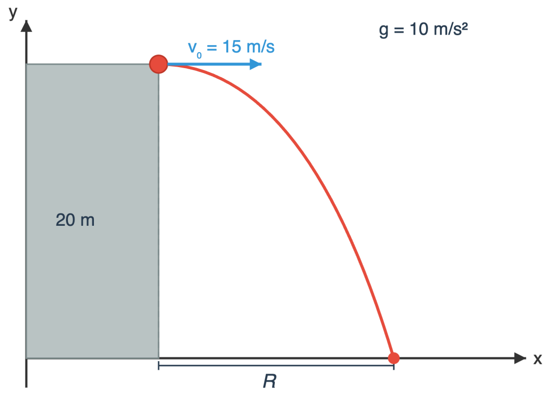
🔬 고등 물리II

총 40문제 · 문제와 정답·풀이 포함

Q1 평면 운동과 벡터

높이 $h = 20$ m인 절벽 끝에서 공을 수평으로 $v_0 = 15$ m/s의 속력으로 던졌다. 공기 저항을 무시하고 $g = 10$ m/s^{2}이라 할 때, 공이 지면에 닿는 순간까지 절벽 아래에서 수평으로 떨어진 거리는?



①) ① 15 m
②) ② 20 m
③) ③ 25 m
④) ④ 30 m
⑤) ⑤ 45 m

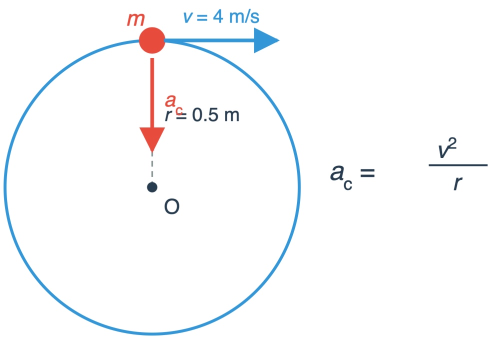
🎯 **정답: ④ 30 m**

📖 수평 던지기에서 수평·수직 운동은 서로 독립이다. 수직 방향: $h = \frac{1}{2}gt^2$에서 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10}} = 2$ s. 수평 방향은 등속이므로 $R = v_0 t = 15 \cdot 2 = 30$ m.

💡 갈릴레오는 수평 던진 물체와 자유낙하한 물체가 같은 시각에 땅에 닿는다는 사실을 처음으로 명확히 정리하여 운동의 독립성을 보였다.

Q2 원운동과 만유인력

반지름 $r = 0.5$ m인 원궤도를 일정한 속력 $v = 4$ m/s로 도는 입자의 구심가속도 크기는?



①) ① 8 m/s^2

②) ② 16 m/s^2

③) ③ 24 m/s^2

④) ④ 32 m/s^2

⑤) ⑤ 64 m/s^2

🎯 **정답: ④ 32 m/s^2**

📖 등속원운동의 구심가속도는 $a_c = \frac{v^2}{r}$. 대입하면 $a_c = \frac{4^2}{0.5} = \frac{16}{0.5} = 32$ m/s^2. 방향은 항상 원의 중심을 향한다.

💡 우주정거장(ISS)도 약 7.7 km/s로 지구를 돌며, 자유낙하 상태로 끊임없이 지구를 향해 떨어지지만 접선 속도가 충분히 커서 결코 닿지 않는다.

Q3 유체와 열물리

27 °C, 압력 P_0, 부피 V_0인 이상기체를 압력을 일정하게 유지한 채 327 °C까지 가열했다. 가열 후 기체의 부피는?

①) ① $\frac{V_0}{2}$

②) ② V_0

③) ③ $2V_0$

④) ④ $\frac{327}{27}V_0$

⑤) ⑤ $12V_0$

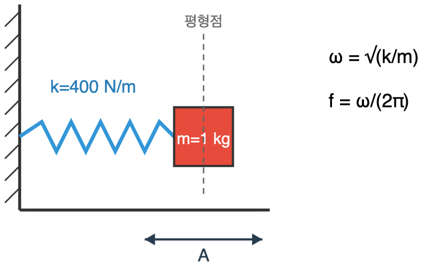
🎯 **정답: ③ $2V_0$**

📖 이상기체 상태방정식 $PV = nRT$에서 압력과 몰수가 일정하면 $\frac{V}{T} = \text{const}$ (샤를의 법칙). 절대온도로 변환하면 $T_1 = 27 + 273 = 300$ K, $T_2 = 327 + 273 = 600$ K. 따라서 $V_2 = V_0 \cdot \frac{T_2}{T_1} = V_0 \cdot \frac{600}{300} = 2V_0$. 섭씨 단위로 비율을 계산하지 않도록 주의한다.

💡 샤를(Jacques Charles)은 1787년 열기구 비행 직후 기체의 부피와 온도 관계를 정리했고, 절대영도 개념의 단초가 되었다.

Q4 단순조화운동과 파동방정식

마찰이 없는 수평면 위에서 스프링상수 $k = 400$ N/m인 용수철 끝에 질량 $m = 1$ kg의 물체가 매달려 단순조화운동한다. 진동수 f는?



①) ① $\frac{5}{\pi}$ Hz
②) ② $\frac{10}{\pi}$ Hz
③) ③ $\frac{20}{\pi}$ Hz
④) ④ 20 Hz
⑤) ⑤ 400 Hz

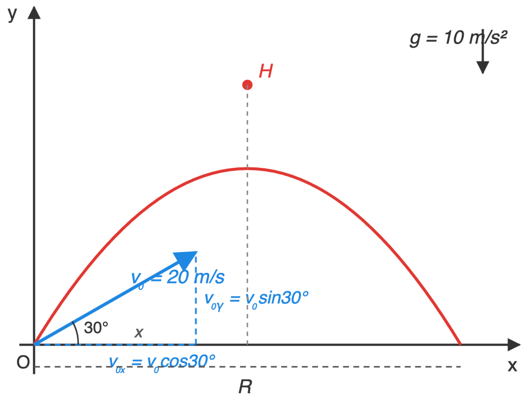
🎯 **정답: ② $\frac{10}{\pi}$ Hz**

📖 용수철-질량계의 각진동수는 $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{400}{1}} = 20$ rad/s. 진동수는 $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{20}{2\pi} = \frac{10}{\pi}$ Hz ≈ 3.18 Hz. 진동수는 진폭과 무관하다는 것이 단순조화운동의 핵심 성질이다.

💡 단순조화운동에서 주기가 진폭에 의존하지 않는 성질을 '등시성'이라 하며, 갈릴레오가 피사 대성당의 흔들리는 등잔을 보고 발견했다고 전해진다.

Q5 평면 운동과 벡터

지면에서 발사각 $\theta = 30°$, 초속력 $v_0 = 20$ m/s로 비스듬히 던진 발사체가 최고점에 도달하는 순간 발사 지점으로부터의 수평 변위는? ($g = 10$ m/s^2, 공기 저항 무시.)



①) ① 5 m

②) ② $5\sqrt{3}$ m

③) ③ 10 m

④) ④ $10\sqrt{3}$ m

⑤) ⑤ 20 m

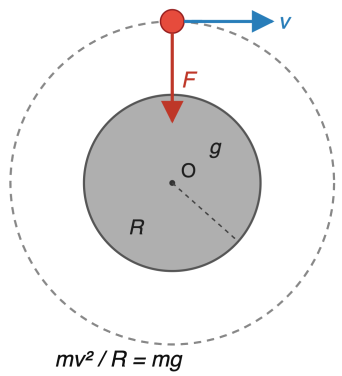
정답: ④ $10\sqrt{3}$ m

📖 초기 분속도: $v_{0x} = v_0 \cos 30° = 20 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3}$ m/s, $v_{0y} = v_0 \sin 30° = 20 \cdot \frac{1}{2} = 10$ m/s. 최고점에서는 $v_y = 0$이므로 도달 시간은 $t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{10}{10} = 1$ s. 수평 변위는 등속이므로 $x = v_{0x} \cdot t = 10\sqrt{3} \cdot 1 = 10\sqrt{3}$ m ≈ 17.3 m.

💡 같은 초속력으로 던진 발사체의 사거리는 θ와 $90° - \theta$에서 동일하다. 즉 $30°$와 $60°$로 던지면 사거리가 같다.

Q6 원운동과 만유인력

지구의 반지름 $R = 6.4 \times 10^6$ m, 지표면에서의 중력가속도 $g = 9.8$ m/s^{2}일 때, 지표면에 매우 가까운 원궤도를 도는 인공위성의 궤도속력은 약 얼마인가? (대기 저항은 무시.)



①) ① 약 3.0 km/s

②) ② 약 5.6 km/s

③) ③ 약 6.4 km/s

④) ④ 약 7.9 km/s

⑤) ⑤ 약 11.2 km/s

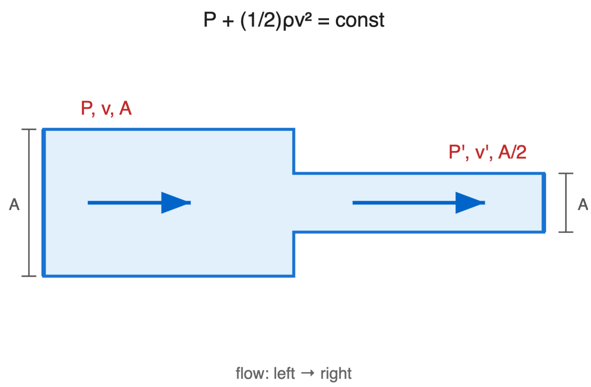
🎯 **정답: ④ 약 7.9 km/s**

📖 지표면 근처에서는 만유인력이 곧 중력이므로 구심력 조건 $\frac{mv^2}{R} = mg$에서 $v = \sqrt{gR}$. 대입하면 $v = \sqrt{9.8 \cdot 6.4 \times 10^6} = \sqrt{6.272 \times 10^7} \approx 7920$ m/s ≈ 7.9 km/s. 이 속력을 '제1 우주속도'라 한다. 참고로 탈출속도(제2 우주속도)는 $\sqrt{2gR} \approx 11.2$ km/s.

