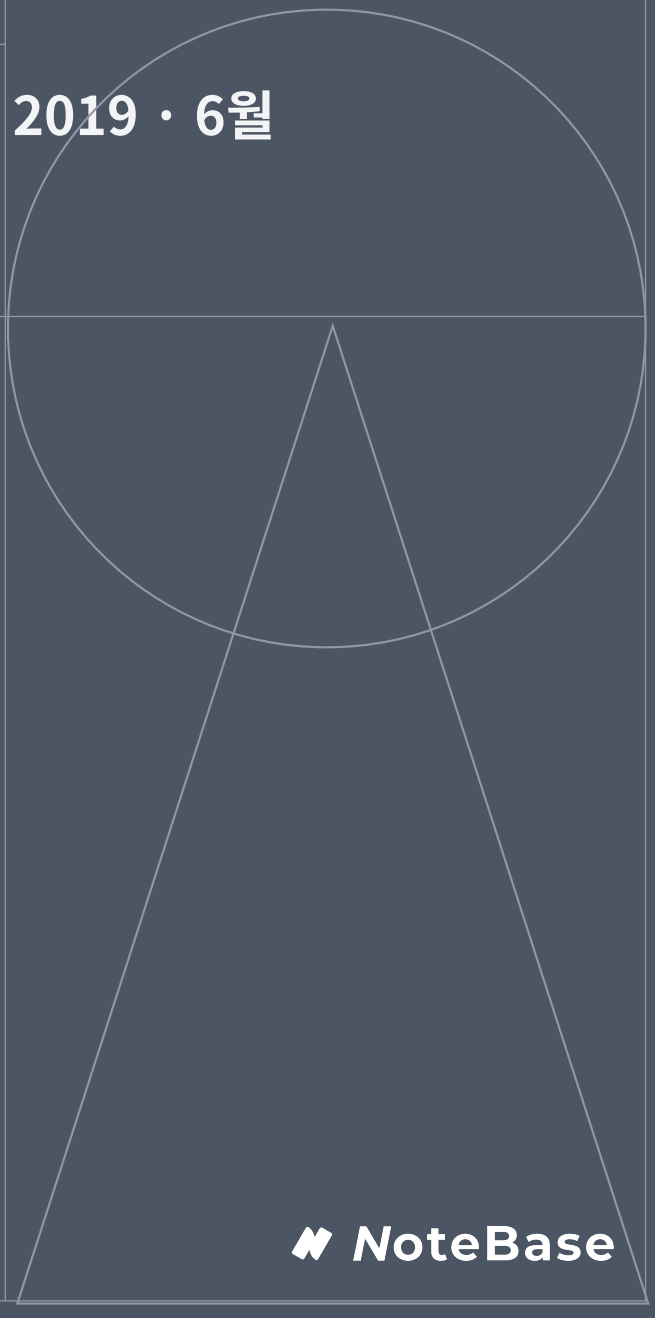
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 물리 · 2019 · 6월



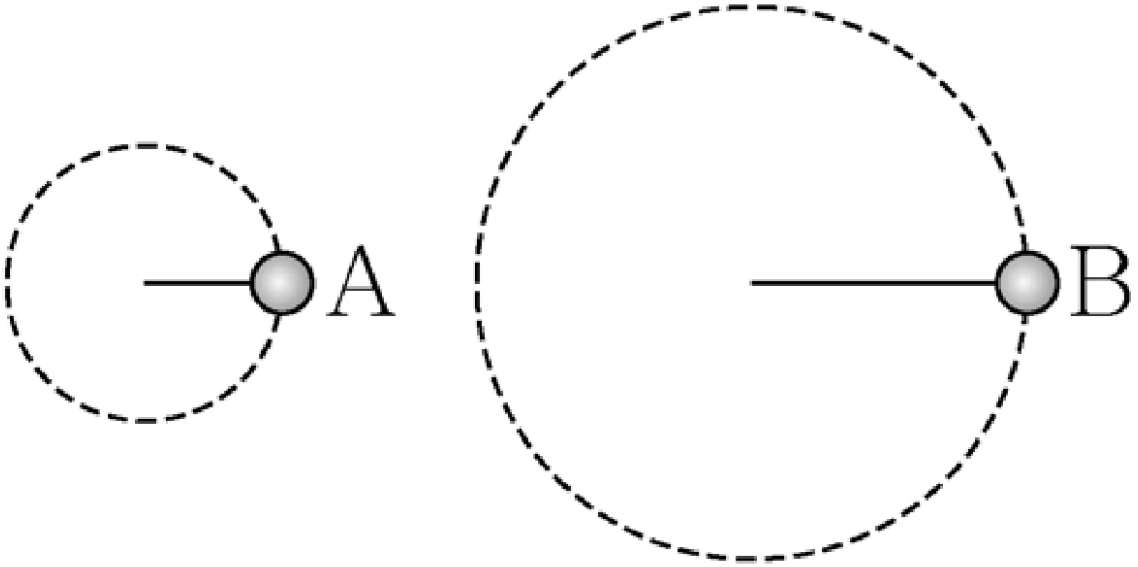
NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 물리 · 2019 · 6월

공무원/서울시/9급 · 물리 · 2019 · 6월

문 1. 두 개의 물체 A, B가 수평면에서 줄에 매달려 각각 등속 원운동을 하고 있다. 물체 A에 의한 원 궤적 반지름은 물체 B에 의한 원 궤적 반지름의 절반이고, 물체 A가 원을 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간은 물체 B가 원을 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간의 2배이다. 물체 A의 속력을 v_A, 물체 B의 속력을 v_B라 할 때, $\frac{v_B}{v_A}$의 값은?



① $\frac{1}{2}$

② 2

③ 4

④ 8

정답 3번

간단한 해설

등속 원운동의 속력은 **반지름에 비례하고 주기에 반비례**한다. B는 A보다 원 궤적의 반지름이 2배이고 한 바퀴 도는 시간은 절반이므로, B의 속력은 A의 4배이다.

NoteBase

계산 과정

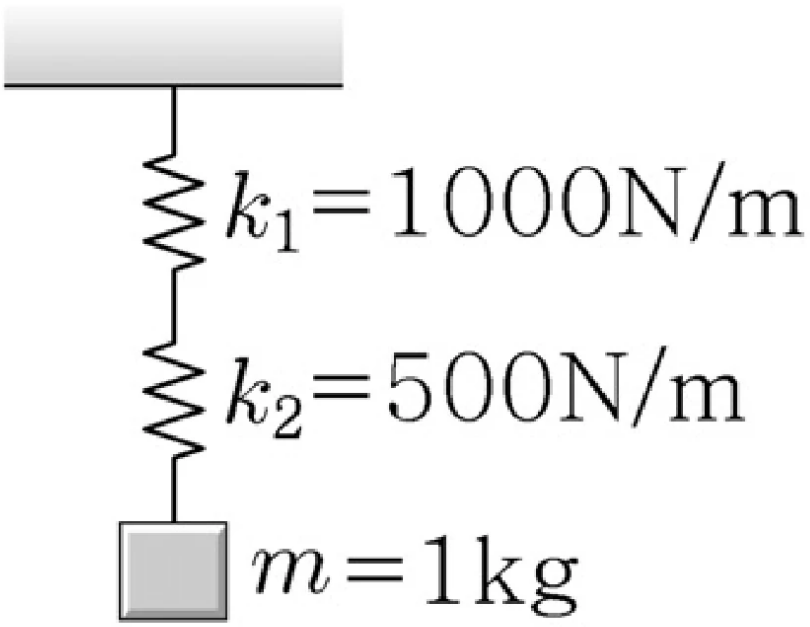
등속 원운동에서 반지름을 r, 한 바퀴 도는 데 걸리는 시간인 주기를 T라 하자. 한 바퀴 이동한 거리는 원둘레 $2\pi r$이므로, 일정한 속력은 **원둘레를 주기로 나눈 값**인 $v = \frac{2\pi r}{T}$이다.

A, B의 반지름을 각각 r_A, r_B, 주기를 각각 T_A, T_B라 하자. A의 반지름이 B의 절반이므로 $\frac{r_B}{r_A} = 2$이다. A의 주기는 B의 2배이므로 $\frac{T_A}{T_B} = 2$이다.

