릿 간격이 절반이면 무늬 간격은 2배**가 되는 효과가 있으므로, 스크린 거리 감소의 효과와 상쇄된다.

③ 파장은 1/2배, 슬릿 간격은 그대로, 스크린 거리는 2배이다. 변화 배율은 $\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 1 = 1$이다. 파장 감소로 좁아지는 효과와 스크린 거리 증가로 넓어지는 효과가 상쇄되어 간격이 유지된다.

④ 파장은 1/4배, 슬릿 간격은 2배, 스크린 거리는 1/2배이다. 변화 배율은 $\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$이다. 세 변화가 **모두 무늬 간격을 좁히는 방향**으로 작용하여, 간격은 처음의 1/16배가 된다. 따라서 ④의 연결은 간격을 일정하게 유지하는 조건에 맞지 않는다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 직사각형 모양의 균일한 자기장 영역이 있는 xy 평면상에 무한히 긴 직선 도선이 고정되어 있다. 도선에 흐르는 전류(I)의 방향은 $+y$ 방향이고 세기는 1 A이다. 자기장 영역의 세로 길이는 1 m이고, 자기장의 방향은 $+x$ 방향이고 세기는 0.5 T이다. 도선이 받는 자기력의 크기와 방향은?



① 자기력 크기: 0.1 N, 방향(xy평면에서 수직으로): 나오는 방향

② 자기력 크기: 0.1 N, 방향(xy평면에서 수직으로): 들어가는 방향

③ 자기력 크기: 0.5 N, 방향(xy평면에서 수직으로): 나오는 방향

④ 자기력 크기: 0.5 N, 방향(xy평면에서 수직으로): 들어가는 방향

정답 4번

간단한 해설

자기장 안에 놓인 도선의 길이는 1 m이고 전류와 자기장이 수직이므로, 자기력의 크기는 **0.5 N**이다. 전류가 위쪽, 자기장이 오른쪽을 향하므로 자기력은 **평면 안으로 들어가는 방향**이다.

NoteBase

계산 과정

자기장 속 도선 길이: 그림에서 도선은 자기장 영역을 세로로 관통하므로 자기장 안에 있는 길이 L은 1 m이다. 도선이 무한히 길어도 힘을 계산할 때는 **자기장 영역 안의 길이**를 사용한다.

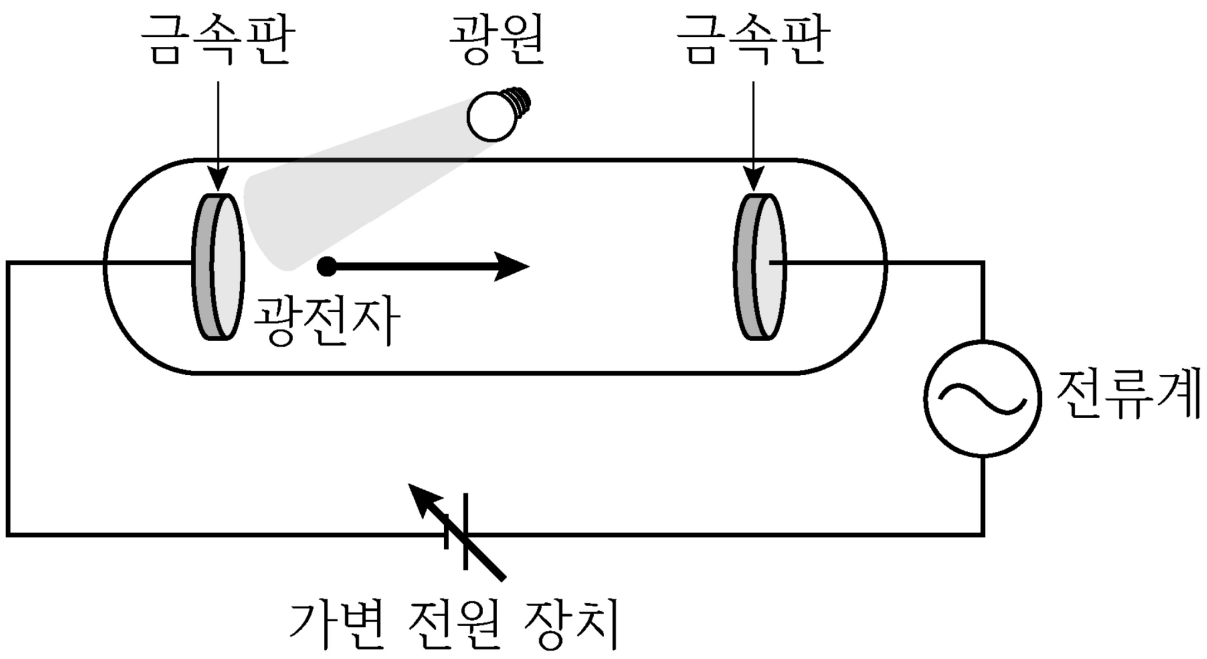
자기력의 크기: 균일한 자기장 속 직선 도선이 받는 힘의 크기는 $F = ILB\sin\theta$이다. 여기서 I는 전류, B는 자기장 세기, θ는 전류와 자기장 사이의 각이다. 전류는 +y방향, 자기장은 +x방향이므로 θ = 90°이고 $\sin 90^\circ = 1$이다. 따라서 $F = ILB$에 I = 1 A, L = 1 m, B = 0.5 T를 넣으면 F = 1 × 1 × 0.5 = 0.5 N이다.

자기력의 방향: 힘의 방향은 $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$의 벡터곱으로 정하며, $\vec{L}$은 전류 방향이다. 오른손 네 손가락을 위쪽인 +y방향에서 오른쪽인 +x방향으로 굽히면 엄지는 **종이 안쪽**을 가리킨다. 따라서 자기력은 xy평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

자기력의 크기 0.5 N과 평면 안으로 들어가는 방향을 함께 나타낸 선택지는 ④이다.

NoteBase

문 7. 그림은 광전효과 실험 장치에서 광원으로부터 나온 빛 P를 금속판에 비추었더니 광전자가 방출되어 회로에 광전류가 흐르는 것을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 광전자의 최대 운동에너지는 P의 진동수에 무관하다.

② 광전자의 최대 운동에너지는 P의 세기에 비례한다.

③ P의 세기가 증가함에 따라 광전류는 증가한다.

④ P의 파장이 증가함에 따라 광전류는 증가한다.

정답 3번

간단한 해설

빛의 진동수가 같을 때 세기가 커지면 금속판에 단위 시간당 도달하는 **광자 수**가 늘어난다. 광전효과가 일어나는 조건에서는 방출되는 광전자 수도 늘어나므로 **광전류가 증가**한다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 광자 한 개의 에너지는 $E = hf$이고, 광전자의 최대 운동에너지는 $K_{max} = hf - W$이다. 여기서 h는 플랑크 상수, f는 빛의 진동수, W는 금속에서 전자를 떼어 내는 데 필요한 최소 에너지인 일함수이다. 같은 금속에서는 W가 일정하므로 **진동수가 클수록 최대 운동에너지가 커진다**.

② X: **진동수가 같으면 빛의 세기가 커져도 광자 한 개의 에너지는 변하지 않는다**. 따라서 광전자의 최대 운동에너지도 그대로이다. 세기는 주로 단위 시간당 방출되는 광전자의 수에 영향을 준다.

③ O: 문제에서는 이미 광전자가 방출되고 있으므로 입사광은 광전효과가 일어나는 진동수 조건을 만족한다. 이 진동수와 회로의 전압을 유지한 채 빛의 세기를 높이면 단위 시간당 입사하는 광자 수가 증가하여 방출되는 광전자 수도 증가한다. 광전류는 단위 시간당 회로를 흐르는 전하량이므로 **광전자 수가 늘어나면 광전류가 증가한다**.

④ X: 광자의 에너지는 $E = \frac{hc}{\lambda}$이므로 파장 λ가 길어질수록 작아진다. 여기서 c는 빛의 속력이다. 따라서 파장을 늘린다고 광전류가 반드시 증가하는 것은 아니다. 오히려 파장이 금속의 **한계 파장보다 길어지면 광전자가 방출되지 않아** 광전류가 흐르지 않는다. 광전류의 증가를 설명하는 조건은 파장 증가가 아니라, 광전효과가 일어나는 같은 진동수에서의 빛의 세기 증가이다.

NoteBase

문 8. 운동 에너지가 K_0인 전자의 드브로이 파장은 λ_0일 때, 운동 에너지가 $2K_0$인 전자의 드브로이 파장은? (단, 상대론적 효과는 고려하지 않는다)

① $\frac{1}{4}\lambda_0$
② $\frac{\sqrt{2}}{4}\lambda_0$
③ $\frac{1}{2}\lambda_0$
④ $\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_0$

정답 4번

간단한 해설

같은 전자의 드브로이 파장은 **운동 에너지의 제곱근에 반비례**한다. 운동 에너지가 2배가 되면 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}$배가 되어 $\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_0$이다.

계산 과정

전자의 질량을 m, 운동량의 크기를 p, 플랑크 상수를 h라 하자. **상대론적 효과를 무시**하므로 운동 에너지는 $K=\frac{p^2}{2m}$이고, 드브로이 파장은 $\lambda=\frac{h}{p}$이다.

운동 에너지 식에서 $p=\sqrt{2mK}$이므로 $\lambda=\frac{h}{\sqrt{2mK}}$이다. 전자의 질량과 h는 일정하므로, 운동 에너지가 2배가 되면 운동량은 **제곱근인 $\sqrt{2}$배**가 되고 파장은 그 역수만큼 줄어든다.

운동 에너지가 $2K_0$일 때의 파장을 λ라 하면 $\frac{\lambda}{\lambda_0}=\sqrt{\frac{K_0}{2K_0}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$이다. 따라서 $\lambda=\frac{\sqrt{2}}{2}\lambda_0$이며, 이는 ④의 값과 일치한다. 파장의 비는 단위가 없고, 구한 파장은 λ_0와 같은 길이 단위를 갖는다.