💡 국제우주정거장(ISS)은 고도 약 400 km에서 약 7.66 km/s로 비행하며, 약 92분에 한 번씩 지구를 돈다.

Q7 유체와 열물리

수평으로 놓인 관에서 단면적이 A인 부분의 압력은 P, 유속은 v이다. 이 유체(밀도 ρ, 비압축성·비점성)가 단면적 $A/2$인 좁은 부분으로 흘러갈 때, 좁은 부분에서의 압력은?



①) ① $P - 2\rho v^2$

②) ② $P - \rho v^2$

③) ③ $P - \frac{1}{2}\rho v^2$

④) ④ $P - \frac{3}{2}\rho v^2$

⑤) ⑤ $P + \frac{3}{2}\rho v^2$

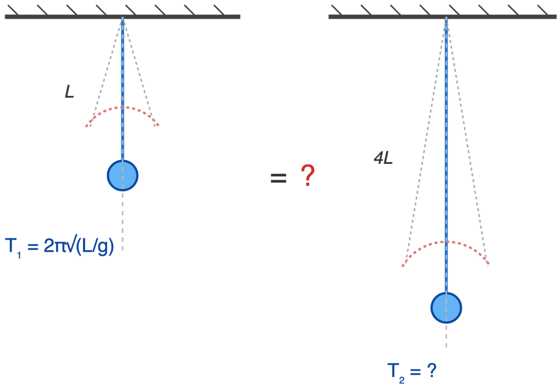
🎯 **정답:** ④ $P - \frac{3}{2}\rho v^2$

📖 연속방정식 $Av = A'v'$에서 $A' = A/2$이므로 $v' = 2v$. 수평관이므로 높이항이 사라지고 베르누이 방정식은 $P + \frac{1}{2}\rho v^2 = P' + \frac{1}{2}\rho v'^2$. 대입: $P' = P + \frac{1}{2}\rho v^2 - \frac{1}{2}\rho(2v)^2 = P + \frac{1}{2}\rho v^2 - 2\rho v^2 = P - \frac{3}{2}\rho v^2$. 좁은 곳에서 유속이 빠르면 압력은 낮아진다.

💡 비행기 날개 위쪽의 공기가 더 빨리 흐르며 압력이 낮아지는 것이 양력의 한 가지 설명이다(다만 실제 양력은 받음각·순환 효과가 더 본질적이다).

Q8 단순조화운동과 파동방정식

단진자(작은 각 진동 근사) 운동에서 줄의 길이를 4배로 늘리면 주기는 처음 주기의 몇 배가 되는가?



①) ① $\frac{1}{4}$ 배

②) ② $\frac{1}{2}$ 배

③) ③ $\sqrt{2}$ 배

④) ④ 2 배

⑤) ⑤ 4 배

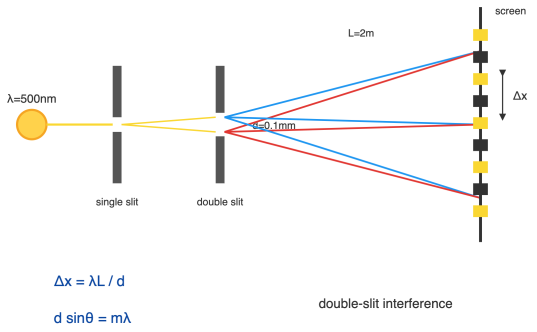
🎯 **정답: ④ 2 배**

📖 단진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$로 길이의 제곱근에 비례한다. 길이를 4배로 늘리면 $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{4L}{g}} = 2 \cdot 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2T_1$. 따라서 2배가 된다. 주기는 추의 질량이나 진폭에는 의존하지 않는다(작은 각 근사 범위에서).

💡 진자의 등시성은 갈릴레오가 발견했고, 호이겐스(1656)가 이를 이용해 최초의 실용적인 진자시계를 만들어 시계 정밀도를 크게 향상시켰다.

Q9 파동광학과 기하광학

영의 이중슬릿 실험에서 슬릿 간격 $d = 0.1$ mm, 슬릿-스크린 거리 $L = 2$ m, 빛의 파장 $\lambda = 500$ nm이다. 스크린 중심 부근에서 인접한 두 밝은 무늬 사이의 간격은? (작은 각 근사 사용.)



①) ① 0.1 mm

②) ② 1 mm

③) ③ 1 cm

④) ④ 5 cm

⑤) ⑤ 10 cm

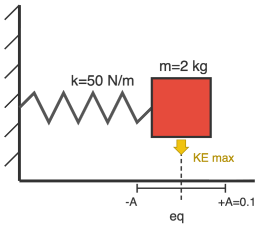
🎯 **정답: ③ 1 cm**

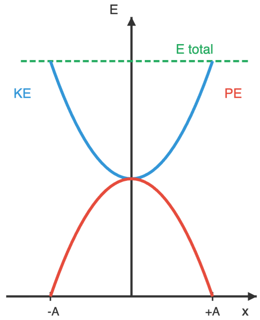
📖 이중슬릿 간섭에서 m차 보강조건은 $d\sin\theta = m\lambda$. 작은 각 근사 $\sin\theta \approx \tan\theta = y/L$이므로 인접 밝은 무늬 간격은 $\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$. 대입하면 $\Delta x = \frac{(500 \times 10^{-9})(2)}{0.1 \times 10^{-3}} = \frac{10^{-6}}{10^{-4}} = 10^{-2}$ m $= 1$ cm. 단위 환산에 주의한다.

💡 토머스 영(Young)이 1801년 이중슬릿 실험으로 빛의 파동성을 결정적으로 보였고, 100년 뒤 같은 실험이 전자에서도 재현되어 양자역학의 출발점이 되었다.

Q10 단순조화운동과 파동방정식

마찰이 없는 수평면 위에서 스프링상수 $k = 50$ N/m인 용수철에 질량 $m = 2$ kg의 물체가 매달려 진폭 $A = 0.1$ m의 단순조화운동을 한다. 물체가 평형점을 통과하는 순간의 운동에너지와 그 때의 속력을 구하라.





①) ① $K = 0.05$ J, $v = 0.22$ m/s

②) ② $K = 0.10$ J, $v = 0.32$ m/s

③) ③ $K = 0.25$ J, $v = 0.5$ m/s

④) ④ $K = 0.50$ J, $v = 0.71$ m/s

⑤) ⑤ $K = 1.00$ J, $v = 1.0$ m/s

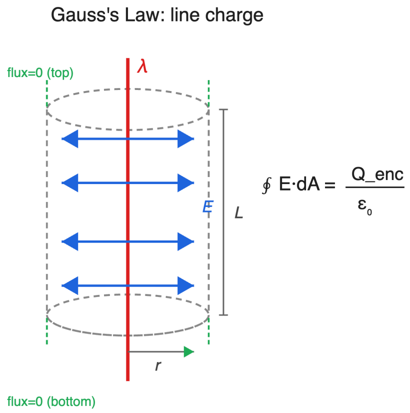
🎯 **정답: ③ $K = 0.25$ J, $v = 0.5$ m/s**

📖 단순조화운동의 전체 역학적 에너지는 보존되며 $E = \frac{1}{2}kA^2$. 평형점($x = 0$)에서는 위치에너지가 0이므로 전체 에너지가 모두 운동에너지가 된다. $K_{\max} = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}(50)(0.1)^2 = 0.25$ J. 한편 $K = \frac{1}{2}mv^2$이므로 $v_{\max} = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{0.5}{2}} = 0.5$ m/s. 검증: 각진동수 $\omega = \sqrt{k/m} = 5$ rad/s이므로 $v_{\max} = A\omega = 0.1 \cdot 5 = 0.5$ m/s 일치.

💡 SHM에서 운동에너지와 위치에너지는 각각 주기 $T/2$로 진동하며, 평균값은 둘 다 $\frac{1}{4}kA^2$로 같다(균등배분의 한 예).

Q11 전자기학 심화

선전하밀도 λ [C/m]로 균일하게 대전된 무한히 긴 직선 도선에서 수직 거리 r만큼 떨어진 지점의 전기장 크기 E를 가우스 법칙으로 구하면? (진공 유전율 ε_0.)



①) ① $\dfrac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

②) ② $\dfrac{\lambda}{4\pi\varepsilon_0 r}$

③) ③ $\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

④) ④ $\dfrac{\lambda r}{2\varepsilon_0}$

⑤) ⑤ $\dfrac{\lambda}{\varepsilon_0}$

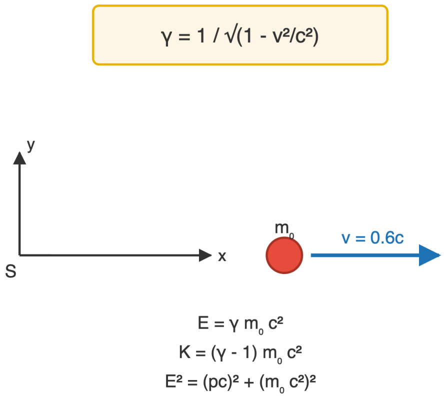
🎯 **정답: ③** $\dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

📖 대칭성에서 전기장은 직선에 수직(방사상)이고 거리 r에만 의존한다. 반지름 r, 길이 L인 원통을 가우스면으로 택하면, 옆면에서는 $\vec{E} \parallel d\vec{A}$이고 두 원판에서는 $\vec{E} \perp d\vec{A}$라 플럭스에 기여하지 않는다. 따라서 $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = E \cdot (2\pi r L)$. 가우스면 내부 전하 $Q_{\text{enc}} = \lambda L$. 가우스 법칙 $E \cdot 2\pi r L = \dfrac{\lambda L}{\varepsilon_0}$에서 $E = \dfrac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$. 점전하($1/r^2$)와 달리 무한 직선은 $1/r$로 감소함에 주의.