속력 공식을 두 물체에 적용하여 비를 구하면 $\frac{v_B}{v_A} = \frac{r_B}{r_A} \cdot \frac{T_A}{T_B}$이다. 여기서 B의 주기가 짧을수록 B의 속력이 커지므로, **주기의 비는 반지름의 비와 역순**으로 들어간다. 주어진 비를 대입하면 $\frac{v_B}{v_A} = 2 \cdot 2 = 4$이다. 속력끼리 나눈 비이므로 단위는 없으며, 이 값은 ③의 4에 해당한다.

NoteBase

문 2. 그림처럼 용수철 상수가 $k_1 = 1000\text{N/m}$, $k_2 = 500\text{N/m}$인 두 개의 용수철이 수직으로 연결되어 있다. 여기에 질량 1kg인 물체를 매달았을 때 두 용수철이 늘어난 총 길이는? (단, 중력 가속도 $g = 10\text{m/s}^2$로 한다.)



① $\frac{1}{1.5}$cm
② 1.5cm
③ $\frac{1}{3}$cm
④ 3cm

정답 4번

간단한 해설

직렬로 연결된 두 용수철에는 물체의 무게와 같은 **10 N의 힘이 각각** 작용한다. 각 용수철이 늘어난 길이는 1 cm와 2 cm이므로, 총 늘어난 길이는 3 cm이다.

NoteBase

계산 과정

힘의 크기: 그림은 두 용수철이 위아래로 이어진 직렬 연결이다. 용수철 자체의 무게를 무시하고 물체가 정지한 평형 상태로 풀이한다. 물체의 무게는 $F = mg = 1 \times 10 = 10\text{N}$이다. 아래 용수철은 물체를 지탱하고, 위 용수철은 아래 용수철을 통해 전달된 힘을 받으므로 **각 용수철에 걸리는 힘은 모두 10 N**이다.

위 용수철의 늘어난 길이: 훅의 법칙 $F = kx$에서 k는 용수철 상수, x는 자연 길이에서 늘어난 길이이다. 따라서 $x_1 = \frac{F}{k_1} = \frac{10}{1000}\text{m} = 0.01\text{m}$이므로 위 용수철은 1 cm 늘어난다.

아래 용수철의 늘어난 길이: $x_2 = \frac{F}{k_2} = \frac{10}{500}\text{m} = 0.02\text{m}$이므로 아래 용수철은 2 cm 늘어난다. 같은 힘을 받을 때 늘어난 길이는 **용수철 상수에 반비례**하므로, 용수철 상수가 절반인 아래 용수철이 두 배로 늘어난다.

총 늘어난 길이: 직렬 연결에서는 두 용수철이 늘어난 길이를 더한다. 따라서 1 + 2 = 3 cm이며, 이는 ④의 3 cm에 해당한다.

NoteBase

문 3. 지구 주위를 도는 위성의 궤도 운동에 대한 아래 설명 중 가장 옳은 것은? (단, 위성의 궤도 운동은 지구 중심을 중심으로 하는 등속 원운동이라 가정한다.)

① 궤도 운동 주기는 궤도 반지름에 반비례한다.

② 궤도 운동 주기는 위성 질량과 무관하다.

③ 같은 주기로 도는 위성의 각운동량은 위성 질량에 무관하다.

④ 궤도 운동하는 위성의 총 역학적 에너지 값은 양수이다.

정답 2번

간단한 해설

위성에 작용하는 중력이 구심력 역할을 하며, 두 힘을 같게 놓으면 **위성 질량이 약분된다**. 따라서 같은 궤도 반지름에서 주기는 위성 질량과 무관하다.

선지별 해설

지구 질량을 M, 위성 질량을 m, 지구 중심에서 위성까지의 궤도 반지름을 r, 속력을 v, 중력 상수를 G라 하자. 중력이 구심력 역할을 하므로 $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$이고, 이를 정리하면 $v^2 = \frac{GM}{r}$이다.

① X: 주기 T는 궤도 한 바퀴의 길이를 속력으로 나눈 값이므로 $T = \frac{2\pi r}{v} = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다. 지구 질량이 일정할 때 $T \propto r^{3/2}$이므로, 주기는 궤도 반지름에 반비례하는 것이 아니라 **반지름이 클수록 길어진다**.

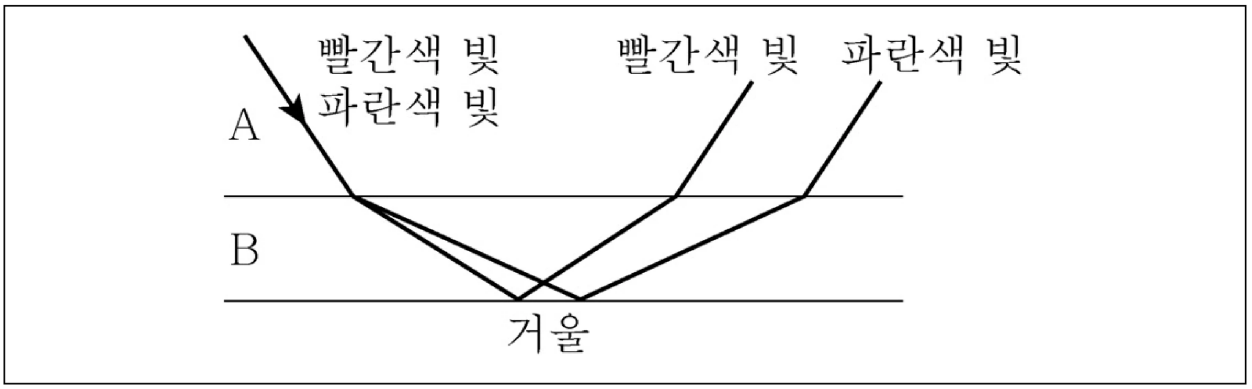
② O: 중력과 구심력 식에서 위성 질량 m이 약분되므로, 주기 식에는 **위성 질량이 포함되지 않는다**. 같은 지구 주위에서 같은 궤도 반지름으로 원운동하는 위성은 질량이 달라도 주기가 같다.

③ X: 같은 지구 주위에서 주기가 같으면 주기 식에 따라 궤도 반지름이 같고, 속력도 같다. 지구 중심에 대한 각운동량의 크기는 속도와 반지름 방향이 수직이므로 $L = mrv$이다. 따라서 같은 주기로 도는 위성의 각운동량 크기는 **위성 질량에 비례한다**.

④ X: 무한히 먼 곳의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 정하면 $U = -\frac{GMm}{r}$이다. 원운동 조건에서 운동 에너지는 $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$이므로, 총 역학적 에너지는 $E = K + U = -\frac{GMm}{2r}$로 **음수**이다. 이는 위성이 지구의 중력에 묶여 있어 무한히 멀리 벗어나려면 에너지를 더 공급해야 함을 뜻한다.

NoteBase

문 4. 그림은 매질 A에서 같은 경로로 입사하여 매질 B를 지나 거울에서 반사한 빨간색 빛과 파란색 빛의 경로를 나타낸 것이다. B에서 두 빛에 대한 매질의 굴절률은 n으로 같다. A와 B의 경계면은 거울 면과 나란하다. <보기>에서 이에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고른 것은?



<보기>

ㄱ. 반사하고 B를 지나 A로 굴절하여 나온 빨간색과 파란색 빛의 경로는 서로 나란하다.

ㄴ. 빨간색 빛에 대한 A의 굴절률은 n보다 작다.

ㄷ. 파란색 빛에 대한 A의 굴절률이 빨간색 빛에 대한 A의 굴절률보다 크다.

① ㄱ

② ㄴ

③ ㄱ, ㄷ

④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 3번

간단한 해설

B로 들어갈 때 빨간색 빛이 법선에서 멀어지는 방향으로 꺾이므로, 빨간색 빛에 대한 A의 굴절률은 **n보다 크다**.
같은 입사각에서 파란색 빛의 굴절각이 더 크므로, A의 굴절률도 **파란색 빛에 대해 더 크다**.

NoteBase

보기별 해설

입사각과 굴절각은 모두 경계면에 수직인 법선을 기준으로 잰다. A에서 두 빛의 공통 입사각을 θ, B에서 각 빛의 굴절각을 r, 그 빛에 대한 A의 굴절률을 n_A라 하면, 스넬 법칙에 따라 $n_A \sin\theta = n \sin r$이다.