NoteBase

문 9. 영률(Young's Modulus)이 10^{11} N/m^{2}인 금속으로 단면적이 1 cm^{2}이고 길이가 10 m인 직사각형 막대를 만들었다. 막대의 양 끝에서 각각 10 N의 힘을 가하여 막대를 당겼을 때 막대의 길이 변화[m]는?

① 10^{-5}

② 10^{-4}

③ 10^{-3}

④ 10^{-2}

정답 1번

간단한 해설

양 끝에서 각각 10 N으로 당겨도 막대 내부의 **장력은 10 N**이다. 영률이 응력과 변형률의 비라는 관계를 적용하면, 막대가 늘어난 길이는 10^{-5}m이다.

계산 과정

장력: 막대의 한쪽 부분을 따로 생각하면, 끝에서 당기는 힘 10 N과 절단면에 작용하는 내부 힘이 평형을 이룬다. 따라서 **장력은 20 N이 아니라 10 N**이며, 양 끝의 힘을 더하지 않는다.

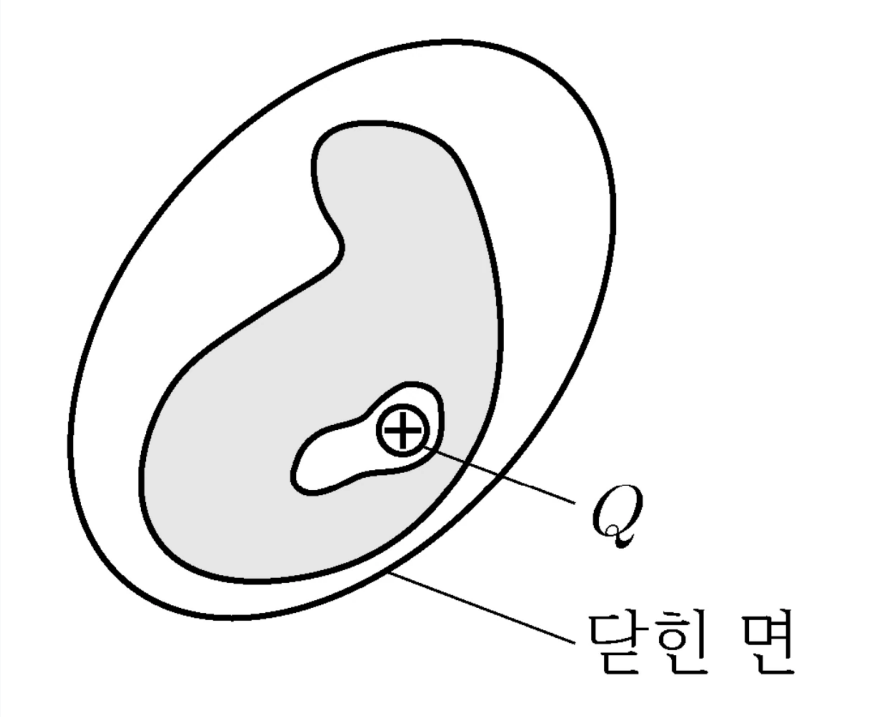
단위 변환과 영률: 원래 길이는 L = 10 m이고, 단면적은 $A = 1\text{cm}^2 = 10^{-4}\text{m}^2$이다. 영률은 $Y = 10^{11}\text{N/m}^2$이다. **선형 탄성 범위**에서 영률은 응력 F/A를 변형률 $\Delta L/L$로 나눈 값이므로, $Y = \frac{F/A}{\Delta L/L}$를 적용한다. 여기서 ΔL은 막대가 늘어난 길이이다.

변형률: 장력을 단면적으로 나눈 응력은 $\sigma = \frac{10}{10^{-4}} = 10^5\text{N/m}^2$이다. 따라서 변형률은 $\varepsilon = \frac{\sigma}{Y} = \frac{10^5}{10^{11}} = 10^{-6}$이다. 이는 **원래 길이에 대한 늘어난 길이의 비율**이며 단위가 없다.

길이 변화: 변형률에 원래 길이를 곱하면 $\Delta L = \varepsilon L = 10^{-6} \cdot 10 = 10^{-5}\text{m}$이다. 막대는 이만큼 늘어나며, 계산값은 ①의 10^{-5}m와 일치한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 찌그러진 모양의 속이 빈 중성 도체 안에 전하량이 Q인 양전하가 놓여 있다. 도체를 둘러싸고 있는 닫힌 면을 통과하는 전기선속의 크기는? (단, 도체 밖은 진공이고, 진공 유전율은 ε_0이다)



① 0
② $\frac{Q}{2\varepsilon_0}$
③ $\frac{Q}{\varepsilon_0}$
④ $\frac{2Q}{\varepsilon_0}$

정답 3번

간단한 해설

도체가 중성이어도, 이를 둘러싼 닫힌 면 안에는 별도로 놓인 양전하가 있으므로 **알짜 전하는** Q이다. 가우스 법칙에 따라 전기선속의 크기는 $\frac{Q}{\varepsilon_0}$이며, 도체의 찌그러진 모양에는 관계없다.

NoteBase

계산 과정

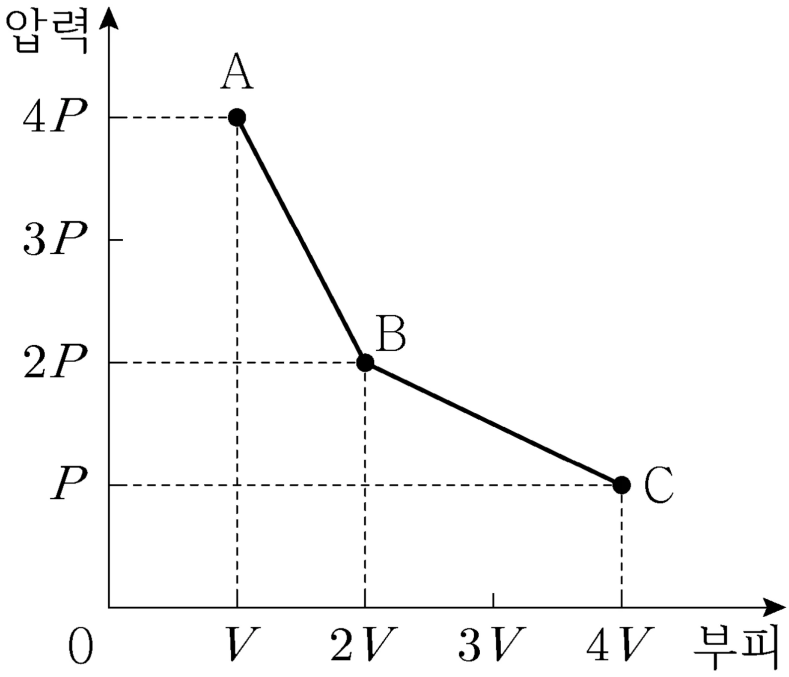
닫힌 면 안의 알짜 전하: 그림의 가장 바깥쪽 닫힌 면은 양전하와 도체 전체를 함께 둘러싼다. 중성이라는 조건은 **도체 자체의 알짜 전하가 0**이라는 뜻이다. 따라서 닫힌 면에 포함된 알짜 전하를 Q_{in}이라 하면 $Q_{\text{in}} = Q + 0 = Q$이다.

가우스 법칙의 적용: 진공에서 닫힌 면을 통과하는 전기선속은 $\Phi_E = \frac{Q_{\text{in}}}{\varepsilon_0}$이다. 전기선속은 면 전체에서 바깥으로 나가는 전기장 성분을 합한 양이며, **닫힌 면 안의 알짜 전하**로 결정된다. 도체의 모양에 따라 위치별 전기장은 달라질 수 있지만, 전체 전기선속을 구하는 데 구면 대칭이나 일정한 전기장을 가정할 필요는 없다.

전기선속 계산: $Q_{\text{in}} = Q$를 대입하면 $\Phi_E = \frac{Q}{\varepsilon_0}$이다. Q가 양수이므로 전기선속의 크기도 $\frac{Q}{\varepsilon_0}$이며, 단위는 $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}$이다. 이 값은 ③의 식과 일치한다.

NoteBase

문 11. 그림은 일정량의 이상 기체가 상태 A → B → C를 따라 변하는 동안 기체의 압력과 부피를 나타낸 것이다. A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량을 Q_1, B → C 과정에서 기체가 흡수한 열량을 Q_2라고 할 때, Q_1:Q_2는?



① 1:2

② 1:1

③ 2:1

④ 4:1

정답 2번

간단한 해설

A·B·C에서 압력과 부피의 곱이 같아 각 과정의 **내부 에너지 변화는 0**이다. 따라서 흡수한 열량은 기체가 한 일과 같고, 두 직선 경로 아래의 넓이가 모두 3PV이므로 $Q_1 : Q_2 = 1 : 1$이다.

NoteBase

계산 과정

상태와 내부 에너지: 그래프의 가로축은 부피, 세로축은 압력이다. A는 (V, 4P), B는 (2V, 2P), C는 (4V, P)이므로 세 상태에서 압력과 부피의 곱은 모두 4PV이다. 일정량의 이상 기체는 $pV = nRT$를 따르므로 A·B·C의 온도가 같다. 이상 기체의 내부 에너지는 온도에만 의존하므로 **각 과정의 처음과 끝 사이 내부 에너지 변화**는 0이다. 이것이 직선 경로의 모든 점에서 온도가 일정하다는 뜻은 아니다.

열량과 일의 관계: 기체가 흡수한 열량을 Q, 기체가 외부에 한 일을 W라 하면 열역학 제1법칙은 $Q = \Delta U + W$이다. 두 과정 모두 $\Delta U = 0$이므로 **흡수한 열량은 기체가 한 일**과 같다. 압력–부피 그래프에서 기체가 한 일은 경로 아래의 넓이이며, 두 경로가 직선이므로 평균 압력에 부피 증가량을 곱해 구한다.