💡 무한 평면 전하면의 전기장은 $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$로 거리에 무관하다. 차원이 1차원 감소할수록 거리 의존성이 한 차수씩 약해진다.

Q12 특수상대성이론 입문

정지질량 m_0인 입자가 관성기준틀에 대해 속력 $v = 0.6c$로 움직인다. 이 입자의 상대론적 총에너지 E와 운동에너지 K를 정지에너지 m_0c^2의 배수로 각각 구하라. (c는 광속.)



①) ① $E = 1.00\, m_0c^2$, $K = 0$

②) ② $E = 1.18\, m_0c^2$, $K = 0.18\, m_0c^2$

③) ③ $E = 1.25\, m_0c^2$, $K = 0.25\, m_0c^2$

④) ④ $E = 1.50\, m_0c^2$, $K = 0.50\, m_0c^2$

⑤) ⑤ $E = 2.00\, m_0c^2$, $K = 1.00\, m_0c^2$

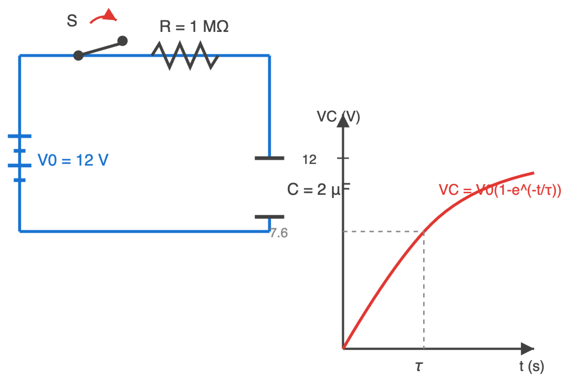
🎯 **정답:** ③ $E = 1.25\, m_0c^2$**,** $K = 0.25\, m_0c^2$

📖 로런츠 인자 $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{1-0.36}} = \dfrac{1}{\sqrt{0.64}} = \dfrac{1}{0.8} = 1.25$. 상대론적 총에너지 $E = \gamma m_0c^2 = 1.25\, m_0c^2$. 상대론적 운동에너지는 총에너지에서 정지에너지를 뺀 값 $K = (\gamma - 1)m_0c^2 = 0.25\, m_0c^2$. 비교: 고전적 근사 $\frac{1}{2}m_0v^2 = \frac{1}{2}m_0(0.6c)^2 = 0.18\, m_0c^2$로 실제값보다 작다. 즉 고속에서는 고전 공식이 운동에너지를 과소평가한다.

💡 입자가속기에서 양성자를 $0.999999991c$까지 가속하면 $\gamma \approx 7000$이 되어 정지질량의 7000배에 해당하는 에너지를 가지지만, 속력은 여전히 광속에 도달하지 못한다.

Q13 회로 해석 (AC/RLC)

직류 전원 $V_0 = 12\,\mathrm{V}$, 저항 $R = 1.0\,\mathrm{M\Omega}$, 축전기 $C = 2.0\,\mu\mathrm{F}$가 직렬 연결된 RC 회로의 스위치를 $t = 0$에 닫았다. 축전기 양단 전압이 처음으로 전원 전압의 약 63%에 도달하는 시간(시정수 τ)은 얼마인가? 충전 식은 $V_C(t) = V_0(1 - e^{-t/RC})$이다.



①) ① 0.5 s
②) ② 1.0 s
③) ③ 2.0 s
④) ④ 4.0 s
⑤) ⑤ 6.0 s

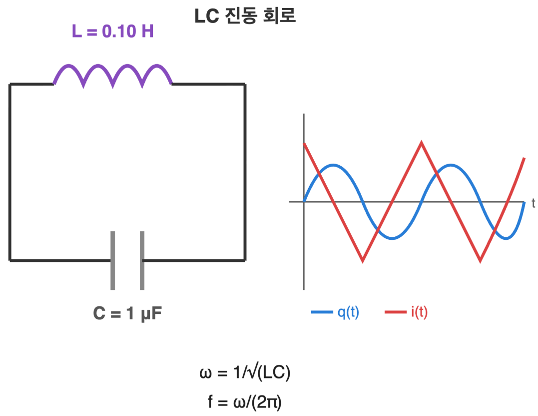
🎯 **정답: ③ 2.0 s**

📖 시정수 τ는 $\tau = RC$로 정의된다. 단계 1: 단위를 SI로 맞춘다. $R = 1.0 \times 10^6\,\Omega$, $C = 2.0 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}$. 단계 2: 곱한다. $\tau = (1.0 \times 10^6)(2.0 \times 10^{-6}) = 2.0\,\mathrm{s}$. 단계 3: 의미 확인. $t = \tau$에서 $V_C = V_0(1 - e^{-1}) \approx 0.632\,V_0$이므로 약 63%에 도달한다.

💡 5τ 정도가 지나면 99% 이상 충전되어 실용상 '완전 충전'으로 본다.

Q14 회로 해석 (AC/RLC)

LC 진동 회로에서 인덕턴스 $L = 0.10\,\mathrm{H}$, 전기용량 $C = 1.0\,\mu\mathrm{F}$일 때 자유 진동의 주파수 f는 약 얼마인가? (저항은 무시)



①) ① 약 159 Hz

②) ② 약 503 Hz

③) ③ 약 1000 Hz

④) ④ 약 3162 Hz

⑤) ⑤ 약 6283 Hz

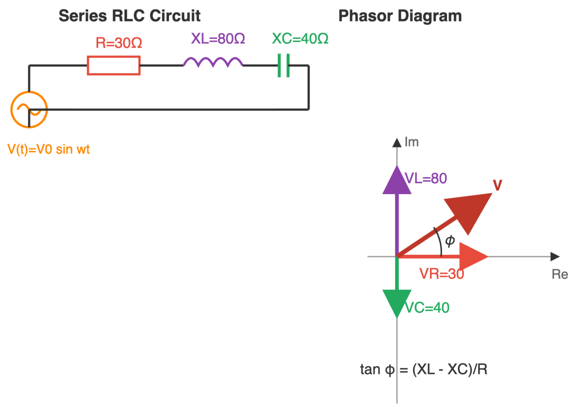
🎯 **정답: ② 약 503 Hz**

📖 단계 1: 각주파수 $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. 단계 2: $LC = (0.10)(1.0 \times 10^{-6}) = 1.0 \times 10^{-7}$. 단계 3: $\omega = \frac{1}{\sqrt{10^{-7}}} = \sqrt{10^7} \approx 3162\,\mathrm{rad/s}$. 단계 4: 주파수 $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{3162}{6.283} \approx 503\,\mathrm{Hz}$.

💡 LC 진동의 에너지는 인덕터의 자기에너지와 축전기의 전기에너지 사이를 1/4주기마다 완전히 옮겨다닌다.

Q15 회로 해석 (AC/RLC)

교류 전원에 직렬 연결된 RLC 회로에서 $R = 30\,\Omega$, $X_L = 80\,\Omega$, $X_C = 40\,\Omega$이다. (1) 회로의 임피던스 Z와 (2) 전원 전압에 대한 전류의 위상차 ϕ를 구하여라. 전류는 전압보다 앞서는가, 뒤지는가?



①) ① $Z = 50\,\Omega$, $\phi \approx 53°$, 전류 뒤짐

②) ② $Z = 50\,\Omega$, $\phi \approx 53°$, 전류 앞섬

③) ③ $Z = 70\,\Omega$, $\phi \approx 37°$, 전류 뒤짐

④) ④ $Z = 150\,\Omega$, $\phi \approx 53°$, 전류 앞섬

⑤) ⑤ $Z = 50\,\Omega$, $\phi = 0°$, 동위상

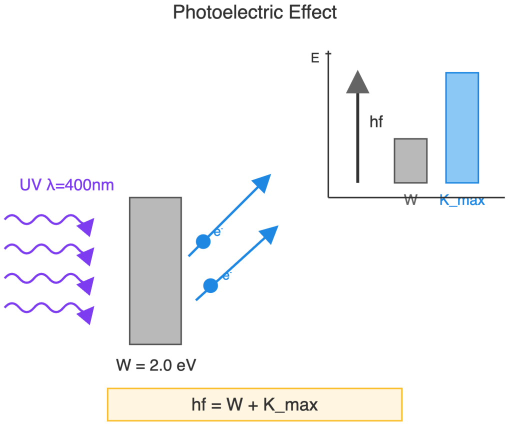
🎯 **정답: ① $Z = 50\,\Omega$, $\phi \approx 53°$, 전류 뒤짐**

📖 단계 1: 임피던스 공식 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$. 단계 2: 대입 $Z = \sqrt{30^2 + (80-40)^2} = \sqrt{900 + 1600} = \sqrt{2500} = 50\,\Omega$. 단계 3: 위상각 $\tan\phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{40}{30} = \frac{4}{3}$, 따라서 $\phi \approx 53°$. 단계 4: $X_L > X_C$이므로 회로는 유도성이고, 전류가 전압보다 ϕ만큼 뒤진다 (lagging).