ㄱ. O: 경계면과 거울이 나란하므로 두 면의 법선도 나란하다. 거울에서는 입사각과 반사각이 같으므로, 각 빛이 반사 후 B에서 A로 향할 때의 입사각은 처음 B에서의 굴절각 r와 같다. A로 나온 빛이 법선과 이루는 각을 θ'라 하면 $n \sin r = n_A \sin\theta'$이다. 처음 굴절할 때의 관계와 비교하면 $\theta' = \theta$이다. 따라서 두 빛은 A로 나오는 위치는 달라도 **법선과 이루는 각이 같아** 서로 나란하다.

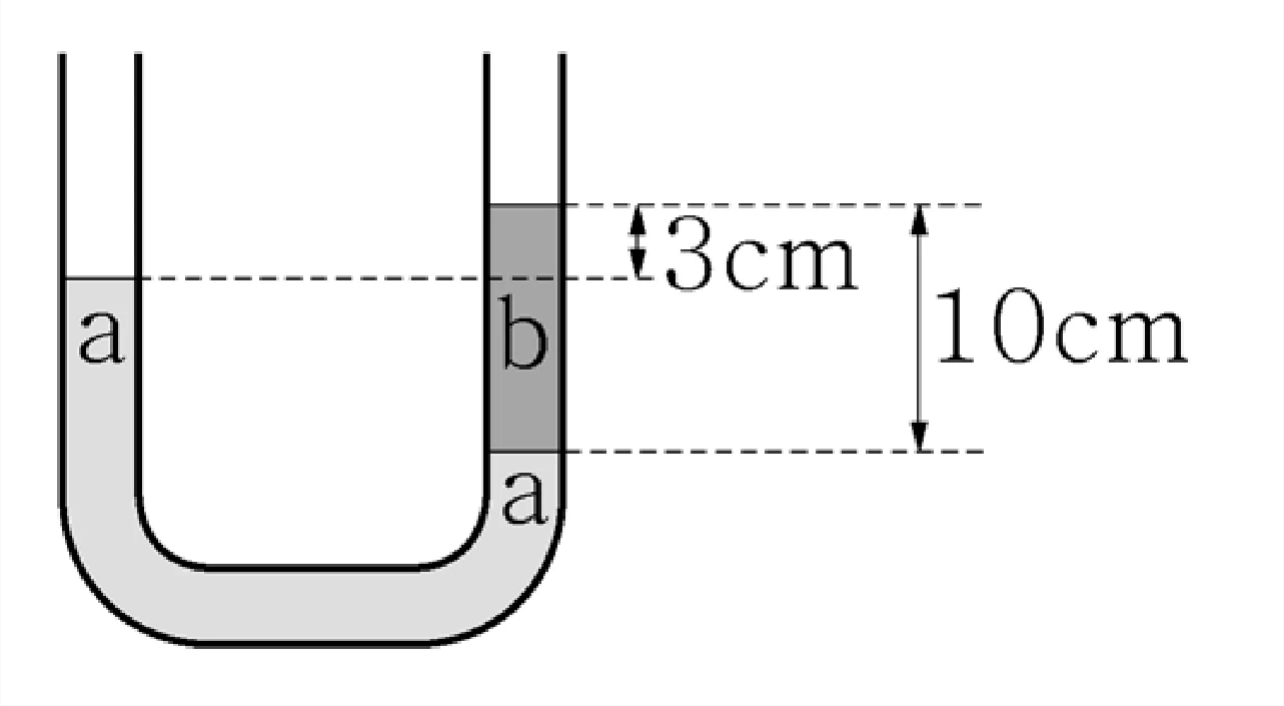
ㄴ. X: 그림에서 빨간색 빛은 A에서 B로 들어갈 때 법선에서 멀어지는 방향으로 꺾이므로, 굴절각이 입사각보다 크다. 즉 $r > \theta$이므로 스넬 법칙에서 $n_A > n$이다. 따라서 빨간색 빛에 대한 A의 굴절률은 n보다 작은 것이 아니라 **n보다 크다**.

ㄷ. O: 그림에서 파란색 빛은 빨간색 빛보다 오른쪽에서 거울에 반사하며, B에서의 경로가 경계면에 더 가깝게 기울어져 있다. 따라서 법선을 기준으로 한 **굴절각은 파란색 빛이 더 크다**. 두 빛의 입사각 θ와 B의 굴절률 n이 같으므로, $n_A \sin\theta = n \sin r$에서 굴절각이 큰 파란색 빛에 대한 A의 굴절률이 더 크다.

옳은 보기는 ㄱ, ㄷ이므로 ③에 해당한다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 U모양의 관에 밀도가 ρ인 액체 a를 채우고 관의 한 쪽에 액체 b를 높이 10cm만큼 채웠더니 액체 윗면의 높이차가 3cm가 되었다. b의 밀도는?



① $\frac{3}{10}\rho$
② $\frac{3}{7}\rho$
③ $\frac{3}{5}\rho$
④ $\frac{7}{10}\rho$

정답 4번

간단한 해설

액체 a와 b의 경계면 높이에서 **양쪽 압력이 같아야 한다**. 경계면 위 액체 기둥의 높이는 a가 7 cm, b가 10 cm이므로, b의 밀도는 $\frac{7}{10}\rho$이다.

NoteBase

계산 과정

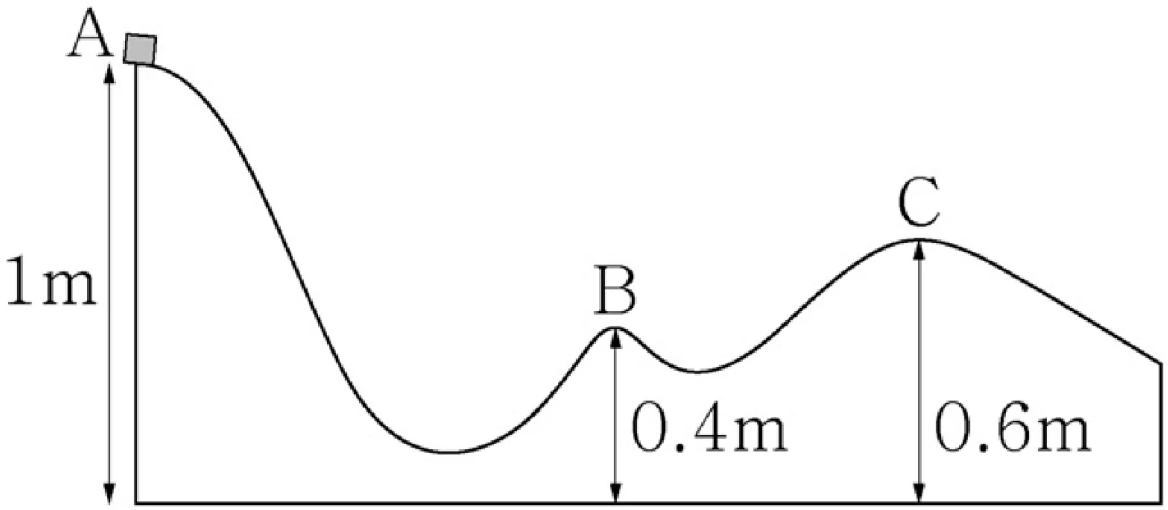
높이 확인: 오른쪽 b의 윗면은 왼쪽 a의 윗면보다 3 cm 높고, b 기둥 전체의 높이는 10 cm이다. 따라서 a와 b의 경계면을 기준으로 왼쪽 a의 윗면까지 높이는 10 − 3 = 7 cm이다. 압력 비교에 쓰는 높이는 **경계면 위 액체 기둥의 높이**이므로, a 쪽은 7 cm, b 쪽은 10 cm이다.

압력 평형: 정지한 채 연결된 같은 액체에서는 같은 수평면의 압력이 같다. 오른쪽 경계면과 같은 높이의 왼쪽 a 내부를 비교하면 된다. 양쪽 윗면에는 같은 대기압이 작용하고, 액체 기둥에 의한 압력 증가는 밀도 × 중력 가속도 × 높이이다. b의 밀도를 ρ_b, 중력 가속도를 g, 비교할 기둥 높이를 각각 h_a, h_b라 하면, 대기압을 소거하여 $\rho g h_a = \rho_b g h_b$를 얻는다.

밀도 계산: 양변의 g를 약분하면 $\rho_b = \rho \frac{h_a}{h_b}$이다. 두 높이를 같은 단위인 cm로 넣으면 높이의 비에서 단위가 소거되므로, $\rho_b = \rho \frac{7}{10} = \frac{7}{10}\rho$이다. b의 밀도는 a 밀도의 7/10이며, 이는 ④의 값이다.