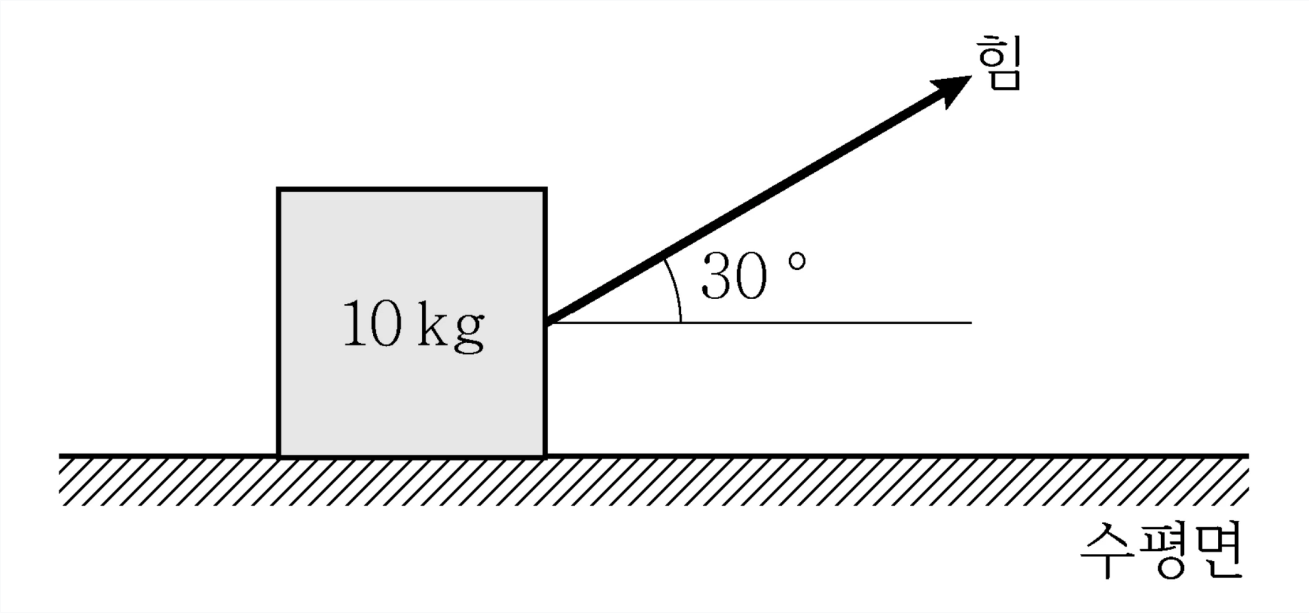
A → B: 압력이 4P에서 2P로 줄고 부피가 V만큼 증가한다. 따라서 $W_1 = \frac{4P + 2P}{2} \cdot V = 3PV$이며, $Q_1 = 3PV$이다.

B → C: 압력이 2P에서 P로 줄고 부피가 2V만큼 증가한다. 따라서 $W_2 = \frac{2P + P}{2} \cdot 2V = 3PV$이며, $Q_2 = 3PV$이다. 이 과정은 앞 과정보다 평균 압력이 절반이지만 부피 증가량이 두 배이므로 일이 같다.

열량의 비: PV는 압력과 부피의 곱으로 에너지의 차원을 가진다. 두 열량이 모두 3PV이므로 $Q_1 : Q_2 = 3PV : 3PV = 1 : 1$이며, 이는 ②의 비율과 일치한다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 수평면에 정지해 있는 질량이 10 kg인 물체에 수평면으로부터 30°의 각도로 크기가 F보다 큰 일정한 힘을 가했더니, 물체가 움직이기 시작했다. F의 최솟값[N]은? (단, 물체와 수평면 사이의 정지 마찰계수는 2이고, 중력가속도는 10 m/s^{2}이다)



① $200(2-\sqrt{3})$

② $400(2-\sqrt{3})$

③ $200(2+\sqrt{3})$

④ $400(2+\sqrt{3})$

정답 2번

간단한 해설

힘의 위쪽 성분이 **수직항력과 최대 정지 마찰력을 줄인다**. 수평 성분이 최대 정지 마찰력과 같아지는 한계에서 구한 힘의 크기는 $400(2-\sqrt{3})$ N이다.

NoteBase

계산 과정

힘의 성분: 그림의 힘은 수평면에서 위쪽으로 30° 기울어져 있다. 물체가 움직이기 직전의 힘의 크기를 F로 두면, 오른쪽 수평 성분은 $F\cos 30^\circ$, 위쪽 수직 성분은 $F\sin 30^\circ$이다. 무게는 $10 \times 10 = 100$ N이다.

수직항력: 물체가 수평면과 접촉한 채 수직 방향으로 평형을 이루므로, 수직항력 R과 힘의 위쪽 성분의 합이 무게와 같다. 따라서 $R = 100 - F\sin 30^\circ$, 즉 $R = 100 - \frac{F}{2}$이다. 위로 당길수록 **수직항력이 작아진다**.

운동 시작 조건: 정지 마찰력은 수평 성분을 상쇄하다가 최대값에 도달한다. 정지 마찰계수가 2이므로 최대 정지 마찰력은 $f_{s,\max} = 2R$이다. **미끄러지기 직전**에는 $F\cos 30^\circ = 2R$이므로, $\frac{\sqrt{3}}{2}F = 2\left(100 - \frac{F}{2}\right)$이다.

한계값 계산: 위 식을 정리하면 $\left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)F = 200$이다. 따라서 $F = \frac{400}{2+\sqrt{3}} = 400(2 - \sqrt{3})$ N이다. 이때 F는 200 N보다 작아 수직항력도 양수이므로 수평면과의 접촉 조건을 만족한다. 힘의 크기가 이 한계값을 넘으면 수평 성분이 최대 정지 마찰력보다 커져 물체가 움직이기 시작한다. 구한 값은 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 13. 파장이 λ인 레이저가 일정한 일률 P_0로 방출되고 있다. 이 레이저가 초당 방출하는 광자의 수는? (단, 플랑크 상수는 h이고, 빛의 속도는 c이다)

① $\frac{P_0\lambda}{hc}$
② $\frac{P_0\lambda}{hc^2}$
③ $\frac{hc}{P_0\lambda}$
④ $\frac{hc^2}{P_0\lambda}$

정답 1번

간단한 해설

광자 한 개의 에너지는 $E=\frac{hc}{\lambda}$이다. **일률을 광자 한 개의 에너지로 나누면** 초당 방출 광자 수 $\frac{P_0\lambda}{hc}$를 얻는다.

계산 과정

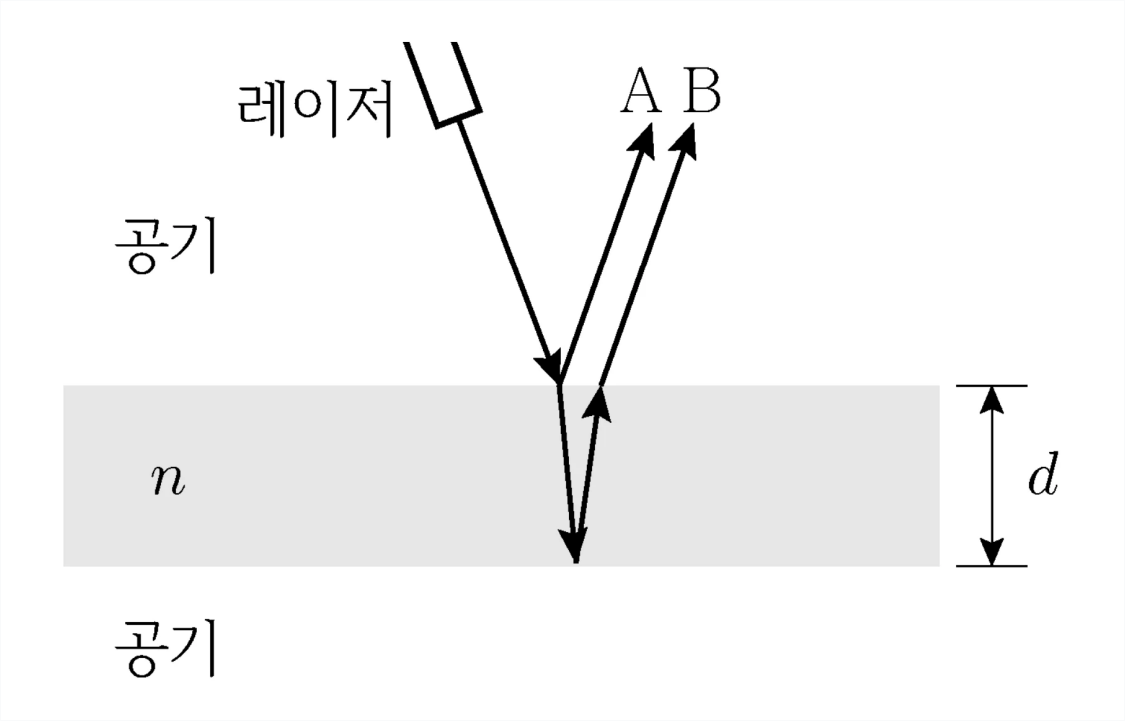
광자 한 개의 에너지: 파장이 λ인 빛의 진동수는 $f=\frac{c}{\lambda}$이다. 광자 에너지는 $E=hf$이므로 $E=\frac{hc}{\lambda}$이며, 같은 파장의 광자들은 같은 에너지를 갖는다.

초당 방출 광자 수: 일률 P_0는 **단위 시간에 방출되는 에너지**이며, 단위는 J/s이다. 초당 방출되는 광자의 수를 R이라 하면, 각 광자의 에너지를 합하여 $P_0=RE$가 된다. 따라서 $R=\frac{P_0}{E}=\frac{P_0\lambda}{hc}$이다. 에너지의 방출률을 광자 한 개의 에너지로 나누었으므로, 이 값은 초당 방출되는 광자의 개수를 뜻한다.

도출한 $\frac{P_0\lambda}{hc}$는 ①의 식과 일치하며, 단위는 개/s이다.