💡 $X_L = X_C$가 되는 주파수가 공진주파수이며, 이때 $Z = R$로 최소가 되어 전류가 최대로 흐른다.

Q16 양자·원자 물리 입문

일함수가 $W = 2.0\,\text{eV}$인 금속 표면에 파장 $\lambda = 400\,\text{nm}$의 자외선을 비추었다. 방출되는 광전자의 최대 운동에너지는 약 얼마인가? ($h = 6.63 \times 10^{-34}\,\text{J·s}$, $c = 3.0 \times 10^{8}\,\text{m/s}$, $1\,\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J}$)



①) ① 0.5 eV

②) ② 0.8 eV

③) ③ 1.1 eV

④) ④ 1.5 eV

⑤) ⑤ 2.0 eV

🎯 **정답: ③ 1.1 eV**

📖 단계 1: 광자 에너지 $E_{ph} = \frac{hc}{\lambda}$. $hc \approx 1240\,\text{eV·nm}$ (편리한 단위). 단계 2: $E_{ph} = \frac{1240}{400} = 3.10\,\text{eV}$. 단계 3: 광전효과 방정식 $hf = W + K_{max}$에서 $K_{max} = E_{ph} - W = 3.10 - 2.0 = 1.10\,\text{eV}$.

💡 광전효과는 빛의 입자성을 증명한 현상으로, 아인슈타인은 이 설명으로 1921년 노벨 물리학상을 받았다.

Q17 양자·원자 물리 입문

운동량 $p = 6.63 \times 10^{-25}\,\text{kg·m/s}$인 전자의 드브로이 파장 λ는 얼마인가? ($h = 6.63 \times 10^{-34}\,\text{J·s}$)

①) ① $0.1\,\text{nm}$

②) ② $1\,\text{nm}$

③) ③ $10\,\text{nm}$

④) ④ $100\,\text{nm}$

⑤) ⑤ $1000\,\text{nm}$

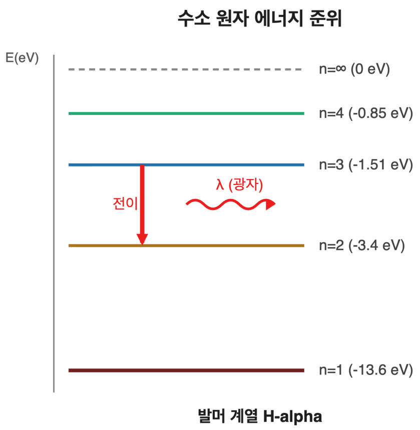
🎯 **정답: ②** $1\,\text{nm}$

📖 단계 1: 드브로이 파장 공식 $\lambda = \frac{h}{p}$. 단계 2: 대입 $\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{6.63 \times 10^{-25}} = 1.0 \times 10^{-9}\,\text{m}$. 단계 3: 단위 환산 $1.0 \times 10^{-9}\,\text{m} = 1\,\text{nm}$.

💡 전자현미경은 전자의 드브로이 파장이 가시광선보다 훨씬 짧다는 사실을 이용해 분해능을 크게 높인 장치이다.

Q18 양자·원자 물리 입문

수소 원자의 보어 모형에서 전자의 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}\,\mathrm{eV}$로 주어진다. 전자가 $n = 3$ 준위에서 $n = 2$ 준위로 천이할 때 방출되는 광자의 파장은 약 얼마인가? ($hc \approx 1240\,\mathrm{eV{\cdot}nm}$)



①) ① 122 nm (자외선)

②) ② 410 nm (보라)

③) ③ 486 nm (청록)

④) ④ 656 nm (빨강)

⑤) ⑤ 1875 nm (적외선)

🎯 **정답: ④ 656 nm (빨강)**

📖 단계 1: 두 준위의 에너지를 구한다. $E_2 = -13.6/4 = -3.40\,\mathrm{eV}$, $E_3 = -13.6/9 \approx -1.51\,\mathrm{eV}$. 단계 2: 방출 광자 에너지 $\Delta E = E_3 - E_2 = -1.51 - (-3.40) = 1.89\,\mathrm{eV}$. 단계 3: 파장 $\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{1240}{1.89} \approx 656\,\mathrm{nm}$. 이는 발머 계열의 H-알파 선으로, 가시광선 영역의 붉은빛이다.

💡 H-알파 선(656 nm)은 태양 채층 관측에 쓰이며, 일식 때 보이는 붉은 홍염의 색이 바로 이 파장이다.

Q19 전자기학 심화

전기용량 $C = 100\,\mu\mathrm{F}$인 축전기가 전압 $V = 50\,\mathrm{V}$로 충전되어 있다. 이 축전기에 저장된 전기에너지는 얼마인가?

①) ① 0.025 J

②) ② 0.05 J

③) ③ 0.125 J

④) ④ 0.25 J

⑤) ⑤ 0.5 J

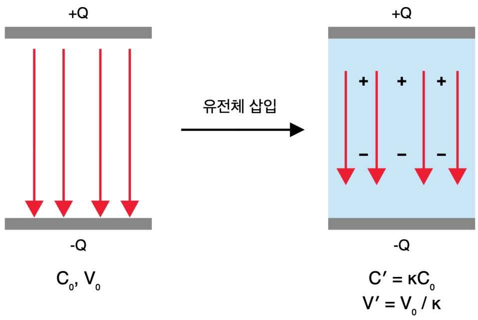
🎯 **정답: ③ 0.125 J**

📖 단계 1: 축전기에 저장된 에너지 공식 $U = \frac{1}{2}CV^2$. 단계 2: 단위 환산 $C = 100 \times 10^{-6}\,\mathrm{F} = 1.0 \times 10^{-4}\,\mathrm{F}$. 단계 3: 대입 $U = \frac{1}{2}(1.0 \times 10^{-4})(50)^2 = \frac{1}{2}(1.0 \times 10^{-4})(2500) = 0.125\,\mathrm{J}$.

💡 사진기의 플래시는 이런 축전기에 에너지를 저장했다가 순간적으로 방전시켜 짧은 시간에 강한 빛을 낸다.

Q20 전자기학 심화

전압 V_0로 충전된 평행판 축전기 (전기용량 C_0, 전하 Q_0)를 전원에서 분리한 뒤, 두 판 사이를 유전상수 $\kappa = 4$인 유전체로 가득 채웠다. 새 전기용량 C', 양단 전압 V', 저장 에너지 U'의 변화는?



①) ① $C' = 4C_0, V' = V_0/4, U' = U_0/4$

②) ② $C' = 4C_0, V' = 4V_0, U' = 4U_0$

③) ③ $C' = C_0/4, V' = 4V_0, U' = 4U_0$

④) ④ $C' = 4C_0, V' = V_0, U' = 4U_0$

⑤) ⑤ $C' = C_0/4, V' = V_0/4, U' = U_0/16$

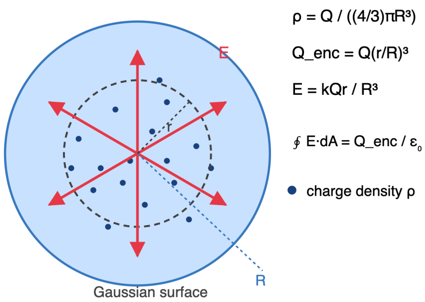
🎯 **정답:** ① $C' = 4C_0$, $V' = V_0/4$, $U' = U_0/4$

📖 단계 1: 유전체 삽입 시 전기용량은 κ배가 된다. $C' = \kappa C_0 = 4C_0$. 단계 2: 전원에서 분리했으므로 전하 Q는 보존된다 ($Q' = Q_0 = C_0V_0$). 단계 3: 새 전압 $V' = Q_0/C' = (C_0V_0)/(4C_0) = V_0/4$. 단계 4: 새 에너지 $U' = \frac{Q_0^2}{2C'} = \frac{Q_0^2}{8C_0} = \frac{1}{4} \cdot \frac{Q_0^2}{2C_0} = U_0/4$. 줄어든 에너지는 유전체를 끌어당기는 일에 쓰였다.

💡 유전체가 자발적으로 축전기 안으로 빨려 들어가는 현상은 에너지가 감소하는 방향으로 계가 움직이려는 자연스러운 결과이다.

Q21 전자기학 심화

반지름 R인 절연체 구에 총 전하 Q가 부피 전체에 균일하게 분포되어 있다. 구의 중심에서 거리 r $(0 < r < R)$인 내부 지점에서의 전기장 크기 $E(r)$를 가우스 법칙으로 구하여라. $(k = 1/(4\pi\varepsilon_0))$



①) ① $E = \frac{kQ}{r^2}$
②) ② $E = \frac{kQ}{R^2}$
③) ③ $E = \frac{kQr}{R^3}$
④) ④ $E = \frac{kQ}{Rr}$
⑤) ⑤ $E = 0$

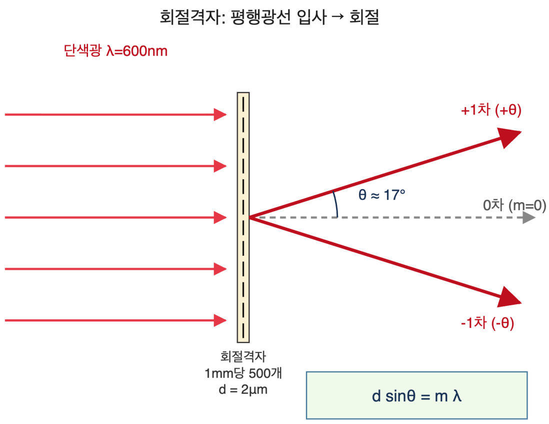
🎯 **정답:** ③ $E = \frac{kQr}{R^3}$

📖 단계 1: 부피 전하밀도 $\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$. 단계 2: 반지름 r인 가우스면 내부의 전하 $Q_{enc} = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 = Q \cdot \frac{r^3}{R^3}$. 단계 3: 구대칭이므로 가우스 법칙 $E \cdot 4\pi r^2 = Q_{enc}/\varepsilon_0$. 단계 4: 정리 $E = \frac{Q_{enc}}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Qr^3/R^3}{r^2} = \frac{kQr}{R^3}$. 내부에서는 r에 비례해 선형 증가, 외부 $(r > R)$에서는 kQ/r^2로 감소한다.