NoteBase

문 6. 위치 A에서 초기 속력이 0인 상태의 물체가 움직이기 시작하여 위치 B와 C를 지날 때 물체의 속력이 각각 v_B, v_C라고 하자. $\frac{v_B^2}{v_C^2}$의 값은? (단, 마찰은 무시한다.)



① $\frac{3}{2}$
② $\frac{9}{4}$
③ $\frac{2}{3}$
④ $\frac{4}{9}$

정답 1번

간단한 해설

마찰이 없고 A에서 정지 상태로 출발하므로 **속력의 제곱은 A에서 내려온 높이에 비례**한다. B와 C까지 내려온 높이는 각각 0.6 m, 0.4 m이므로 $\frac{v_B^2}{v_C^2} = \frac{3}{2}$이다.

NoteBase

계산 과정

높이 확인: 그림의 아래 수평선을 기준으로 A의 높이는 1 m, B는 0.4 m, C는 0.6 m이다. 속력을 결정하는 것은 각 지점의 높이 자체가 아니라 **출발점 A와의 높이 차**이다.

에너지 관계: 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 각 지점의 높이를 h_A, h_B, h_C라고 하자. 마찰이 없으므로 역학적 에너지가 보존되고, A에서는 속력이 0이므로 운동 에너지도 0이다. 따라서 높이 h인 지점에서는 $mgh_A = mgh + \frac{1}{2}mv^2$가 성립한다. 이를 정리하면 $v^2 = 2g(h_A - h)$이다. 즉, **감소한 중력 위치 에너지가 운동 에너지로 전환**된다.

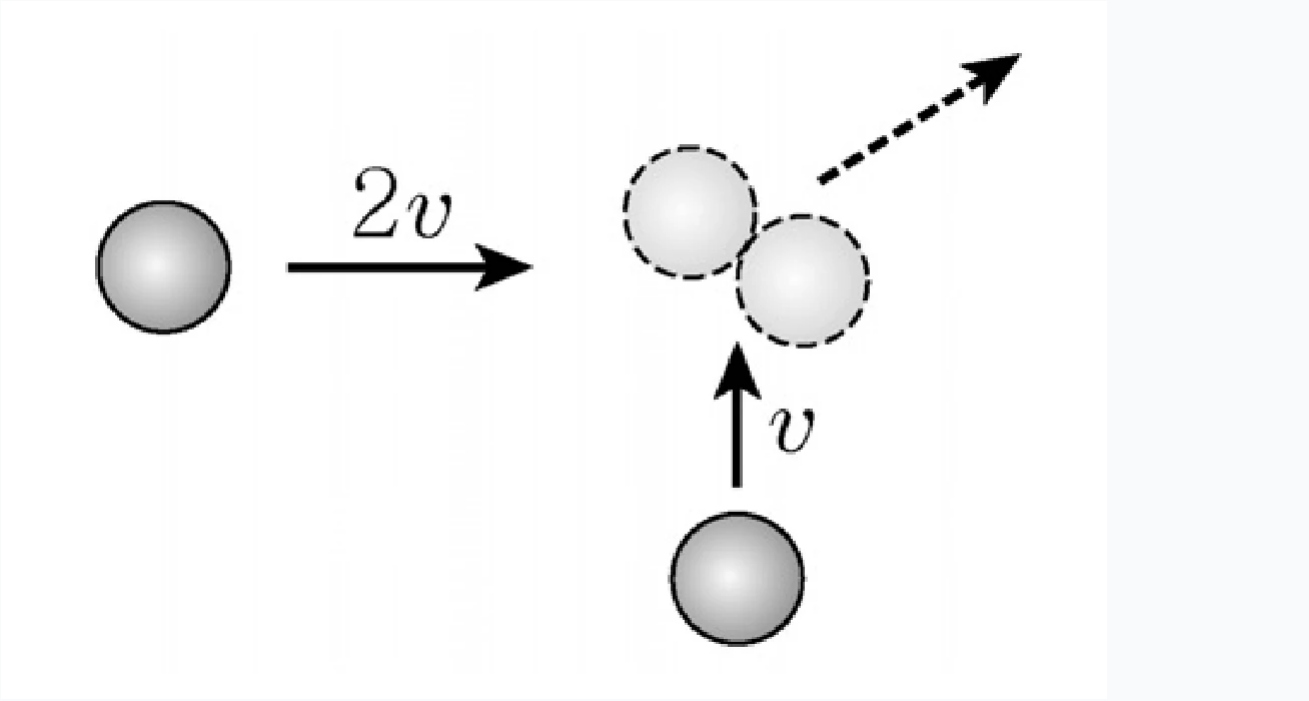
B에서의 속력: A에서 B까지 내려온 높이는 $1 - 0.4 = 0.6$ m이다. 따라서 $v_B^2 = 2g \cdot (0.6\text{m})$이다.

C에서의 속력: C까지 내려온 높이도 출발점 A를 기준으로 구한다. 높이 차가 $1 - 0.6 = 0.4$ m이므로 $v_C^2 = 2g \cdot (0.4\text{m})$이다. B를 지난 뒤의 경로 모양은 이 에너지 관계를 바꾸지 않는다.

비 계산: 두 식의 공통 인자 2g가 약분되므로 $\frac{v_B^2}{v_C^2} = \frac{0.6\text{m}}{0.4\text{m}} = \frac{3}{2}$이다. 같은 단위끼리 나눈 비이므로 단위가 없으며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 7. 그림과 같이 마찰이 없는 평면상에서 질량이 같은 두 물체가 각각 수평방향으로 $2v$, 수직방향으로 v의 초기속도로 진행하다 충돌하여 하나로 뭉쳐져 계속 진행한다. 충돌 후 두 물체의 총 역학적 에너지는 충돌 전 총 역학적 에너지의 몇 배인가?



① 0.1배

② 0.5배

③ 1배

④ 2배

정답 2번

간단한 해설

두 물체가 붙는 충돌에서는 **운동량은 보존되지만 운동에너지는 보존되지 않는다**. 서로 수직인 두 방향의 운동량을 각각 보존시켜 구한 충돌 후 운동에너지는 충돌 전의 0.5배이다.

NoteBase

계산 과정

각 물체의 질량을 m, 충돌 후 두 물체의 공통 속도를 V라 하자. 같은 평면에서 운동하므로 그 평면의 중력 퍼텐셜 에너지를 0으로 잡고, 총 역학적 에너지를 운동에너지로 계산한다. 두 물체가 하나로 붙는 **완전 비탄성 충돌**에서는 운동에너지 일부가 내부 에너지 등으로 전환된다.

충돌 전: 두 물체의 운동에너지는 속력의 제곱에 비례하므로 각각 더한다. 총 운동에너지는 K_i=12 m(2v)^2+12 mv^2, 즉 K_i=52 mv^2이다.

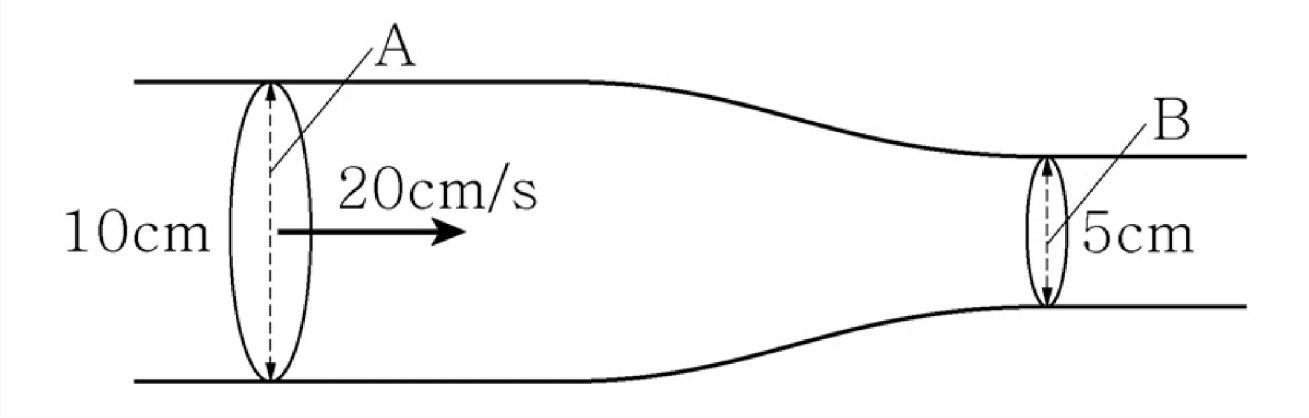
충돌 후 속도: 그림의 오른쪽을 x방향, 위쪽을 y방향으로 잡는다. 평면에 나란한 외력이 없으므로 **각 방향의 운동량이 따로 보존**된다. 붙은 물체의 질량은 2m이므로 $2mv = 2mV_x$, $mv = 2mV_y$이다. 따라서 $V_x = v$, V_y= v2이다. 두 성분은 서로 수직이므로 V^2=V_x^2+V_y^2=54 v^2이다.