NoteBase

문 14. 그림은 굴절률이 1인 공기 중에 굴절률이 $n(>1)$인 두께가 d인 얇은 막에 파장이 λ인 레이저가 입사하고 반사하는 것을 나타낸 것이다. 빛 A는 막의 윗면에서 반사하고, 빛 B는 막을 투과한 후 막의 아랫면에서 한 번 반사한다. 공기 중에서 A와 B가 보강 간섭을 일으키기 위한 막의 두께 d 중 가장 작은 값은? (단, 빛이 막에 수직으로 입사한다고 가정한다)



① $\frac{\lambda}{2n}$
② $\frac{\lambda}{4n}$
③ $\frac{3\lambda}{2n}$
④ $\frac{3\lambda}{4n}$

정답 2번

간단한 해설

공기에서 막으로 들어가는 경계에서 반사하는 A만 **위상이 π만큼 변한다**. 보강 간섭하려면 막을 왕복하면서 생기는 광학적 경로차가 최소 $\lambda/2$이어야 하므로, $2nd = \lambda/2$에서 최소 두께는 $\frac{\lambda}{4n}$이다.

NoteBase

계산 과정

반사에 따른 위상 변화: 그림에서 막의 위아래는 모두 공기이고 막의 굴절률은 $n > 1$이다. A는 굴절률이 작은 공기에서 큰 막으로 향하다 반사하므로 위상이 π만큼 변한다. B는 막에서 공기로 향하다 아랫면에서 반사하므로 반사에 따른 위상 변화가 없다. 따라서 **반사만으로 두 빛 사이에 π의 위상차**가 생긴다.

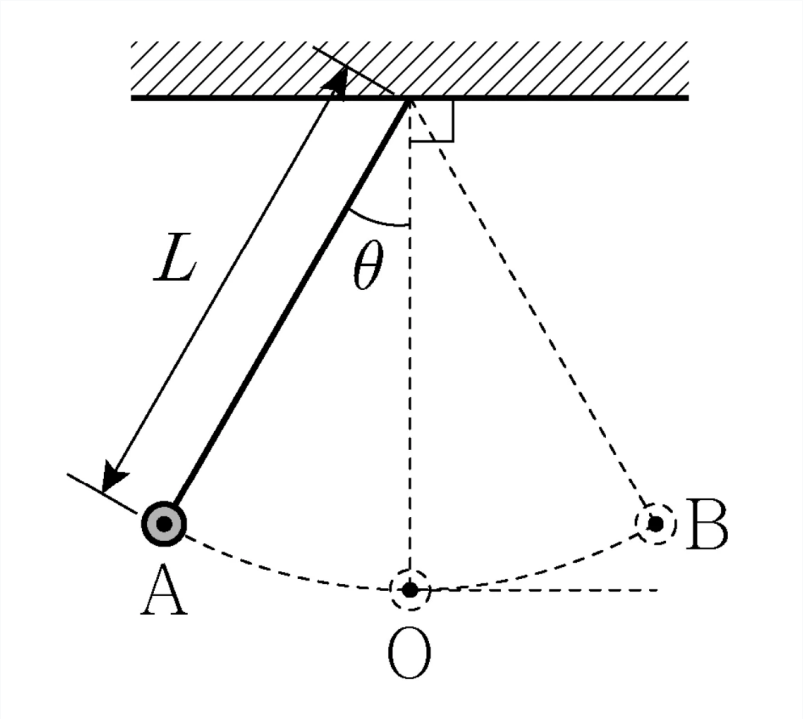
막 내부의 왕복 경로: 문제의 수직 입사 조건에서 B는 A보다 막 내부를 $2d$만큼 더 진행한다. 공기 중 파장이 λ이면 막 내부의 파장은 λ/n이므로, 이 추가 진행 거리는 공기 중 거리로 환산한 **광학적 경로차** $2nd$에 해당한다.

보강 간섭 조건: 두 빛의 전체 위상차가 2π의 정수배이면 보강 간섭한다. 반사로 이미 π의 위상차가 생겼으므로, 추가 진행에 따른 위상차도 π의 홀수배여야 한다. 따라서 광학적 경로차는 반파장의 홀수배로서 $2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$를 만족한다. 여기서 $m = 0, 1, 2, \ldots$이다.

최소 두께: 가장 작은 양의 두께는 $m = 0$일 때이다. 이때 $2nd = \frac{\lambda}{2}$이므로 $d = \frac{\lambda}{4n}$이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 15. 그림은 질량이 m인 물체가 길이가 L인 실에 연결되어 최고점 A와 B 사이를 운동하는 단진자를 나타낸 것이다. A에서 실이 연직 방향과 이루는 각은 θ이다. 최하점 O에서 실의 장력의 크기는? (단, 중력가속도는 g이고, 물체의 크기와 실의 질량은 무시한다)



① $(1-\cos\theta)mg$

② $(2-\cos\theta)mg$

③ $(2-2\cos\theta)mg$

④ $(3-2\cos\theta)mg$

정답 4번

간단한 해설

최하점에서는 **장력과 중력의 차이**가 원운동에 필요한 구심력이 된다. 최고점에서 내려오며 얻은 속력을 에너지 보존으로 구하면, 장력은 $T = mg + \frac{mv^2}{L} = (3-2\cos\theta)mg$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 높이 차이: 그림에서 A에 있을 때 실의 연직 성분은 $L\cos\theta$이고, O는 매단 점에서 수직 아래로 L만큼 떨어져 있다. 따라서 O를 기준으로 한 A의 높이는 $h = L - L\cos\theta = L(1-\cos\theta)$이다.

2. 최하점의 속력: A는 운동 방향이 바뀌는 최고점이므로 **순간 속력이 0**이다. 이상적인 단진자에서 장력은 이동 방향에 수직이어서 일을 하지 않으며, 역학적 에너지가 보존된다. O에서의 속력을 v라 하면, 감소한 중력 위치 에너지가 운동 에너지로 바뀌므로 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$이다. 높이 차이를 대입하면 $v^2 = 2gL(1-\cos\theta)$를 얻는다.

3. 최하점의 힘: O에서 원의 중심인 매단 점은 물체의 위쪽에 있다. 위쪽 장력 T와 아래쪽 중력 mg의 **합력이 중심 방향의 가속도**를 만들어야 하므로 $T - mg = \frac{mv^2}{L}$이다. 구심력은 별도로 더해지는 힘이 아니라, 이처럼 중심 방향으로 작용하는 합력을 뜻한다.

4. 장력 계산: $T = mg + \frac{mv^2}{L}$에 앞서 구한 속력을 대입하면 $T = mg + 2mg(1-\cos\theta)$이다. 따라서 최하점의 장력은 $T = (3-2\cos\theta)mg$이며, ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 16. 반지름이 R이고 질량이 M인 매우 얇은 원판이 원판의 중심 O를 지나는 수직축을 회전축으로 하여 일정한 각속도 ω_0로 회전하고 있다. 원판 위에서 O로부터 R만큼 떨어진 지점에 질량이 m인 물체를 가만히 놓았더니, 물체가 원판 위에 고정된 채, 일정한 각속도 ω로 원판과 함께 회전하였다. ω는? (단, 원판은 균일하고, 원판의 관성 모멘트는 $\frac{1}{2}MR^2$이며, 물체의 크기는 무시한다)

① $\frac{1}{2}\omega_0$
② $\frac{M}{M+m}\omega_0$
③ $\frac{M}{M+2m}\omega_0$
④ $\frac{M+m}{M}\omega_0$

정답 3번

간단한 해설

원판과 물체의 **전체 각운동량은 보존**되지만, 물체가 붙으면 관성 모멘트가 증가하여 각속도가 줄어든다. 원판의 관성 모멘트에 물체의 mR^2을 더하면 최종 각속도는 $\omega = \frac{M}{M+2m}\omega_0$이다.

계산 과정

1. 보존 법칙: 원판과 물체를 하나의 계로 잡고, 회전축에 대한 외부 토크를 무시한다. 원판과 물체 사이의 마찰력은 계의 내력이므로 **전체 각운동량이 보존**된다. 물체는 처음에 가만히 놓으므로 회전축에 대한 초기 각운동량이 0이다.

2. 놓기 전: 원판의 관성 모멘트는 $I_0 = \frac{1}{2}MR^2$이고 각속도는 ω_0이다. 따라서 처음 전체 각운동량은 $L_0 = I_0\omega_0 = \frac{1}{2}MR^2\omega_0$이다.

3. 고정된 후: 물체의 크기는 무시하므로 질점으로 취급한다. 회전축에서 거리가 R인 물체의 관성 모멘트는 $I_m = mR^2$이다. 따라서 함께 회전하는 계의 관성 모멘트는 $I = \frac{1}{2}MR^2 + mR^2$이다. 물체가 고정된 뒤에는 원판과 물체의 **각속도가 같으므로** 전체 각운동량은 $L = I\omega$로 쓴다.

4. 각속도 계산: 각운동량 보존식은 $\frac{1}{2}MR^2\omega_0 = \left(\frac{1}{2}MR^2 + mR^2\right)\omega$이다. 양변에서 R^2을 소거하고 ω에 대해 풀면 $\omega = \frac{M}{M+2m}\omega_0$이며, 이는 ③의 식과 일치한다. 앞의 질량비는 무차원이므로 최종 각속도의 단위는 ω_0와 같다.

NoteBase

문 17. 수소 원자에서 주양자수 $n = 5$인 상태의 전자가 가질 수 있는 궤도 각운동량의 크기로 옳지 않은 것은? (단, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$이고 h는 플랑크 상수이다)

① 0

② $\sqrt{2}\hbar$

③ $2\hbar$

④ $2\sqrt{5}\hbar$

정답 3번

간단한 해설

궤도 각운동량의 크기는 $L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\hbar$이며, $n = 5$에서는 **궤도양자수가 0부터 4까지의 정수**이다. 이 정수들을 대입해도 $2\hbar$는 나오지 않는다.