💡 중심 $(r = 0)$에서 전기장이 정확히 0인 이유는, 모든 방향에서 오는 전기장이 대칭으로 상쇄되기 때문이다.

Q22 파동광학과 기하광학

1 mm당 500개의 슬릿이 있는 회절격자에 파장 $\lambda = 600\,\mathrm{nm}$의 단색광이 수직 입사하였다. 1차 회절 $(m = 1)$이 일어나는 각도 θ는 약 얼마인가? (격자 공식: $d\sin\theta = m\lambda$)



①) ① 약 7.5°

②) ② 약 12°

③) ③ 약 17°

④) ④ 약 25°

⑤) ⑤ 약 36°

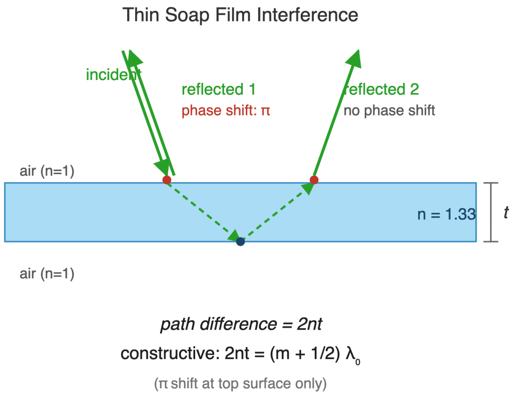
🎯 **정답: ③ 약 17°**

📖 단계 1: 격자 간격 d를 구한다. 1 mm당 500개 슬릿이면 $d = \frac{1\,\mathrm{mm}}{500} = 2.0 \times 10^{-6}\,\mathrm{m} = 2000\,\mathrm{nm}$. 단계 2: 회절격자 식 $d\sin\theta = m\lambda$, $m = 1$ 대입. 단계 3: $\sin\theta = \frac{\lambda}{d} = \frac{600}{2000} = 0.30$. 단계 4: $\theta = \arcsin(0.30) \approx 17.5°$.

💡 CD나 DVD 표면이 무지개색으로 보이는 것도 트랙 자체가 회절격자처럼 작용해 파장별로 빛이 다른 각도로 회절되기 때문이다.

Q23 파동광학과 기하광학

공기 중에서 파장 $\lambda_0 = 532\,\mathrm{nm}$인 녹색광이 굴절률 $n = 1.33$인 비누 박막에 수직으로 입사한다. 반사광에 대해 보강간섭이 일어나는 비누 박막의 최소 두께 t는? (앞면 반사는 반파장 위상 변화 있음, 뒷면 반사는 위상 변화 없음으로 가정)



①) ① 50 nm

②) ② 100 nm

③) ③ 200 nm

④) ④ 400 nm

⑤) ⑤ 532 nm

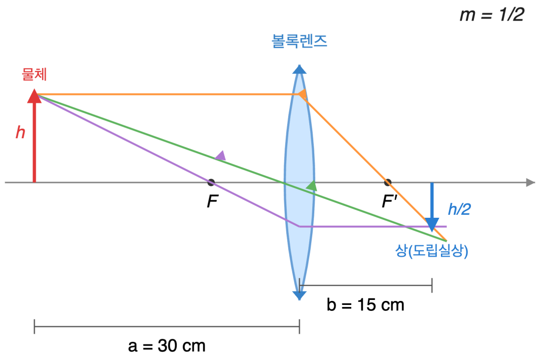
🎯 **정답: ② 100 nm**

📖 단계 1: 두 반사광의 광로차를 정리한다. 박막 내부 왕복 광로는 $2nt$. 앞면 반사에서만 π(반파장) 위상 변화가 있으므로 실효 광로차에 $\lambda_0/2$가 추가된다. 단계 2: 보강간섭 조건은 광로차가 정수파장이어야 하므로 $2nt + \lambda_0/2 = m\lambda_0$, 즉 $2nt = (m - 1/2)\lambda_0$. 단계 3: 양의 최소 두께는 $m = 1$: $2nt = \lambda_0/2$, $t = \frac{\lambda_0}{4n}$. 단계 4: 대입 $t = \frac{532}{4 \times 1.33} = \frac{532}{5.32} = 100\,\mathrm{nm}$.

💡 비눗방울 표면이 두께에 따라 다양한 색으로 보이는 이유는, 각 두께에서 보강간섭이 일어나는 파장이 달라지기 때문이다.

Q24 파동광학과 기하광학

초점거리 $f = 10\,\text{cm}$인 볼록렌즈 앞 $a = 30\,\text{cm}$ 지점에 물체를 놓았다. 상의 위치 b와 배율 m은? (렌즈 공식: $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$, 배율 $m = b/a$)



①) ① $b = 15\,\text{cm}$, $m = 1/2$ (도립 실상)

②) ② $b = 15\,\text{cm}$, $m = 2$ (정립 허상)

③) ③ $b = 30\,\text{cm}$, $m = 1$ (도립 실상)

④) ④ $b = 20\,\text{cm}$, $m = 2/3$ (도립 실상)

⑤) ⑤ $b = 10\,\text{cm}$, $m = 1/3$ (정립 허상)

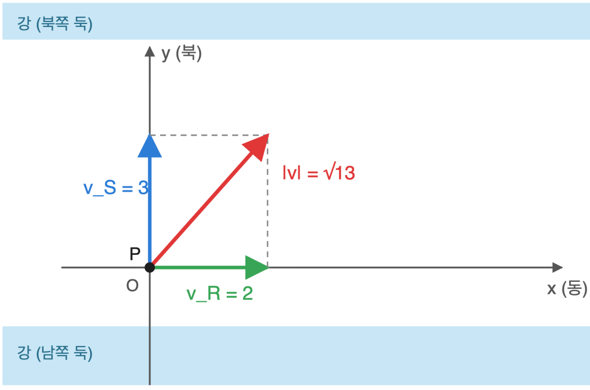
🎯 **정답: ① $b = 15\,\text{cm}$, $m = 1/2$ (도립 실상)**

📖 단계 1: 렌즈 공식에 대입한다. $\frac{1}{10} = \frac{1}{30} + \frac{1}{b}$. 단계 2: $\frac{1}{b} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{3-1}{30} = \frac{2}{30}$. 단계 3: $b = 15\,\text{cm}$ (렌즈 반대편, 따라서 실상). 단계 4: 배율 $m = b/a = 15/30 = 1/2$. 물체보다 작고 도립인 실상이 맺힌다 (물체가 $2f$ 밖에 있을 때의 전형적 결과).

💡 $a = 2f$일 때 정확히 등배 도립 실상이 맺히며, $a > 2f$이면 축소, $f < a < 2f$이면 확대 실상이 맺힌다.

Q25 평면 운동과 벡터

강물이 동쪽으로 $v_R = 2.0$ m/s로 흐른다. 수영선수가 강물에 대해 정북 방향으로 $v_S = 3.0$ m/s의 속력으로 헤엄친다. 지면에 대한 수영선수의 속력의 크기는?



①) ① 1.0 m/s

②) ② $\sqrt{5}$ ≈ 2.2 m/s

③) ③ $\sqrt{13}$ ≈ 3.6 m/s

④) ④ 5.0 m/s

⑤) ⑤ $\sqrt{17}$ ≈ 4.1 m/s

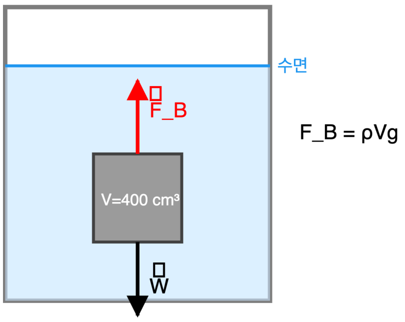
🎯 **정답: ③ $\sqrt{13}$ ≈ 3.6 m/s**

📖 지면에 대한 수영선수의 속도는 강물의 속도와 강물에 대한 수영선수의 속도의 벡터 합이다. 두 속도는 서로 수직이므로 $|\vec{v}| = \sqrt{v_S^2 + v_R^2} = \sqrt{3.0^2 + 2.0^2} = \sqrt{9+4} = \sqrt{13}$. 따라서 $|\vec{v}| \approx 3.6$ m/s이며, 방향은 북쪽으로부터 동쪽으로 $\tan^{-1}(2/3) \approx 33.7°$ 기울어진 방향이다.

💡 실제로 강을 가장 짧은 시간에 건너려면 강에 수직 방향(정북)으로 헤엄쳐야 한다. 다만 도착점은 강 하류로 떠내려간다.

Q26 유체와 열물리

부피 $V = 400\,\text{cm}^3$인 금속 덩어리가 물 속에 완전히 잠겨 있다. 물의 밀도 $\rho = 1.0 \times 10^3$ kg/m³, 중력가속도 $g = 9.8$ m/s²일 때, 금속에 작용하는 부력의 크기는?