충돌 후 에너지: 질량 2m인 한 물체가 속력 V로 움직이므로 K_f=12(2m)V^2=mV^2이다. 위에서 구한 속력의 제곱을 대입하면 K_f=54 mv^2이다.

에너지의 비: 충돌 후 에너지를 충돌 전 에너지로 나누면 (K_f)/(K_i)=54·25=12이다. 두 에너지의 단위가 약분되어 비에는 단위가 없으며, 충돌 후 총 역학적 에너지는 충돌 전의 0.5배로 ②에 해당한다.

NoteBase

문 8. 그림처럼 지름이 10cm에서 5cm로 줄어드는 관이 있다. 지름이 큰 부분인 단면적 A에서 유입되는 유체의 속력이 20cm/s였다면, 줄어든 단면적 B에서 유체의 속력은? (단, 유체는 정상흐름을 하고 있다.)



① 80cm/s

② 40cm/s

③ 10cm/s

④ 5cm/s

정답 1번

간단한 해설

밀도가 일정한 유체의 정상흐름에서는 **단면적과 속력의 곱이 일정**하다. 지름이 절반이면 단면적은 1/4이 되므로, B에서의 속력은 A의 4배인 80 cm/s이다.

계산 과정

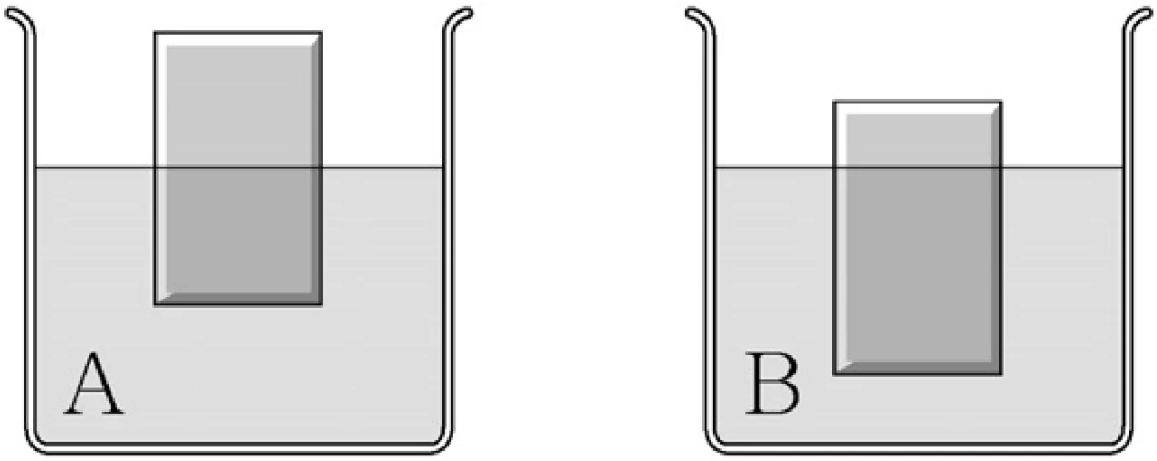
1. 연속 방정식 적용: 이 문제에서는 유체의 밀도가 일정하다고 보고 풀이한다. 정상흐름에서 관 안에 유체가 쌓이지 않으므로 A와 B를 단위 시간에 통과하는 부피가 같다. 단면적을 S_A, S_B, 속력을 v_A, v_B라 하면 부피 유량은 단면적과 속력의 곱이므로 $S_A v_A = S_B v_B$이다.

2. 단면적의 비: 그림에서 A와 B의 지름은 각각 10 cm, 5 cm이다. 원의 넓이는 $S = \pi d^2/4$이므로 단면적은 **지름의 제곱에 비례**한다. 따라서 $\frac{S_A}{S_B} = \left(\frac{10}{5}\right)^2 = 4$이며, B의 단면적은 A의 1/4이다.

3. B의 속력: $v_B = \frac{S_A}{S_B} v_A$에 단면적 비 4와 A의 속력 20 cm/s를 대입한다. 같은 부피의 유체가 더 좁은 단면을 통과해야 하므로 속력은 4배가 되어 $4 \times 20 = 80$ cm/s이다. 이는 ①의 80 cm/s에 해당한다.

NoteBase

문 9. 두 개의 컵에 서로 다른 유체 A, B가 담겨 있다. 각각의 컵에 동일한 재질로 만든 같은 크기의 균일한 물체를 넣었을 때 유체 A, B에 잠긴 정도가 달랐다. 유체 A에는 물체의 절반이 잠겼고, 유체 B에는 물체의 $\frac{3}{4}$이 잠긴 상태에서 평형을 유지하고 있다. 유체 A, B의 밀도를 ρ_A, ρ_B라고 할 때 $\frac{\rho_A}{\rho_B}$의 값은?



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

정답 1번

간단한 해설

같은 무게의 물체가 떠서 평형을 이루므로 두 유체가 물체에 주는 부력은 같다. 따라서 **유체의 밀도는 잠긴 부피에 반비례**하며, $\frac{\rho_A}{\rho_B} = \frac{3}{2}$이다.

NoteBase

계산 과정

두 물체는 같은 재질로 만든 같은 크기의 균일한 물체이므로 질량과 전체 부피가 각각 같다. 이를 m, V라 하고 중력가속도를 g라 하자. 아르키메데스 원리에 따라 부력은 물체가 밀어낸 유체의 무게, 즉 F_b=ρ gV_잠김이다. 떠서 평형을 이루는 물체는 **부력과 무게가 같으므로** ρ gV_잠김=mg가 성립한다.

유체 A: 물체의 절반이 잠겨 있으므로 밀어낸 유체의 부피는 $\frac{V}{2}$이다. 평형 조건은 $\rho_A g\frac{V}{2} = mg$이다.

유체 B: 물체의 $\frac{3}{4}$이 잠겨 있으므로 밀어낸 유체의 부피는 $\frac{3V}{4}$이다. 평형 조건은 $\rho_B g\frac{3V}{4} = mg$이다.

밀도비: 두 식의 오른쪽이 같으므로 공통인 g와 V를 약분하면 $\frac{\rho_A}{2} = \frac{3\rho_B}{4}$이다. 따라서 $\frac{\rho_A}{\rho_B} = \frac{3}{4} \div \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$이며, 이는 ①의 값과 일치한다. 밀도끼리의 비이므로 단위는 없다. A에서는 **더 작은 부피만 잠겨도 같은 무게를 지탱**하므로 A의 밀도가 B보다 크다는 점도 확인할 수 있다.

NoteBase

문 10. 높이 80m 되는 폭포에서 물이 떨어질 때 중력에 의한 위치 에너지의 감소가 모두 물의 내부 에너지로 변화하였다면 폭포 바닥에 떨어진 물의 온도 변화는? (단, 중력 가속도 g = 10m/s^2 = 10N/kg, 물의 비열 c = 4kJ/kg·K로 한다.)

① 20K

② 5K

③ 0.5K

④ 0.2K

정답 4번

간단한 해설

감소한 위치 에너지가 **모두 물의 내부 에너지로 전환**되므로 $mgh = mc\Delta T$가 성립한다. 비열을 J 단위로 환산하여 계산하면 물의 온도는 **0.2 K 상승**한다.

계산 과정

물의 질량을 m, 낙하 높이를 h, 온도 상승량을 ΔT라 하자. 높이 h만큼 떨어질 때 감소하는 중력 위치 에너지는 mgh이고, 물의 온도를 ΔT만큼 높이는 데 필요한 에너지는 $mc\Delta T$이다. 위치 에너지 감소량이 **모두 내부 에너지 증가량이 된다**는 조건에 따라 $mgh = mc\Delta T$로 놓는다.