계산 과정

수소 원자에서 주양자수 n이 주어지면 궤도양자수 ℓ은 **0부터 $n-1$까지의 정수**를 가질 수 있다. 따라서 $n = 5$에서는 $\ell = 0, 1, 2, 3, 4$이다.

궤도 각운동량의 크기 L은 $L = \sqrt{\ell(\ell+1)}\hbar$이다. 여기서 $\hbar = \frac{h}{2\pi}$는 각운동량의 단위를 갖는 상수이며, 주양자수 자체를 이 식의 ℓ 자리에 넣는 것이 아니라 허용되는 궤도양자수를 넣어야 한다.

각 궤도양자수를 대입하면 가능한 크기는 다음과 같다.

$\ell = 0$: $L = \sqrt{0 \cdot 1}\hbar = 0$

$\ell = 1$: $L = \sqrt{1 \cdot 2}\hbar = \sqrt{2}\hbar$

$\ell = 2$: $L = \sqrt{2 \cdot 3}\hbar = \sqrt{6}\hbar$

$\ell = 3$: $L = \sqrt{3 \cdot 4}\hbar = 2\sqrt{3}\hbar$

$\ell = 4$: $L = \sqrt{4 \cdot 5}\hbar = 2\sqrt{5}\hbar$

①의 0, ②의 $\sqrt{2}\hbar$, ④의 $2\sqrt{5}\hbar$는 이 목록에 포함된다. 반면 ③의 $2\hbar$가 가능하려면 $\ell(\ell+1) = 4$여야 하는데, 이를 만족하는 **허용된 정수 궤도양자수가 없다**. 따라서 $2\hbar$는 이 상태에서 가질 수 없는 궤도 각운동량의 크기이다.

NoteBase

문 18. 정지 상태에서 출발한 물체가 등가속도 운동을 하여 속력이 12 m/s가 될 때까지 거리 d만큼 이동한 후, 12 m/s의 속력으로 등속도 운동을 하여 거리 $2d$만큼 이동하고, 다시 등가속도 운동을 하여 속력이 6 m/s가 될 때까지 거리 d만큼 이동하였다. 이와 같이 물체가 출발한 순간부터 $4d$만큼 이동하는 동안, 물체의 평균 속력[m/s]은? (단, 물체는 일직선상에서 운동한다)

① 6

② 8

③ 9

④ 12

정답 3번

간단한 해설

평균 속력은 **전체 이동 거리를 전체 걸린 시간으로 나눈 값**이다. 등가속도 구간에서는 처음과 나중 속력의 산술평균으로 각 구간의 시간을 구할 수 있으며, 세 구간의 시간을 합해 계산하면 평균 속력은 9 m/s이다.

계산 과정

평균 속력은 전체 이동 거리를 전체 걸린 시간으로 나누어 구한다. 각 구간의 시간을 각각 t_1, t_2, t_3라 하자. 한 방향으로 등가속도 운동을 하는 구간에서는 속력이 시간에 따라 일정하게 변하므로, 구간 평균 속력은 **처음 속력과 나중 속력의 산술평균**이다.

첫 구간: 속력이 0에서 12 m/s로 증가하므로 평균 속력은 $\frac{0+12}{2} = 6\text{m/s}$이다. 거리 d를 이동하는 데 걸린 시간은 $t_1 = \frac{d}{6\text{m/s}}$이다.

둘째 구간: 12 m/s로 등속도 운동하며 거리 $2d$를 이동하므로, 걸린 시간은 $t_2 = \frac{2d}{12\text{m/s}} = \frac{d}{6\text{m/s}}$이다. 첫 구간보다 이동 거리는 두 배이지만 평균 속력도 두 배이므로 걸린 시간은 같다.

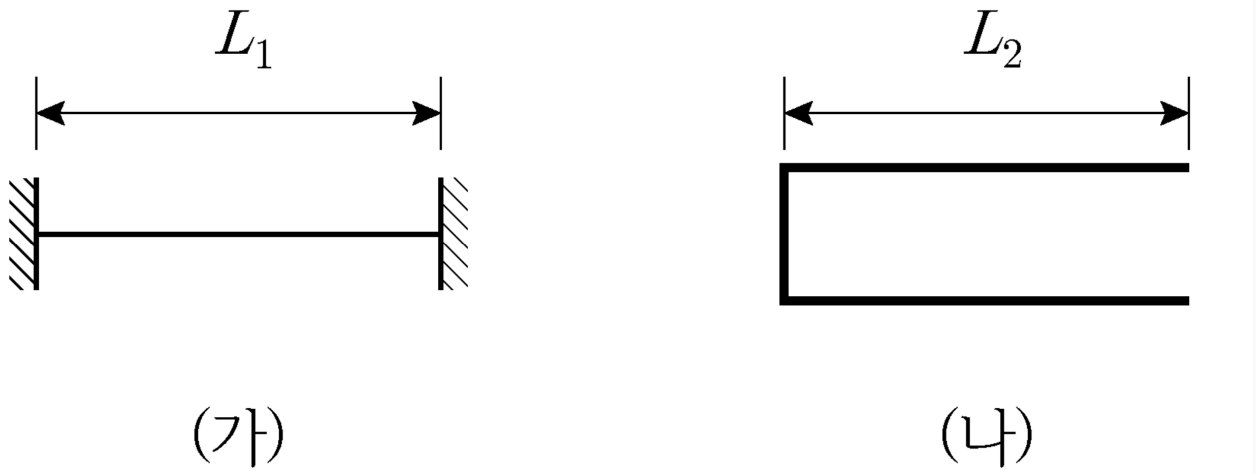
셋째 구간: 속력이 12 m/s에서 6 m/s로 감소하므로 평균 속력은 $\frac{12+6}{2} = 9\text{m/s}$이다. 거리 d를 이동하는 데 걸린 시간은 $t_3 = \frac{d}{9\text{m/s}}$이다.

전체 시간: 세 구간의 시간을 더하면 $T = t_1 + t_2 + t_3$이다. 따라서 $T = \frac{d}{6\text{m/s}} + \frac{d}{6\text{m/s}} + \frac{d}{9\text{m/s}}$이고, 정리하면 $T = \frac{4d}{9\text{m/s}}$이다.

전체 평균 속력: 전체 이동 거리는 $d + 2d + d = 4d$이므로 $\bar{v} = \frac{4d}{T} = 9\text{m/s}$이다. 구간마다 걸린 시간이 다르므로 **구간 평균 속력을 단순히 산술평균하지 않는다**. 구한 9 m/s는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 19. 그림 (가)는 양 끝이 팽팽하게 고정된 길이가 L_1인 줄을, (나)는 한쪽 끝만 열린 길이가 L_2인 관을 나타낸 것이다. (가)에서 줄을 진동시켜 발생한 파동의 전달 속력은 $3v_0$이고, (나)에서 공기 중 소리의 전달 속력은 $2v_0$이다. (가)에서 줄을 진동시켜 정상파를 만들고 (나)에서 공기를 진동시켜 정상파를 만들 때, 기본 진동의 주파수는 서로 같다. $\frac{L_1}{L_2}$은?



① 3

② $\frac{3}{2}$

③ $\frac{2}{3}$

④ $\frac{1}{3}$

정답 1번

간단한 해설

기본 진동에서 양 끝이 고정된 줄의 길이는 **반파장**이고, 한쪽 끝만 열린 관의 길이는 **4분의 1파장**이다. 이 조건과 두 주파수가 같다는 조건을 적용하면 $\frac{L_1}{L_2} = 3$이다.

NoteBase

계산 과정

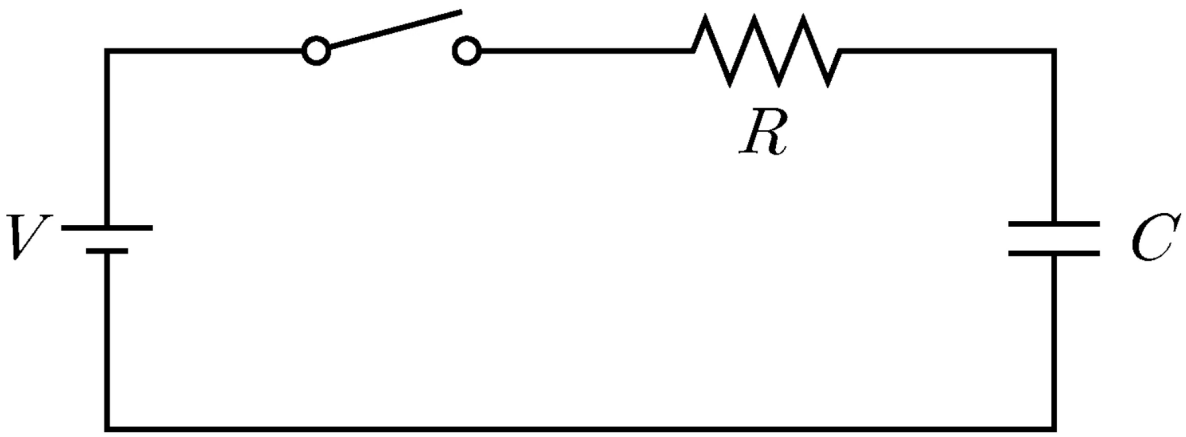
(가) 줄의 기본 진동: 양 끝이 고정되어 있으므로 두 끝은 진폭이 0인 마디이다. 기본 진동은 두 마디 사이에 배가 하나 있는 가장 긴 파장의 진동이므로, 줄의 길이는 **파장의 절반**이다. 따라서 $\lambda_1 = 2L_1$이다. 파동의 속력과 주파수 사이의 관계 $v = f\lambda$에 속력 $3v_0$을 대입하면 $f_1 = \frac{3v_0}{2L_1}$이다.

(나) 관의 기본 진동: 그림에서 왼쪽 끝은 막혀 있고 오른쪽 끝은 열려 있다. 공기 변위의 정상파는 **막힌 끝에서 마디, 열린 끝에서 배**를 이룬다. 기본 진동에서는 마디에서 가장 가까운 배까지의 거리가 관의 길이이므로 $\lambda_2 = 4L_2$이다. 소리의 속력은 $2v_0$이므로 $f_2 = \frac{2v_0}{4L_2} = \frac{v_0}{2L_2}$이다.