①) ① 0.39 N

②) ② 0.98 N

③) ③ 1.96 N

④) ④ 3.92 N

⑤) ⑤ 39.2 N

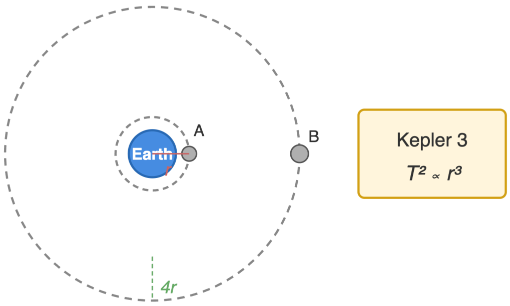
🎯 **정답:** ④ 3.92 **N**

📖 아르키메데스 원리에 의해 부력은 물체가 밀어낸 유체의 무게와 같다. 단위 변환: $V = 400\,\text{cm}^3 = 4.0 \times 10^{-4}$ m³. 따라서 $F_B = \rho V g = (1.0 \times 10^3)(4.0 \times 10^{-4})(9.8) = 3.92$ N.

💡 전설에 따르면 아르키메데스가 욕조에 들어갔을 때 흘러넘친 물을 보고 부력의 원리를 깨달아 '유레카!'를 외쳤다고 한다.

Q27 원운동과 만유인력

지구를 중심으로 원궤도를 도는 두 인공위성 A, B가 있다. A의 궤도 반지름은 r, B의 궤도 반지름은 $4r$이다. A의 공전주기가 T일 때, B의 공전주기는?



①) ① $2T$

②) ② $4T$

③) ③ $8T$

④) ④ $16T$

⑤) ⑤ $64T$

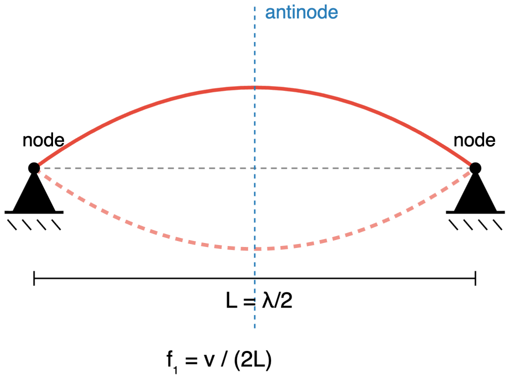
🎯 **정답:** ③ $8T$

📖 케플러의 제3법칙에 의해 $T^2 \propto r^3$이다. 즉 $\frac{T_B^2}{T_A^2} = \left(\frac{r_B}{r_A}\right)^3 = 4^3 = 64$. 따라서 $T_B = \sqrt{64} \cdot T_A = 8T$.

💡 국제우주정거장(ISS)은 약 400 km 상공에서 약 90분에 한 번 지구를 돈다. 정지위성은 약 36,000 km 상공에서 24시간에 한 번 돈다.

Q28 단순조화운동과 파동방정식

길이 $L = 1.0$ m인 양끝이 고정된 줄에서 횡파의 전파 속력이 $v = 300$ m/s이다. 이 줄에서 발생하는 기본 진동의 진동수 f_1은?



①) ① 75 Hz

②) ② 100 Hz

③) ③ 150 Hz

④) ④ 300 Hz

⑤) ⑤ 600 Hz

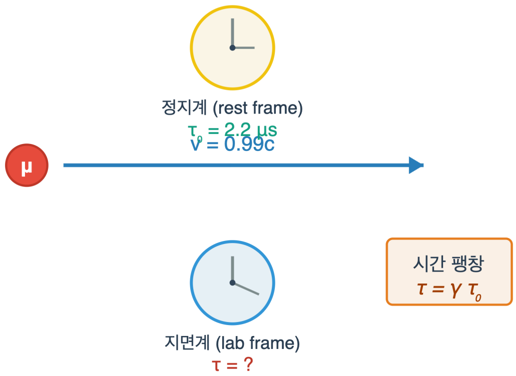
🎯 **정답:** ③ 150 **Hz**

📖 양끝이 고정된 줄의 기본 진동에서는 줄 전체가 반파장에 해당한다. 즉 $L = \frac{\lambda_1}{2}$이므로 $\lambda_1 = 2L = 2.0$ m. 따라서 $f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{300}{2.0} = 150$ Hz.

💡 기타나 바이올린 같은 현악기는 줄의 길이, 장력, 단위 길이당 질량을 조절하여 다양한 기본 진동수의 음을 낸다.

Q29 특수상대성이론 입문

뮤온은 정지좌표계에서 평균수명이 $\tau_0 = 2.2\,\mu$s인 소립자이다. 지면 관측자에 대해 뮤온이 $v = 0.99c$의 속력으로 운동할 때, 지면 관측자가 측정하는 뮤온의 평균수명은? (단, $\frac{1}{\sqrt{1-0.99^2}} \approx 7.09$)



①) ① $0.31\,\mu$s

②) ② $2.2\,\mu$s

③) ③ $4.4\,\mu$s

④) ④ $9.3\,\mu$s

⑤) ⑤ $15.6\,\mu$s

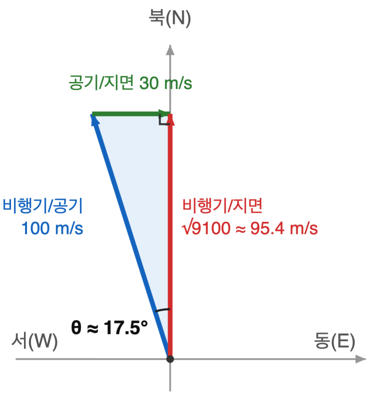
🎯 **정답:** ⑤ $15.6\,\mu$s

📖 고유시간 τ_0는 입자와 함께 움직이는 좌표계에서 측정한 수명이고, 지면 관측자에게는 시간 지연이 일어난다. $\tau = \gamma\tau_0$, 여기서 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0.9801}} \approx 7.09$. 따라서 $\tau \approx 7.09 \times 2.2\,\mu\text{s} \approx 15.6\,\mu\text{s}$.

💡 실제로 대기 상층에서 만들어진 뮤온이 지표면까지 도달하는 현상이 시간 지연(또는 우주선 관점에서는 길이 수축)으로 설명된다. 이는 특수상대성이론의 가장 직접적인 실험적 증거 중 하나이다.

Q30 평면 운동과 벡터

비행기가 공기에 대해 100 m/s의 속력으로 비행한다. 바람이 지면에 대해 동쪽으로 30 m/s로 분다. 비행기가 지면 기준으로 정북 방향으로 직진하려고 할 때, 비행기가 공기에 대해 향해야 할 방향(정북과 이루는 각도)과 지면에 대한 속력은?



①) ① 정북에서 동으로 $\sin^{-1}(0.3) \approx 17.5°$, 속력 130 m/s

②) ② 정북에서 서로 $\sin^{-1}(0.3) \approx 17.5°$, 속력 $\sqrt{9100} \approx 95.4$ m/s

③) ③ 정북에서 서로 $\tan^{-1}(0.3) \approx 16.7°$, 속력 100 m/s

④) ④ 정북에서 동으로 $\cos^{-1}(0.3) \approx 72.5°$, 속력 70 m/s

⑤) ⑤ 정북에서 서로 30°, 속력 86.6 m/s

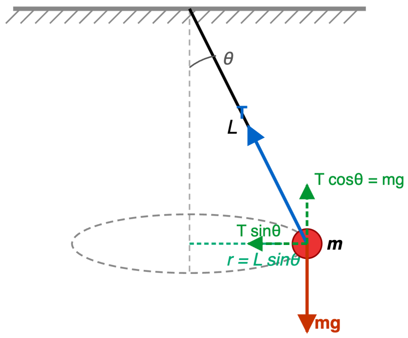
🎯 **정답: ② 정북에서 서로 $\sin^{-1}(0.3) \approx 17.5°$, 속력 $\sqrt{9100} \approx 95.4$ m/s**

📖 벡터 관계식: $\vec{v}_{비행기/지면} = \vec{v}_{비행기/공기} + \vec{v}_{공기/지면}$. 결과가 정북이어야 하므로 동서 성분이 상쇄되어야 한다. 비행기는 정북에서 서쪽으로 각도 θ만큼 향해야 하며, $100\sin\theta = 30 \Rightarrow \sin\theta = 0.3 \Rightarrow \theta \approx 17.5°$. 북쪽 성분(지면에 대한 속력)은 $100\cos\theta = \sqrt{100^2 - 30^2} = \sqrt{9100} \approx 95.4$ m/s.

💡 실제 항공기 조종에서는 이를 '편류 보정(crab angle)'이라고 부른다. 측풍 활주로 착륙 직전에 기수를 활주로와 일치시키기 위해 빠르게 자세를 바꾸는 기술이 필요하다.

Q31 원운동과 만유인력

길이 L인 가벼운 줄의 한쪽 끝을 천장에 고정하고 다른 끝에 질량 m인 작은 공을 매달았다. 공이 수평면에서 등속원운동할 때 줄이 연직선과 이루는 각도가 θ로 일정하다. 공의 회전 주기 T를 L, g, θ로 표현하라.