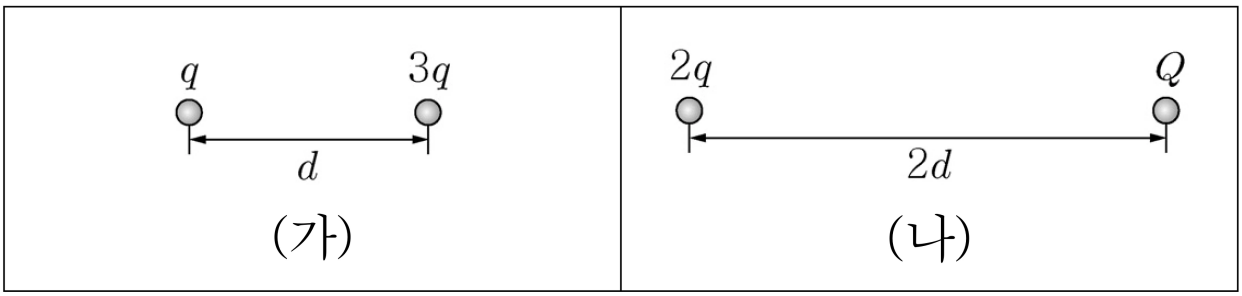
양변에서 같은 물의 질량 m을 약분하면 $\Delta T = \frac{gh}{c}$이다. 따라서 물의 질량을 몰라도 온도 변화를 구할 수 있다. 에너지 단위를 맞추기 위해 **비열을 4000 J/(kg·K)로 환산**한다. 이는 물 1 kg의 온도를 1 K 높이는 데 4000 J이 필요하다는 뜻이다.

주어진 g = 10 m/s^2, h = 80 m를 대입하면 $\Delta T = \frac{10 \cdot 80}{4000} = 0.2\text{K}$이다. 물 1 kg당 감소한 위치 에너지 800 J이 내부 에너지로 전환되어 온도가 0.2 K 높아진다.

따라서 온도 변화는 0.2 K이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 12. 그림 (가)와 같이 q, $3q$의 전하가 거리 d만큼 떨어져 정지해 있을 때 두 전하 사이의 힘의 크기는 F이다. 그림 (나)와 같이 $2q$, Q의 전하가 거리 $2d$만큼 떨어져 있을 때 두 전하 사이의 힘의 크기는 $2F$이다. Q의 크기는?



① 4q

② 6q

③ 8q

④ 12q

정답 4번

간단한 해설

전기력은 **두 전하량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례**한다. 거리가 2배인데 힘도 2배이므로 전하량의 곱은 8배여야 하며, 한 전하가 q에서 2q로 바뀌었으므로 다른 전하의 크기는 3q의 4배인 12q이다.

계산 과정

쿨롱 법칙에 따르면 두 점전하 사이의 전기력의 크기는 $F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$이다. 여기서 k는 쿨롱 상수, r은 두 전하 사이의 거리이다. 두 경우에 같은 k를 적용하며, 구하려는 Q의 크기를 $|Q|$로 나타낸다.

(가): 전하량이 q, 3q이고 거리가 d이므로 $F = k\frac{q \cdot 3q}{d^2} = \frac{3kq^2}{d^2}$이다. 이 식이 두 경우의 힘을 비교하는 기준이 된다.

(나): 전하량의 크기는 2q, $|Q|$이고 거리는 2d이다. **거리를 제곱하면 분모가 4배**가 되므로 $2F = k\frac{2q|Q|}{(2d)^2} = \frac{kq|Q|}{2d^2}$이다.

두 식의 비를 구하면 $2 = \frac{kq|Q|}{2d^2} \cdot \frac{d^2}{3kq^2} = \frac{|Q|}{6q}$이다. 따라서 $|Q| = 12q$이며, 이는 ④의 12q에 해당한다.

NoteBase

문 13. 극판의 면적이 A이고 간격이 d인 평행판 축전기에 전하 q가 대전되어 있을 때, 축전기에 에너지가 저장되며 단위 부피당 에너지 밀도는 u_1이다. 극판의 간격을 $2d$로 늘리고 대전된 전하를 $2q$로 만들었을 때의 에너지 밀도를 u_2라고 하면, $\frac{u_2}{u_1}$의 값은?

① 1

② 2

③ 4

④ 8

정답 3번

간단한 해설

극판 면적과 유전율이 같을 때 에너지 밀도는 **전하량의 제곱에 비례**하며 극판 간격과 무관하다. 전하량이 2배가 되므로 $\frac{u_2}{u_1} = 4$이다.

계산 과정

평행판 축전기의 가장자리 효과를 무시하고, 극판 사이 물질의 유전율 ε은 변하지 않는 것으로 본다. 극판 면적이 A, 간격이 ℓ, 전하량이 Q이면 전기용량은 $C = \frac{\varepsilon A}{\ell}$이고, 저장 에너지는 $U = \frac{Q^2}{2C}$이다.

에너지 밀도는 **저장 에너지를 극판 사이의 부피로 나눈 값**이다. 그 부피는 $A\ell$이므로 $u = \frac{U}{A\ell} = \frac{Q^2}{2\varepsilon A^2}$이다. 따라서 면적과 유전율이 같으면 에너지 밀도는 전하량의 제곱에 비례하고, 간격은 식에서 소거된다. 에너지 밀도의 단위는 $\mathrm{J/m^3}$이다.

처음에는 $u_1 = \frac{q^2}{2\varepsilon A^2}$이고, 전하량을 $2q$, 간격을 $2d$로 바꾼 뒤에는 $u_2 = \frac{(2q)^2}{2\varepsilon A^2}$이다. 두 값을 나누면 $\frac{u_2}{u_1} = \frac{(2q)^2}{q^2} = 4$이다. 이 비는 단위가 없으며, 선택지 ③의 4에 해당한다.

NoteBase

문 14. 축전기와 유도기가 직렬로 연결된 LC회로가 있다. 이 회로에 동일한 축전기와 유도기를 각각 추가로 직렬 연결하여 얻어지는 LC회로의 각진동수는 원래 LC회로 각진동수의 몇 배가 되는가?

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

정답 1번

간단한 해설

동일한 부품을 각각 직렬로 추가하면 합성 인덕턴스는 2배, 합성 전기용량은 1/2배가 된다. 각진동수를 결정하는 **인덕턴스와 전기용량의 곱이 그대로**이므로 각진동수도 원래의 1배이다.

계산 과정

원래 유도기의 인덕턴스를 L, 축전기의 전기용량을 C라 하자. 이상적인 LC회로에서는 축전기의 전기장 에너지와 유도기의 자기장 에너지가 서로 전환되며 진동한다. 이때 각진동수는 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$이고, 단위는 rad/s이다.

축전기 두 개의 직렬 연결: 직렬로 연결된 축전기에는 같은 크기의 전하가 저장되고 전체 전압은 각 축전기 전압의 합이다. 따라서 합성 전기용량 C'는 $\frac{1}{C'} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}$를 만족하므로 $C' = \frac{C}{2}$이다. 축전기를 직렬로 추가하면 **합성 전기용량은 감소**한다.

유도기 두 개의 직렬 연결: 각 유도기에는 같은 전류가 흐르고 유도 전압은 더해지므로, 합성 인덕턴스는 $L' = L + L = 2L$이다.

변경된 회로의 각진동수: $L'C' = (2L) \cdot \frac{C}{2} = LC$이므로 **각진동수를 결정하는 곱은 변하지 않는다**. 따라서 $\omega' = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega$이다. 각진동수의 비는 $\frac{\omega'}{\omega} = 1$이므로, 원래의 1배인 ①에 해당한다.

NoteBase

문 15. 가정용 스피커의 최대 일률은 스피커 1m 앞에서 1kHz의 진동수를 가지는 음파로 측정한다. 어떤 스피커의 최대 일률이 60W였다면 음파의 세기는? (단, 스피커는 점원에서 전면으로만 균일하게 반구 형태로 소리를 방출하며, 편의를 위해 π=3으로 계산한다.)

① 60W/m^2

② 30W/m^2

③ 10W/m^2

④ 5W/m^2

정답 3번

간단한 해설

음파가 퍼지는 면적은 반지름 1 m인 **반구의 곡면적** 6 m^2이다. 일률 60 W를 이 면적으로 나누면 음파의 세기는 10 W/m^2이다.