길이비 계산: 기본 진동의 주파수가 같으므로 $\frac{3v_0}{2L_1} = \frac{v_0}{2L_2}$이다. 공통 인자를 약분하면 $\frac{3}{L_1} = \frac{1}{L_2}$이고, 이를 정리하면 $L_1 = 3L_2$이다. 따라서 $\frac{L_1}{L_2} = 3$이며, ①의 값과 일치한다. 두 길이의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 20. 그림은 저항값이 R인 저항과 전기용량이 C인 축전기, 전압이 V인 전원, 스위치로 이루어진 회로를 나타낸 것이다. 스위치를 닫은 후 축전기 양단 전압이 $\frac{V}{2}$가 되는 데 걸린 시간은 t_1이다. 만약 이 회로를 저항값이 $2R$로 축전기 전기용량이 $3C$로 변경하여 동일한 실험을 했다면 축전기 양단 전압이 $\frac{V}{2}$가 되는 데 걸린 시간 t_2는?



① $\frac{1}{6}t_1$

② $\frac{2}{3}t_1$

③ $\frac{3}{2}t_1$

④ $6t_1$

정답 4번

간단한 해설

같은 초기 충전 상태에서 축전기 전압이 전원 전압의 절반에 도달하는 시간은 **시정수 RC에 비례**한다. 저항이 2배, 전기용량이 3배가 되므로 걸리는 시간은 6배가 되어 $t_2 = 6t_1$이다.

NoteBase

계산 과정

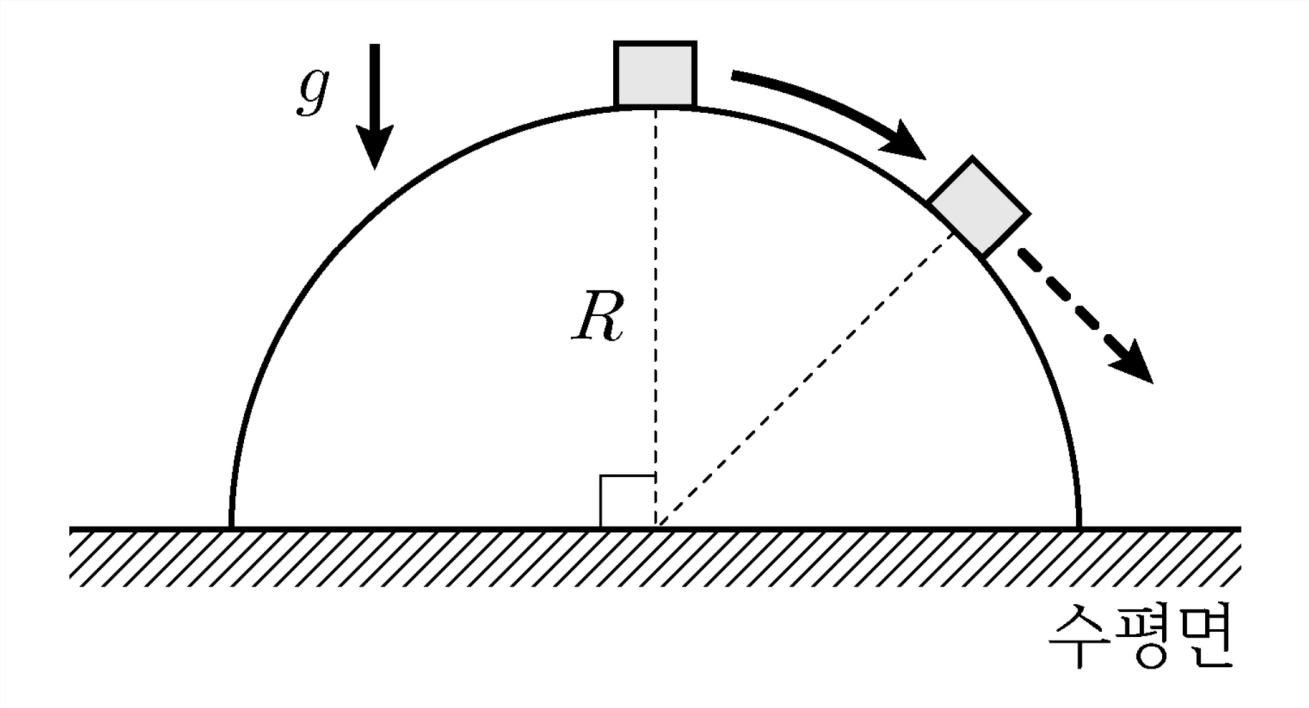
그림에서 저항과 축전기는 전원에 직렬로 연결되어 있다. 축전기는 처음에 충전되지 않은 것으로 두고, 스위치를 닫은 순간을 시간의 기준으로 잡는다. 충전 중 축전기 전압을 $V_C(t)$라 하면 $V_C(t) = V(1 - e^{-t/(RC)})$이다. 여기서 **시정수** $\tau = RC$는 충전 속도를 정하는 시간 척도이며, 값이 클수록 같은 전압에 도달하는 데 오래 걸린다.

처음 회로에서 목표 전압은 $V/2$이므로 $\frac{1}{2} = 1 - e^{-t_1/(RC)}$이다. 이를 정리하면 $e^{-t_1/(RC)} = \frac{1}{2}$이고, 양변에 자연로그를 취하면 $t_1 = RC\ln 2$를 얻는다. 즉, 전압이 최종값의 절반에 도달하는 시간은 시정수의 $\ln 2$배이다.

변경한 회로의 시정수는 $\tau_2 = (2R)(3C) = 6RC$이다. 전원 전압과 초기 충전 상태가 같고 **목표 전압의 비율도 같으므로** $t_2 = \tau_2 \ln 2 = 6RC\ln 2$이다. 따라서 $t_2 = 6t_1$이며, 이는 ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 반지름이 R인 반구면의 꼭대기에 정지해 있던 작은 물체가 중력에 의해 반구면을 따라 미끄러져 내려온다. 물체가 반구면에서 벗어나는 순간 물체의 속력은? (단, 중력가속도는 g이고, 물체의 크기와 모든 마찰은 무시한다)



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

정답 1번

간단한 해설

물체가 반구면을 벗어나는 순간에는 **수직항력이 0**이 되어 중력의 중심 방향 성분만 구심력을 제공한다. 이 조건과 역학적 에너지 보존을 함께 적용하면 이탈 속력은 $v=\sqrt{\frac{2Rg}{3}}$ 이다.

NoteBase

계산 과정

물체의 질량을 m, 속력을 v, 반구의 중심에서 물체를 향하는 반지름이 위쪽 수직선과 이루는 각을 θ라 하자. 그림에서 물체는 반구면의 바깥쪽을 따라 움직이며, 이때 중심으로부터의 높이는 $R\cos\theta$이다. 따라서 꼭대기에서 내려온 높이는 $R(1-\cos\theta)$이다.

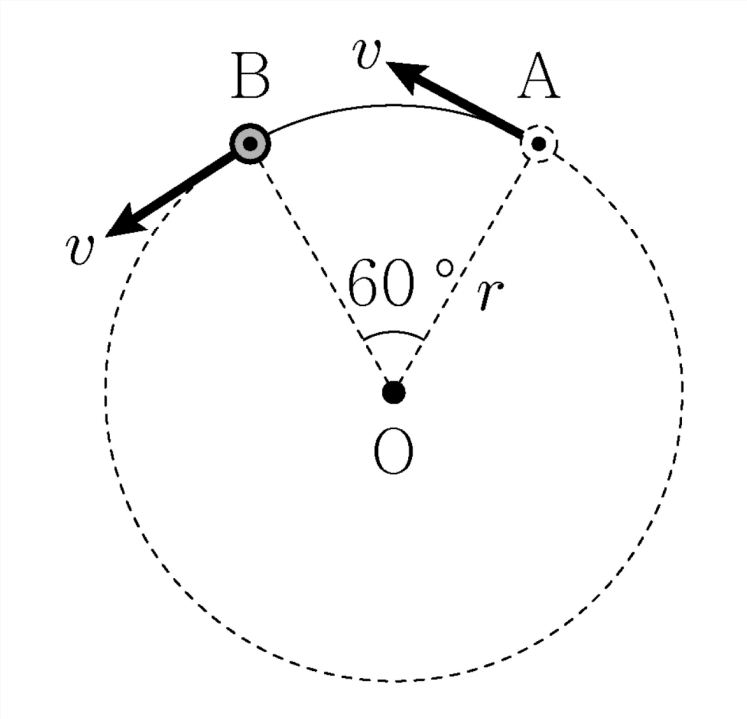
마찰이 없고 수직항력은 운동 방향에 수직이므로 일을 하지 않는다. 따라서 **감소한 중력 위치에너지가 운동에너지로 전환**된다. 처음에 정지해 있었으므로 $mgR(1-\cos\theta)=\frac{1}{2}mv^2$이고, 이를 정리하면 $v^2=2gR(1-\cos\theta)$이다.

반구면과 접촉하는 동안 중심 방향을 양의 방향으로 잡으면 중력의 성분은 $mg\cos\theta$, 바깥쪽 수직항력은 N이므로 $mg\cos\theta-N=\frac{mv^2}{R}$이다. 구심력은 별도의 힘이 아니라 이 두 힘의 중심 방향 합력이다. 반구면은 물체를 밀 수만 있으므로 **접촉이 끊어지는 경계에서 N = 0**이다. 따라서 이탈 순간에는 $v^2=gR\cos\theta$가 성립한다.

두 속력 관계를 같게 놓으면 $2gR(1-\cos\theta)=gR\cos\theta$이고, $\cos\theta=\frac{2}{3}$을 얻는다. 이는 이탈 순간의 높이가 중심보다 $\frac{2R}{3}$만큼 높고, 꼭대기에서 $\frac{R}{3}$만큼 내려왔다는 뜻이다. 이를 대입하면 $v^2=\frac{2Rg}{3}$, 따라서 $v=\sqrt{\frac{2Rg}{3}}$으로 ①과 일치한다. R을 m, g를 m/s^2 단위로 넣으면 속력의 단위는 m/s이다.