①) ① $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$

②) ② $T = 2\pi\sqrt{\frac{L\sin\theta}{g}}$

③) ③ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$

④) ④ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L\tan\theta}{g}}$

⑤) ⑤ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g\cos\theta}}$

정답: ③ $T = 2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$

줄의 장력을 T라 하자. 연직 방향 평형: $T\cos\theta = mg$. 수평 방향(구심력): $T\sin\theta = m\omega^2 r = m\omega^2(L\sin\theta)$. 두 식을 나누면 $\tan\theta = \frac{\omega^2 L\sin\theta}{g}$, 즉 $\omega^2 = \frac{g}{L\cos\theta}$. 따라서 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{L\cos\theta}{g}}$. 각도가 작을수록($\cos\theta \to 1$) 단진자 주기에 가까워진다.

원뿔진자는 구식 시계의 일정한 회전을 만드는 데 사용되었다. 와트의 증기기관에 사용된 '원심 조속기(governor)'도 같은 원리이다.

Q32 유체와 열물리

산소 분자의 분자량이 $M = 32$ g/mol이다. 온도 $T = 300$ K에서 산소 분자의 평균제곱근(RMS) 속력은? (단, 기체상수 $R = 8.31$ J/(mol·K))

①) ① 145 m/s

②) ② 241 m/s

③) ③ 342 m/s

④) ④ 483 m/s

⑤) ⑤ 1450 m/s

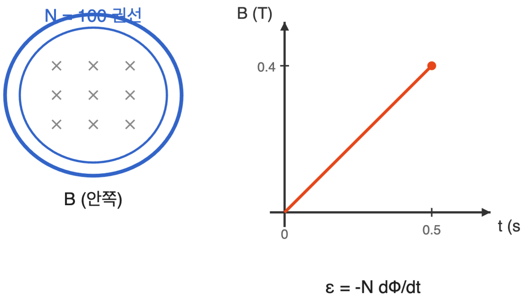
정답: ④ 483 **m/s**

이상기체의 분자운동론에서 분자 1개의 평균 운동에너지는 $\frac{1}{2}m\langle v^2\rangle = \frac{3}{2}k_B T$이며, 1 mol 단위로 쓰면 $v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$. 단위 변환: $M = 0.032$ kg/mol. 대입하면 $v_{rms} = \sqrt{\frac{3 \times 8.31 \times 300}{0.032}} = \sqrt{\frac{7479}{0.032}} = \sqrt{233{,}719} \approx 483$ m/s.

공기 중 산소 분자는 매초 평균 10^9번 이상 다른 분자와 충돌하지만, 분자 간 평균 자유 행로는 약 70 nm에 불과하다.

Q33 전자기학 심화

권선 수 $N = 100$, 반지름 $r = 10$ cm인 원형 코일이 자기장에 수직으로 놓여 있다. 자기장의 세기가 $\Delta t = 0.5$ s 동안 0에서 $B_f = 0.40$ T까지 균일하게 증가했다. 코일에 유도되는 기전력의 크기는? ($\pi \approx 3.14$ 사용)



①) ① 0.025 V

②) ② 0.25 V

③) ③ 1.26 V

④) ④ 2.51 V

⑤) ⑤ 25.1 V

🎯 **정답:** ④ 2.51 **V**

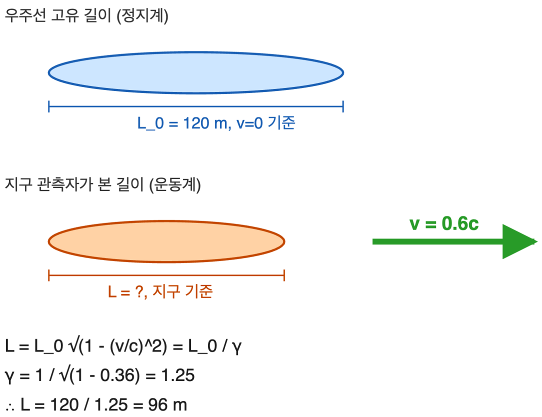
📖 코일을 통과하는 자속은 $\Phi = BA = B\pi r^2$. 패러데이의 법칙에 의해 $|\varepsilon| = N\left|\dfrac{d\Phi}{dt}\right| = N\pi r^2\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$. 대입하면

$|\varepsilon| = 100 \times 3.14 \times (0.10)^2 \times \dfrac{0.40}{0.5} = 100 \times 3.14 \times 0.01 \times 0.80 = 2.51$ V.

💡 패러데이가 1831년 이 법칙을 발견한 후, 발전기·변압기·유도전동기 등 현대 전기문명의 모든 발전·전송 기술이 이 원리 위에 세워졌다.

Q34 특수상대성이론 입문

정지길이(고유길이)가 $L_0 = 120$ m인 우주선이 지구에 대해 $v = 0.60c$로 등속 비행한다. (가) 지구 관측자가 측정한 우주선의 길이 L은? (나) 우주선 내부 승무원이 측정한 자기 우주선의 길이는?



①) ① (가) 96 m, (나) 96 m

②) ② (가) 96 m, (나) 120 m

③) ③ (가) 120 m, (나) 96 m

④) ④ (가) 150 m, (나) 120 m

⑤) ⑤ (가) 72 m, (나) 120 m

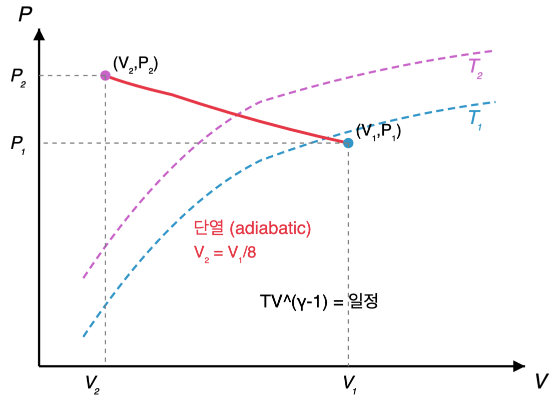
🎯 **정답: ② (가) 96 m, (나) 120 m**

📖 로런츠 인자: $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-(0.6)^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{0.64}} = \dfrac{1}{0.8} = 1.25$. (가) 지구 관측자는 우주선이 운동하는 것을 보므로 길이 수축이 일어난다: $L = \dfrac{L_0}{\gamma} = \dfrac{120}{1.25} = 96$ m. (나) 우주선 승무원에게는 우주선이 정지해 있으므로 그대로 고유길이 $L_0 = 120$ m를 측정한다. 길이 수축은 운동 방향에 대해서만 일어나는 상대적 효과임에 주의.

💡 광속에 매우 가까운 속도로 운동하는 입자(예: 가속기 안의 양성자)는 외부 좌표계에서 보면 원래 구형이라도 운동 방향으로 매우 납작한 '팬케이크' 모양으로 보인다.

Q35 유체와 열물리

단원자 이상기체(비열비 $\gamma = 5/3$)를 단열압축하여 부피를 V_1에서 $V_2 = \frac{V_1}{8}$로 줄였다. 초기 온도가 $T_1 = 300$ K이라면 압축 직후 온도 T_2는?



①) ① 150 K

②) ② 300 K

③) ③ 600 K

④) ④ 900 K

⑤) ⑤ 1200 K

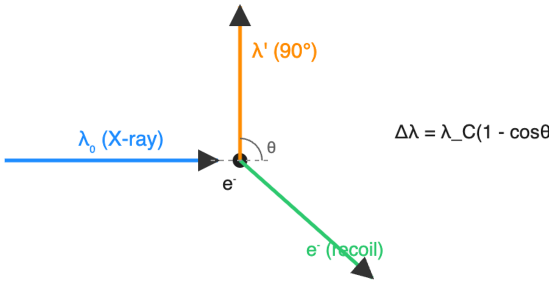
🎯 **정답: ⑤ 1200 K**

📖 단열과정에서 $PV^{\gamma} =$ 일정, 이상기체 상태방정식 $PV = nRT$와 결합하면 $TV^{\gamma-1} =$ 일정이다. 따라서 $T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$, $T_2 = T_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 300 \times 8^{2/3} = 300 \times (2^3)^{2/3} = 300 \times 2^2 = 300 \times 4 = 1200$ K. 단원자 이상기체에서 $\gamma - 1 = \frac{2}{3}$.

💡 디젤 엔진은 단열압축으로 공기 온도를 자기 발화점(약 800 K) 이상까지 올린 뒤 연료를 분사하여 점화한다. 점화 플러그가 필요 없는 이유이다.

Q36 양자·원자 물리 입문

콤프턴 산란 실험에서 파장 $\lambda_0 = 0.0500$ nm인 X선이 정지한 자유 전자에 의해 $\theta = 90°$ 방향으로 산란되었다. 산란된 X선의 파장 λ'는? (전자의 콤프턴 파장 $\lambda_C = \dfrac{h}{m_e c} = 2.43 \times 10^{-12}$ m)



①) ① 0.0476 nm
②) ② 0.0500 nm
③) ③ 0.0524 nm
④) ④ 0.0743 nm
⑤) ⑤ 0.0976 nm

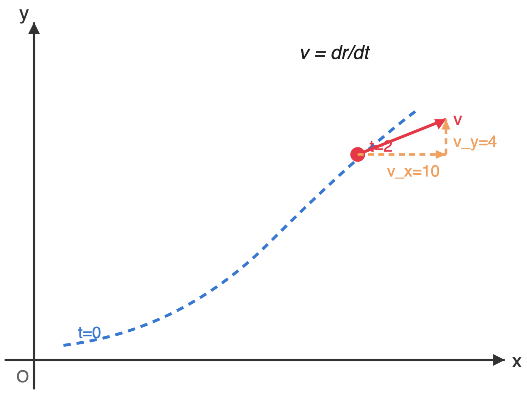
🎯 **정답: ③ 0.0524 nm**

📖 콤프턴 산란 공식: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \dfrac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta) = \lambda_C(1 - \cos\theta)$. $\theta = 90°$이면 $\cos\theta = 0$이므로 $\Delta\lambda = \lambda_C = 2.43 \times 10^{-12}$ m $= 0.00243$ nm. 따라서 $\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda = 0.0500 + 0.00243 \approx 0.0524$ nm. 산란 X선의 파장이 길어지는 것은 광자가 전자에 에너지와 운동량을 주었기 때문이다.