계산 과정

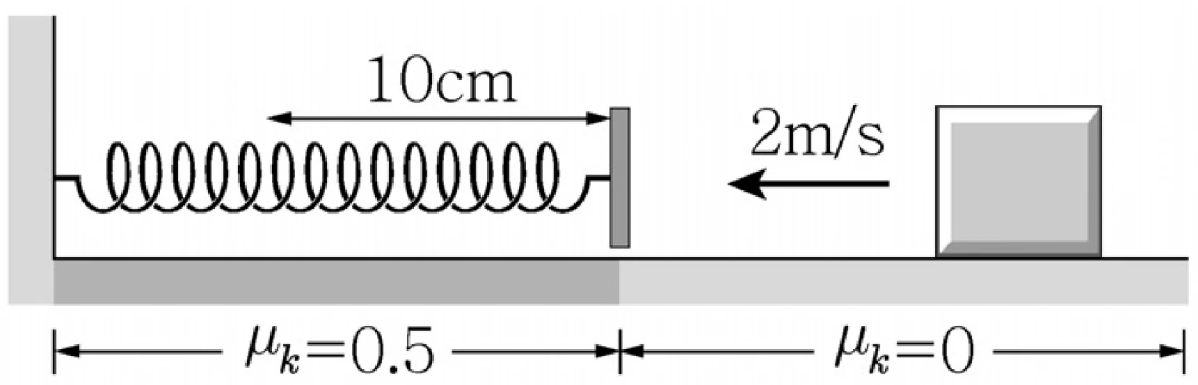
음파의 세기 I는 진행 방향에 수직인 단위 면적을 단위 시간 동안 통과하는 에너지이다. 일률 P의 음파가 면적 S에 균일하게 퍼지면 $I = \frac{P}{S}$이다. 이 문제에서는 P = 60 W이고, 스피커에서 1 m 떨어진 곳의 세기를 구한다.

소리가 **전면의 반구 형태로만** 퍼지므로, 나누어 줄 면적은 구 전체의 표면적이 아니라 반구의 곡면적 $S = 2\pi r^2$이다. r = 1 m, π = 3을 대입하면 S = 6 m^2이다. 이는 방출된 일률 60 W가 나뉘어 통과하는 면적이다.

따라서 $I = \frac{60}{6} = 10$ W/m^2이다. 이 값은 1 m 거리에서 1 m^2당 매초 10 J의 음파 에너지가 전달된다는 뜻이며, ③의 10 W/m^2에 해당한다. 주어진 진동수 1 kHz는 일률을 면적으로 나누는 이 계산에 따로 대입하지 않는다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 평평한 바닥에서 초기 속력이 2m/s인 물체가 용수철 판에 부딪친다. 용수철은 10cm만큼 압축되었다가 제자리로 돌아오고 이 순간 물체는 용수철 판에서 튕겨 나온다. 용수철이 압축되는 구간의 바닥면은 운동마찰계수가 $\mu_k = 0.5$이고 다른 바닥면은 마찰이 없다. 물체가 용수철 판에서 튕겨 나오는 순간의 속력은? (단, 중력 가속도 $g = 10m/s^2$로 한다.)



① 4m/s

② 2m/s

③ $\sqrt{2}$m/s

④ 1m/s

정답 3번

간단한 해설

용수철이 압축될 때와 원래 길이로 돌아올 때 **모두 마찰이 작용**하므로, 마찰 구간의 총 이동 거리는 20 cm이다. 처음과 나중의 용수철 탄성 퍼텐셜 에너지는 같고 운동 에너지만 마찰로 감소하여, 튕겨 나오는 속력은 $\sqrt{2}$m/s 이다.

NoteBase

계산 과정

마찰 구간의 이동 거리: 용수철 판에 닿기 전에는 마찰이 없으므로 충돌 직전 속력도 2 m/s이다. 물체는 용수철을 10 cm 압축한 뒤 같은 거리를 되돌아온다. 따라서 마찰이 작용하는 총 이동 거리는 **압축 거리의 두 배**인 20 cm, 즉 0.20 m이다.

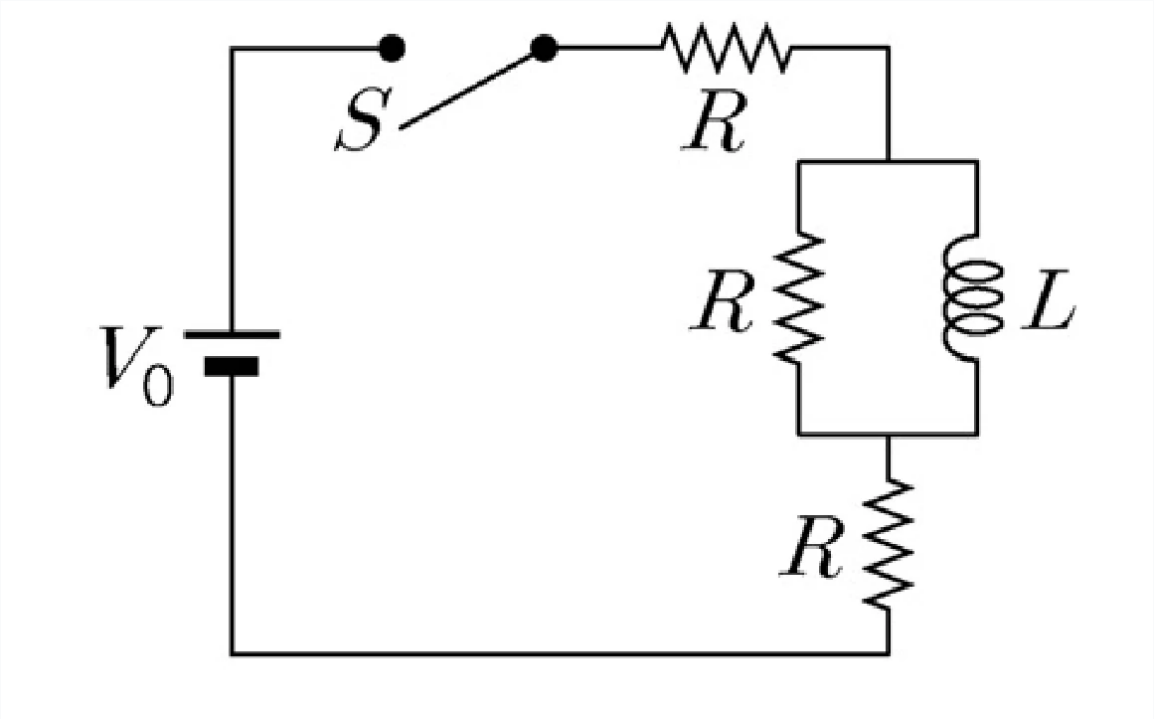
마찰에 의한 에너지 손실: 물체의 질량을 m이라 하면, 수평면에서 수직항력은 mg이므로 운동마찰력의 크기는 $f_k = \mu_k mg$이다. 마찰력은 **왕복 모두 운동 방향과 반대**로 작용한다. 따라서 총 이동 거리를 s라 할 때 손실 에너지는 $E_{\text{loss}} = \mu_k mgs$이며, $\mu_k g = 0.5 \cdot 10 = 5\,\text{m/s}^2$이다.

처음과 나중의 에너지 비교: 용수철 판에 처음 닿는 순간과 떨어지는 순간에는 용수철이 모두 원래 길이이므로 **탄성 퍼텐셜 에너지의 변화가 없다**. 높이도 일정하므로 중력 퍼텐셜 에너지의 변화도 없다. 충돌 직전 속력을 v_0, 튕겨 나오는 속력을 v라 하면, 마찰 손실을 반영한 관계는 12 mv^2=12 mv_0^2-E_loss이다. 이를 정리하면 $v^2 = v_0^2 - 2\mu_k gs$가 되어 질량과 용수철 상수를 몰라도 속력을 구할 수 있다.

속력 계산: $v_0 = 2\,\text{m/s}$, s = 0.20 m를 대입하면 $v^2 = 2^2 - 2 \cdot 5 \cdot 0.20 = 2$이다. 여기서 속력 제곱의 단위는 m^2/s^2이다. 속력은 양의 제곱근을 취하므로 $v = \sqrt{2}\,\text{m/s}$이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 유도기, 저항, 기전력원, 스위치를 그림과 같이 연결하여 회로를 구성한 후 스위치를 닫아 회로에 전류가 흐르기 시작했다. 스위치를 닫은 후 충분히 오랜 시간이 지나 일정한 크기의 전류가 회로에 흐르게 되었을 때, 유도기에 저장된 에너지는? (단, 인덕턴스(inductance), 저항, 기전력의 크기는 L, R, V_0이다.)