NoteBase

문 22. 그림과 같이 물체가 원점 O를 중심으로 반지름이 r인 원 궤도를 따라 일정한 속력 v로 점 A에서 점 B까지 운동하였다. 물체가 중심각이 60°인 $\widehat{AB}$를 따라 운동하는 동안 평균 가속도의 크기는? (단, 물체의 크기는 무시한다)



① 0

② $\frac{v^2}{\pi r}$

③ $\frac{2v^2}{\pi r}$

④ $\frac{3v^2}{\pi r}$

정답 4번

간단한 해설

속력은 일정하지만 **속도의 방향이 60° 바뀌므로** 속도 변화량의 크기는 v이다. 이를 이동 시간 $\frac{\pi r}{3v}$로 나누면 평균 가속도의 크기는 $\frac{3v^2}{\pi r}$이다.

NoteBase

계산 과정

평균 가속도는 **속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 벡터**이다. A와 B에서의 속도를 각각 $\vec{v}_A$, $\vec{v}_B$, 이동 시간을 Δt라 하면 그 크기는 | a_평균|=(| v_B- v_A|)/(Δ t)이다. 속력 v가 일정해도 운동 방향이 달라지면 속도 변화량이 생긴다.

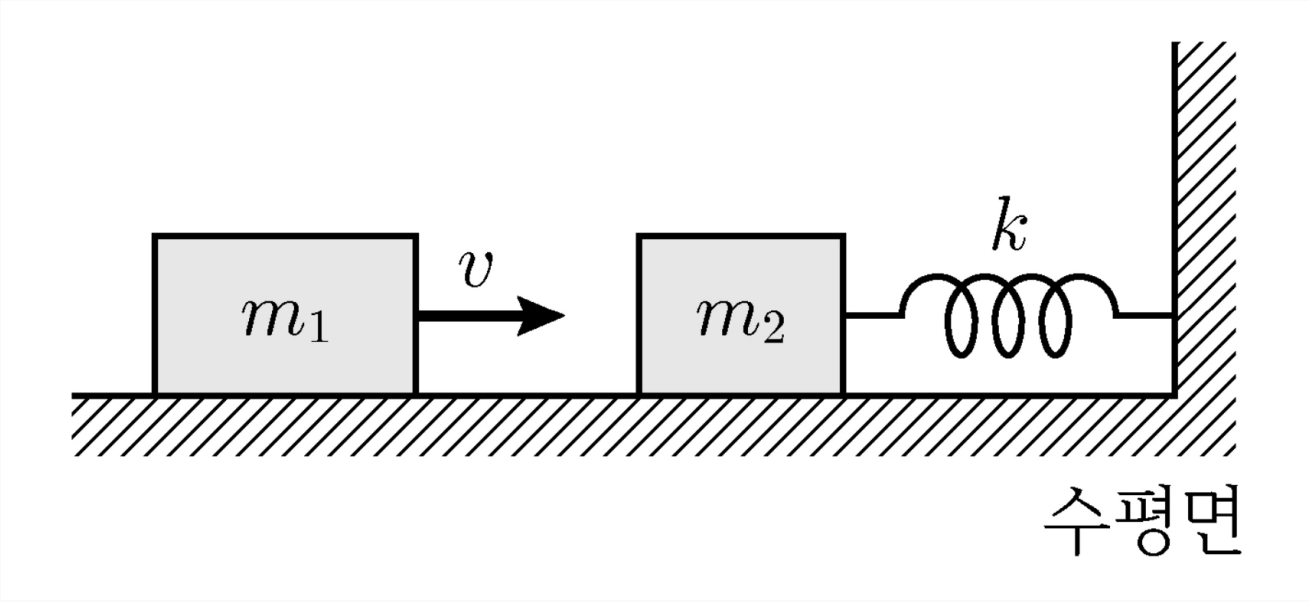
속도 변화량: 그림의 A와 B에서 속도는 각각 원의 접선 방향이며 해당 반지름에 수직이다. 두 반지름의 사이각이 60°이므로, 두 속도 벡터를 같은 시작점에 놓았을 때의 사이각도 60°이다. 두 벡터의 길이가 모두 v이므로 두 끝점을 이은 삼각형은 정삼각형이다. 따라서 **속도 변화량의 크기**는 $|\Delta\vec{v}| = |\vec{v}_B - \vec{v}_A| = v$이다.

이동 시간: 중심각 60°에 해당하는 호의 길이 s는 원둘레의 1/6이므로 $s = \frac{60^\circ}{360^\circ} \cdot 2\pi r = \frac{\pi r}{3}$이다. 일정한 속력 v로 이 거리를 이동하므로 $\Delta t = \frac{s}{v} = \frac{\pi r}{3v}$이다. 시간 계산에는 두 점 사이의 직선거리가 아니라 **실제로 이동한 호의 길이**를 사용한다.

평균 가속도의 크기: 위의 속도 변화량과 시간을 대입하면 | a_평균|=(v)/(π r/(3v))=(3v^2)/(π r)이다. r을 m, v를 m/s로 나타내면 결과의 단위는 m/s^2이다. 이 값은 ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 23. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면에서 질량 m_1인 물체가 속력 v로 운동하다가, 용수철 상수 k인 용수철에 연결되어 정지해 있던 질량 m_2인 물체와 충돌하여 서로 붙어서 단진동 운동을 한다. 단진동의 진폭은? (단, 용수철의 질량과 물체의 크기는 무시한다)



① $\frac{(m_1+m_2)v}{\sqrt{k(m_1+m_2)}}$
② $\frac{m_1v}{\sqrt{k(m_1+m_2)}}$
③ $\frac{m_2v}{\sqrt{k(m_1+m_2)}}$
④ $\frac{(m_1+m_2)v}{\sqrt{km_2}}$

정답 2번

간단한 해설

서로 붙는 충돌에서는 **운동량 보존**으로 충돌 직후의 속력을 구한다. 이후 두 물체의 운동에너지가 용수철의 탄성 퍼텐셜에너지로 바뀌므로, 진폭은 $A=\frac{m_1v}{\sqrt{k(m_1+m_2)}}$이다.

NoteBase

계산 과정

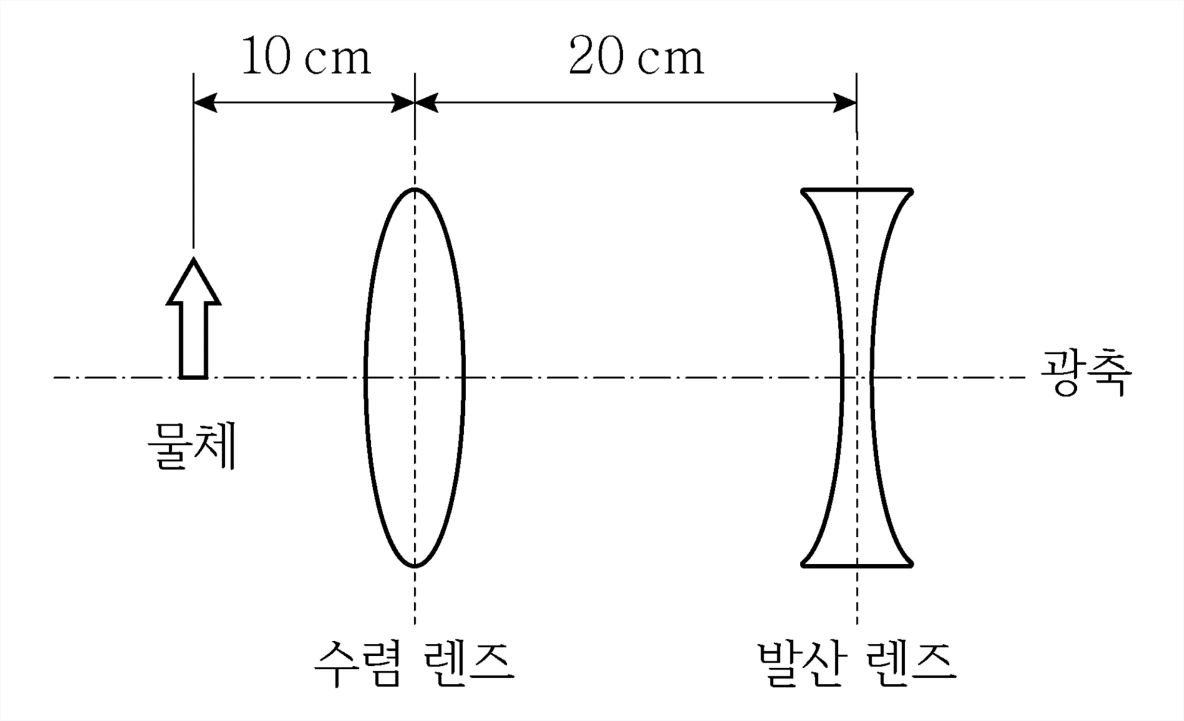
충돌 직후의 속력: 충돌 전 용수철에 연결된 물체가 마찰 없는 수평면에서 정지해 있으므로, 용수철은 변형되지 않은 평형 상태이다. 두 물체가 서로 붙는 짧은 충돌 동안 용수철이 주는 충격량은 무시할 수 있어 두 물체의 운동량이 보존된다. 충돌 직후 공통 속력을 u라 하면 $m_1 v = (m_1 + m_2)u$이므로, $u = \frac{m_1 v}{m_1 + m_2}$이다. 이 충돌은 완전 비탄성 충돌이므로 **충돌 전후의 운동에너지는 보존되지 않는다**.