① $\frac{LV_0^2}{8R^2}$
② $\frac{LV_0^2}{6R^2}$
③ $\frac{LV_0^2}{4R^2}$
④ $\frac{LV_0^2}{2R^2}$

정답 1번

간단한 해설

전류가 일정해지면 유도기의 유도 기전력이 0이 되어, 유도기와 병렬인 저항에는 전류가 흐르지 않는다. 남은 두 저항이 직렬로 연결되므로 **유도기에 흐르는 전류**는 $I = \frac{V_0}{2R}$이고, 저장 에너지는 $U = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{LV_0^2}{8R^2}$이다.

NoteBase

계산 과정

정상 상태의 회로: 충분히 오랜 시간이 지나 전류가 일정해지면 $\frac{dI}{dt} = 0$이므로 유도 기전력 $-L\frac{dI}{dt}$는 0이다. 이상적인 유도기는 이때 도선처럼 작용하므로 양 끝의 전위차가 0이다. 그림에서 유도기와 병렬로 연결된 가운데 저항 R도 양 끝의 전위차가 0이므로 **가운데 저항에는 전류가 흐르지 않는다**.

유도기에 흐르는 전류: 전류는 위쪽 저항 R, 유도기, 아래쪽 저항 R을 차례로 흐른다. 따라서 회로의 합성 저항은 $R_{\text{eq}} = R + R = 2R$이고, 옴의 법칙에 따라 $I = \frac{V_0}{2R}$이다. 이 값이 전원에서 흐르는 전류이자 유도기에 흐르는 전류이다.

저장 에너지: 인덕턴스가 L인 유도기에 전류 I가 흐를 때 자기장에 저장되는 에너지는 $U = \frac{1}{2}LI^2$이다. 구한 전류를 대입하면 $U = \frac{1}{2}L\left(\frac{V_0}{2R}\right)^2 = \frac{LV_0^2}{8R^2}$이다. L, R, V_0를 각각 H, Ω, V 단위로 넣으면 에너지의 단위는 J이며, 이 식은 ①과 일치한다.

NoteBase

문 18. 겹실틈[double-slit] 간섭 실험에서 실틈 사이의 거리가 d_0, 간섭 실험에 사용된 빛의 파장이 λ_0일 때 밝은 간섭 무늬 사이의 거리는 일정하고 그 값은 y_0이다. 실틈 사이의 거리를 $2d_0$, 빛의 파장을 $2\lambda_0$로 바꿨을 때 밝은 간섭 무늬 사이의 거리가 일정한 경우 그 거리의 값은?

① $\frac{y_0}{2}$

② y_0

③ $2y_0$

④ $3y_0$

정답 2번

간단한 해설

밝은 간섭 무늬의 간격은 **빛의 파장에 비례하고 실틈 사이의 거리에 반비례**한다. 두 값이 모두 2배가 되므로 무늬 간격은 원래의 y_0로 유지된다.

계산 과정

실틈에서 스크린까지의 거리를 L, 실틈 사이의 거리를 d, 빛의 파장을 λ라 하자. 밝은 무늬는 두 빛의 경로차가 파장의 정수배일 때 생긴다. 무늬 간격이 일정하다고 보는 작은 각도 근사에서 인접한 밝은 무늬 사이의 거리는 $\Delta y = \frac{\lambda L}{d}$이다. 따라서 **스크린까지의 거리가 같으면** 무늬 간격은 파장과 실틈 간격의 비로 결정된다.

처음에는 $d = d_0$, $\lambda = \lambda_0$이므로 $y_0 = \frac{\lambda_0 L}{d_0}$이다. 실틈 사이의 거리와 파장만 바꾸므로 L은 그대로 둔다.

바꾼 뒤의 무늬 간격을 y라 하면 $y = \frac{(2\lambda_0)L}{2d_0} = \frac{\lambda_0 L}{d_0} = y_0$이다. 파장이 2배가 되어 간격이 넓어지는 효과와 실틈 사이의 거리가 2배가 되어 간격이 좁아지는 효과가 상쇄된다. 따라서 밝은 무늬 사이의 거리는 y_0이며, ②에 해당한다.

NoteBase

문 19. 〈표〉는 여러 반도체와 절연체의 띠틈을 나타낸 것이다. ⓐ와 ⓑ는 각각 반도체와 절연체 중 하나이고, ⓒ와 ⓓ는 각각 다이아몬드와 실리콘 중 하나이다. <보기>에서 옳은 설명을 모두 고른 것은?

〈표〉

ⓐ		ⓑ	
물질	띠틈(eV)	물질	띠틈(eV)
저마늄	0.67	이산화규소	9
ⓒ	1.14	ⓓ	5.33

<보기>

ㄱ. ⓐ는 반도체이다.

ㄴ. ⓒ는 실리콘이다.

ㄷ. 저마늄의 비저항이 다이아몬드의 비저항보다 크다.

① ㄱ

② ㄱ, ㄴ

③ ㄷ

④ ㄴ, ㄷ

정답 2번

간단한 해설

실리콘은 다이아몬드보다 띠틈이 작은 **반도체**이므로, 띠틈이 1.14 eV인 ⓒ에 해당한다. 저마늄은 다이아몬드보다 전자가 전도띠로 쉽게 이동하여 **비저항이 작다**.

NoteBase

보기별 해설

띠틈은 원자가띠의 전자가 전도띠로 이동하는 데 필요한 최소 에너지이다. 상온에서 반도체는 절연체보다 띠틈이 작아 열에너지에 의해 전도에 참여하는 전자가 생기기 쉽다.

ㄱ. O: 저마늄은 반도체이며, 표에서 띠틈이 0.67 eV인 저마늄이 ⓐ에 속한다. 따라서 ⓐ는 **반도체**이고, 띠틈이 훨씬 큰 물질들이 속한 ⓑ는 절연체이다.

ㄴ. O: 실리콘은 반도체이고 다이아몬드는 절연체이므로, 두 물질 중 **띠틈이 작은 쪽은 실리콘**이다. 따라서 ⓐ에 속하고 띠틈이 1.14 eV인 ⓒ는 실리콘이며, ⓑ에 속하고 띠틈이 5.33 eV인 ⓓ는 다이아몬드이다.

ㄷ. X: 저마늄의 띠틈은 0.67 eV로, 다이아몬드의 5.33 eV보다 작다. 상온의 순수한 물질을 비교하면 저마늄에서는 전자가 전도띠로 쉽게 이동해 전류가 흐르지만, 다이아몬드에서는 이러한 이동이 매우 어렵다. 따라서 저마늄의 비저항은 다이아몬드보다 **작다**. 비저항이 작을수록 같은 모양과 크기의 물질에서 전류가 잘 흐른다.

옳은 보기는 ㄱ, ㄴ이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 20. 전자의 운동 에너지가 100eV일 때, 물질파 파장이 λ_0이다. 전자의 운동 에너지가 400eV일 때 물질파 파장은?

① $\frac{\lambda_0}{8}$
② $\frac{\lambda_0}{4}$
③ $\frac{\lambda_0}{2}$
④ λ_0

정답 3번

간단한 해설

같은 전자의 물질파 파장은 **운동 에너지의 제곱근에 반비례**한다. 운동 에너지가 100 eV에서 400 eV로 4배가 되므로, 파장은 처음의 절반인 $\frac{\lambda_0}{2}$가 된다.

계산 과정

전자의 질량을 m, 운동량의 크기를 p, 운동 에너지를 K, 플랑크 상수를 h라 하자. 드브로이 관계는 $\lambda = \frac{h}{p}$이다. 주어진 에너지에서는 비상대론적 관계 $K = \frac{p^2}{2m}$을 적용할 수 있으므로, $p = \sqrt{2mK}$이다.

같은 전자이므로 질량은 일정하다. 운동 에너지가 100 eV에서 400 eV로 4배가 되면, 운동량의 크기는 $\sqrt{4} = 2$배가 된다. 즉, **운동량은 운동 에너지에 비례하는 것이 아니라 그 제곱근에 비례**한다.

물질파 파장은 운동량의 크기에 반비례하므로 운동량이 2배가 되면 파장은 절반이 된다. 따라서 $\lambda = \frac{\lambda_0}{2}$이며, 이는 ③에 해당한다.

NoteBase