충돌 후의 에너지 전환: 붙은 두 물체는 질량 $m_1 + m_2$인 하나의 물체처럼 움직인다. 충돌 직후에는 평형 위치에 있어 탄성 퍼텐셜에너지가 0이고, 속력이 u이다. 이후에는 마찰이 없어 역학적 에너지가 보존된다. **최대 압축 위치에서는 속력이 0**이고 평형 위치로부터의 변위 크기가 진폭 A이므로, $\frac{1}{2}(m_1 + m_2)u^2 = \frac{1}{2}kA^2$이다.

진폭 계산: 에너지 식에서 $A = u\sqrt{\frac{m_1 + m_2}{k}}$ 이다. 앞에서 구한 공통 속력을 대입하면 $A = \frac{m_1 v}{\sqrt{k(m_1 + m_2)}}$이며, 이는 ②의 식과 일치한다. 질량을 kg, 속력을 m/s, 용수철 상수를 N/m로 넣으면 진폭의 단위는 m이다.

NoteBase

문 24. 그림과 같이 초점 거리가 20 cm인 수렴 렌즈와 초점 거리가 10 cm인 발산 렌즈를 20 cm 간격으로 배치하고, 물체를 수렴 렌즈로부터 10 cm만큼 떨어진 지점에 놓는다. 이 광학계에 의해 만들어지는 물체의 상의 배율은?



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

정답 1번

간단한 해설

수렴 렌즈가 만든 허상은 발산 렌즈에서 보면 **왼쪽 40 cm에 있는 물체**로 작용한다. 두 렌즈의 배율을 곱하면 $2 \times \frac{1}{5} = \frac{2}{5}$이므로 최종 상은 원래 물체와 같은 방향이며 크기는 원래의 $\frac{2}{5}$이다.

NoteBase

계산 과정

렌즈 공식과 부호: 각 렌즈에 얇은 렌즈 공식 $\frac{1}{f}=\frac{1}{s}+\frac{1}{s\prime}$과 횡배율 $m=-\frac{s\prime}{s}$를 적용한다. 여기서 f는 초점 거리, s는 물체 거리, $s\prime$는 상 거리이다. 빛은 그림의 왼쪽에서 오른쪽으로 진행하며, 입사 쪽의 실물체는 s가 양수이고 출사 쪽의 실상은 $s\prime$가 양수이다. 입사 쪽의 허상은 $s\prime$가 음수이다. 수렴 렌즈의 초점 거리는 +20 cm, 발산 렌즈의 초점 거리는 −10 cm이다.

수렴 렌즈가 만드는 상: 물체가 수렴 렌즈의 왼쪽 10 cm에 있으므로 $s_1=10\text{cm}$이다. 거리를 cm 단위로 대입하면 $\frac{1}{s_1\prime}=\frac{1}{20}-\frac{1}{10}=-\frac{1}{20}$이므로 $s_1\prime=-20\text{cm}$이다. 이는 **수렴 렌즈의 왼쪽 20 cm에 생기는 허상**을 뜻한다. 배율은 $m_1=-\frac{-20}{10}=2$이므로 이 상은 원래 물체와 같은 방향이고 크기는 2배이다.

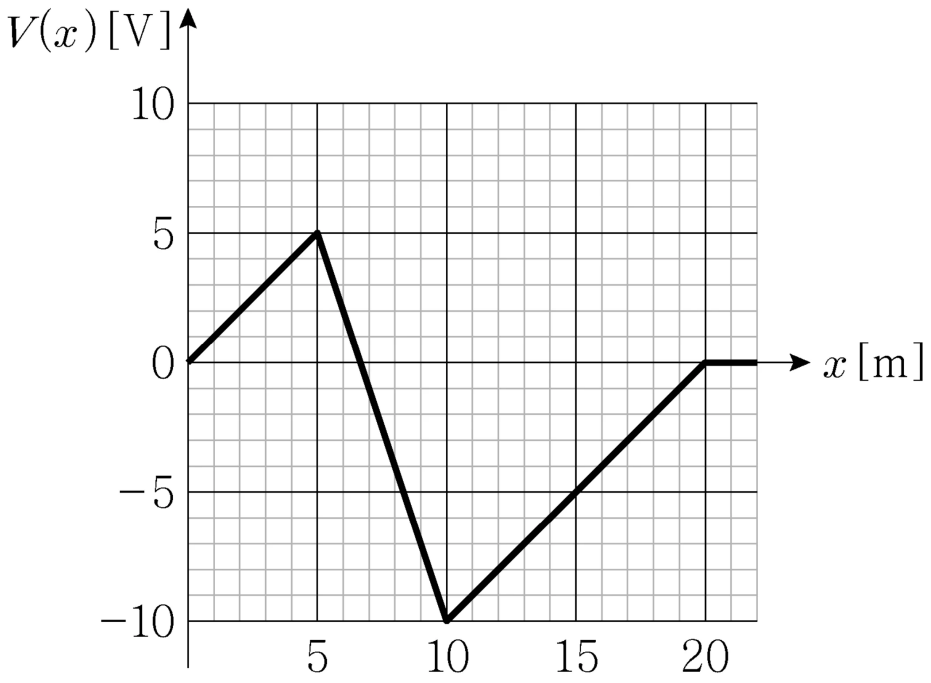
발산 렌즈의 물체 거리: 첫 렌즈를 지난 빛은 그 허상 위치에서 나온 것처럼 퍼져 발산 렌즈에 도달한다. 따라서 이 위치를 두 번째 렌즈의 물체 위치로 삼는다. 허상 위치는 수렴 렌즈의 왼쪽 20 cm이고 발산 렌즈는 수렴 렌즈의 오른쪽 20 cm에 있으므로, 발산 렌즈의 물체 거리는 **두 거리를 더한 40 cm**이다. 즉 $s_2=40\text{cm}$이다.

발산 렌즈가 만드는 상: $f_2=-10\text{cm}$와 $s_2=40\text{cm}$를 적용한다. 거리를 cm 단위로 대입하면 $\frac{1}{s_2\prime}=-\frac{1}{10}-\frac{1}{40}=-\frac{1}{8}$이므로 $s_2\prime=-8\text{cm}$이다. 최종 상은 발산 렌즈의 왼쪽 8 cm에 있는 허상이며, 이 렌즈의 배율은 $m_2=-\frac{-8}{40}=\frac{1}{5}$이다.

전체 배율: 첫 번째 상의 높이에 두 번째 렌즈의 배율이 적용되므로 **전체 배율은 두 렌즈 배율의 곱**이다. 따라서 $m=m_1m_2=2\times\frac{1}{5}=\frac{2}{5}$이다. 배율은 단위가 없으며 양수이므로 최종 상은 원래 물체와 같은 방향이다. 계산한 배율 $\frac{2}{5}$는 ①에 해당한다.

NoteBase

문 25. 그림은 좌표 x에 따른 전위 $V(x)$를 그래프로 나타낸 것이다. 전하량이 -1 C인 입자가 $x = 0$에서 $+x$ 방향으로 출발하여 $x = 20$ m를 지난다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 입자의 가속에 의한 전자기파 방출은 무시한다)



① $x = 15$ m에서 입자에 작용하는 전기력은 $-x$ 방향이다.

② 입자에 작용하는 전기력의 크기는 $x = 3$ m에서가 $x = 8$ m에서보다 크다.

③ 입자가 $x = 0$에서 6 J의 운동에너지를 가진다면 $x = 20$ m에 도달한다.

④ 입자의 속력은 $x = 5$ m에서 최대이다.

정답 4번

간단한 해설

입자가 음전하이므로 전위가 높을수록 전기적 위치에너지 $U = qV$는 낮아진다. 역학적 에너지가 보존되므로 **전위가 최대인** $x = 5$ m에서 운동에너지와 속력이 최대가 된다.

NoteBase

선지별 해설

전기장은 $E_x = -\frac{dV}{dx}$이고, 전기력은 $F_x = qE_x = -q\frac{dV}{dx}$이다. 따라서 전하량이 -1 C인 이 입자의 전기력은 전위 그래프의 기울기가 양수이면 +x 방향, 음수이면 -x 방향이다. 전기적 위치에너지는 $U = qV$이며, 전자기파 방출을 무시하므로 운동에너지 K와 위치에너지 U의 합이 보존된다.

① X: $x = 15$ m는 전위가 -10 V에서 0 V로 증가하는 10~20 m 구간에 있다. 이 구간의 기울기는 $\frac{0-(-10)}{20-10} = 1$V/m이다. 음전하에 작용하는 전기력은 **+x 방향**이며, 크기는 1 N이다.

② X: $x = 3$ m가 속한 0~5 m 구간의 기울기는 $\frac{5-0}{5-0} = 1$V/m이고, $x = 8$ m가 속한 5~10 m 구간의 기울기는 $\frac{-10-5}{10-5} = -3$V/m이다. 전기력의 크기는 전하량의 크기와 기울기의 절댓값을 곱한 값이므로 각각 1 N과 3 N이다. 따라서 전기력의 크기는 **3 m에서가 8 m에서보다 작다**.

③ X: 출발점의 전위가 0 V이므로 위치에너지는 0 J이다. 초기 운동에너지가 6 J이면 총 역학적 에너지도 6 J이다. 그런데 $x = 10$ m에서는 전위가 -10 V이므로 위치에너지가 $U = (-1)\cdot(-10) = 10$J이다. 이곳까지 가려면 운동에너지가 6 - 10 = -4 J이어야 하는데, 운동에너지는 음수가 될 수 없다. 따라서 입자는 **10 m에 이르기 전에 되돌아가며**, 20 m에 도달하지 못한다. 도착점의 전위뿐 아니라 도중의 위치에너지 장벽도 확인해야 한다.

④ O: 그래프에서 전위는 $x = 5$ m에서 5 V로 최대이다. 전하량이 -1 C이므로 이곳의 위치에너지는 $U = (-1)\cdot 5 = -5$J로 최소이다. 총 역학적 에너지가 일정하므로 **위치에너지가 최소일 때 운동에너지가 최대**이다. 질량이 일정한 입자는 $K = \frac{1}{2}mv^2$에 따라 운동에너지가 클수록 속력도 크므로, 5 m에서 속력이 최대이다.

NoteBase