💡 콤프턴 산란(1923)은 빛이 입자(광자)처럼 운동량을 갖는다는 사실을 보여 양자역학의 토대를 굳혔다. 콤프턴은 이 공로로 1927년 노벨 물리학상을 받았다.

Q37 평면 운동과 벡터

한 입자의 위치벡터가 $\vec{r}(t) = (3t^2 - 2t)\hat{i} + (4t - 1)\hat{j}$ (m)로 주어진다. $t = 2$ s에서 입자의 속력은? (단, t의 단위는 초)



①) ① 10.0 m/s

②) ② $\sqrt{116}$ m/s

③) ③ 14.0 m/s

④) ④ 4.0 m/s

⑤) ⑤ 8.0 m/s

정답: ② $\sqrt{116}$ m/s

속도벡터는 위치벡터의 시간미분이다. $\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}}{dt} = (6t - 2)\hat{i} + 4\hat{j}$. $t = 2$ s를 대입하면 $\vec{v}(2) = 10\hat{i} + 4\hat{j}$ (m/s). 속력은 크기이므로 $|\vec{v}| = \sqrt{10^2 + 4^2} = \sqrt{116} \approx 10.77$ m/s.

벡터의 시간미분은 각 성분을 독립적으로 미분하면 된다. 이는 운동의 독립성을 수학적으로 표현한다.

Q38 원운동과 만유인력

두 행성 A, B가 같은 항성 주위를 원궤도로 공전한다. 공전 반지름의 비가 $r_A : r_B = 1:4$ 일 때, 공전주기의 비 $T_A : T_B$는? (케플러 제3법칙 적용)

①) ① $1:2$

②) ② $1:4$

③) ③ $1:8$

④) ④ $1:16$

⑤) ⑤ $1:64$

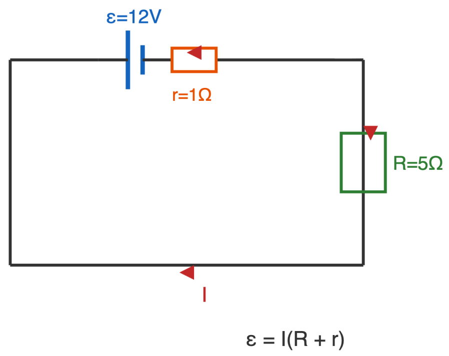
정답: ③ $1:8$

케플러 제3법칙: $T^2 \propto r^3$. 따라서 $\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{r_A}{r_B}\right)^3 = \left(\frac{1}{4}\right)^3 = \frac{1}{64}$. 양변에 제곱근을 취하면 $\frac{T_A}{T_B} = \frac{1}{8}$. 따라서 $T_A : T_B = 1:8$.

케플러는 망원경 없이 튀코 브라헤의 정밀 관측 자료만으로 이 법칙을 발견했다. 뉴턴은 이로부터 만유인력 법칙이 역제곱 형태임을 도출했다.

Q39 회로 해석 (AC/RLC)

기전력 $\varepsilon = 12$ V, 내부저항 $r = 1\ \Omega$인 전지에 외부 저항 $R = 5\ \Omega$ 이 연결되어 있다. 회로에 흐르는 전류는?



①) ① 1 A
②) ② 2 A
③) ③ 2.4 A
④) ④ 12 A
⑤) ⑤ 0 A

🎯 **정답: ② 2 A**

📖 키르히호프 전압법칙(KVL)에 의해 회로 전체에서 $\varepsilon = I(R + r)$이 성립한다. 대입하면 $12 = I(5 + 1)$, 따라서 $I = \frac{12}{6} = 2$ A. 단자전압은 $V = IR = 10$ V, 내부저항에서 손실되는 전압은 $Ir = 2$ V이다.

💡 건전지를 오래 쓰면 내부저항이 커져서 단자전압이 떨어진다. 그래서 같은 전지라도 새것일 때 더 밝게 빛난다.

Q40 단순조화운동과 파동방정식

길이 $L = 1.0$ m인 단진자를 지구($g_E = 9.8$ m/s^2)에서 화성($g_M = 3.7$ m/s^2)으로 가져갔다. 화성에서 측정한 주기 T_M은 지구에서 측정한 주기 T_E의 약 몇 배인가?

①) ① $0.61\,T_E$
②) ② T_E (변화없음)
③) ③ $1.63\,T_E$
④) ④ $2.65\,T_E$
⑤) ⑤ $6.50\,T_E$

🎯 **정답: ③ $1.63\,T_E$**

📖 단진자 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$이므로 $\frac{T_M}{T_E} = \sqrt{\frac{g_E}{g_M}} = \sqrt{\frac{9.8}{3.7}} \approx \sqrt{2.65} \approx 1.63$. 따라서 화성에서 단진자 주기는 지구의 약 1.63배. 중력이 약하면 복원력도 약해져 진자가 더 천천히 흔들린다. (길이 L은 변하지 않음에 유의)

💡 달 표면($g \approx 1.6$ m/s^2)에서는 같은 단진자가 지구보다 약 2.5배 느리게 흔들린다. 1969년 아폴로 우주인들이 달에서 걸을 때 슬로모션처럼 보이는 것도 같은 원리이다.

🔬 고등 물리II

총 40문제 · 문제와 정답·풀이 포함

Q41 특수상대성이론 입문

정지좌표계에서 측정한 뮤온의 평균수명은 $\tau_0 = 2.2 \times 10^{-6}$ s이다. 뮤온이 지구 대기 상층부에서 $v = 0.99c$의 속력으로 움직일 때, 지표면 관찰자가 측정한 뮤온의 평균수명은? (단, $c = 3 \times 10^8$ m/s, $\frac{1}{\sqrt{1-0.99^2}} \approx 7.09$)

①) ① 2.2×10^{-6} s

②) ② 4.4×10^{-6} s

③) ③ 1.56×10^{-5} s

④) ④ 2.2×10^{-8} s

⑤) ⑤ 3.1×10^{-7} s

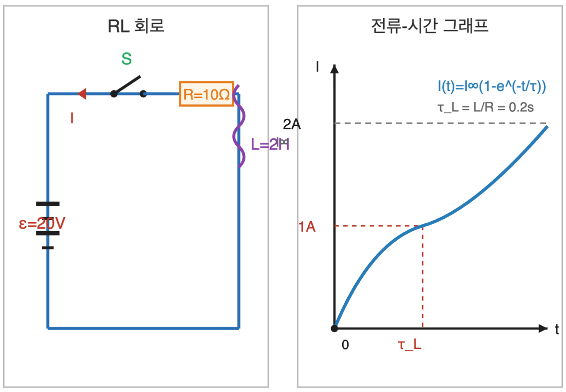
🎯 **정답: ③ 1.56×10^{-5} s**

📖 움직이는 시계는 정지좌표계에 비해 느려진다(시간 지연). $\tau = \gamma\tau_0$이고 로런츠 인자 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0.99^2}} \approx 7.09$. 따라서 $\tau = 7.09 \times 2.2 \times 10^{-6} \approx 1.56 \times 10^{-5}$ s. 뮤온은 정지수명만 보면 $c\tau_0 \approx 660$ m 정도밖에 못 가지만, 시간 지연 덕분에 수 km 두께의 대기를 뚫고 지표면까지 도달할 수 있다.

💡 고에너지 우주선이 대기와 충돌해 만든 뮤온이 지표면에서 검출되는 것은 특수상대성이론의 직접적 실험증거 중 하나이다.

Q42 회로 해석 (AC/RLC)

저항 $R = 10\ \Omega$, 인덕터 $L = 2$ H, 기전력 $\varepsilon = 20$ V가 직렬 연결된 RL 회로의 스위치를 $t = 0$에 닫는다. 전류가 정상상태 전류의 절반에 도달하는 데 걸리는 시간은? ($\ln 2 \approx 0.693$)



①) ① 0.069 s

②) ② 0.139 s

③) ③ 0.200 s

④) ④ 0.693 s

⑤) ⑤ 1.390 s

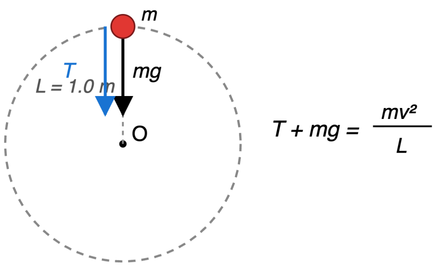
🎯 **정답: ② 0.139 s**

📖 RL 회로에서 전류는 $I(t) = I_\infty(1 - e^{-t/\tau_L})$로 증가한다. 여기서 정상상태 전류 $I_\infty = \frac{\varepsilon}{R} = 2$ A이고 RL 시정수 $\tau_L = \frac{L}{R} = \frac{2}{10} = 0.2$ s. 전류가 절반에 도달하는 조건: $\frac{1}{2} = 1 - e^{-t/\tau_L}$, 즉 $e^{-t/\tau_L} = \frac{1}{2}$. 양변에 ln을 취하면 $t = \tau_L \ln 2 = 0.2 \times 0.693 \approx 0.139$ s.

💡 인덕터는 전류의 급격한 변화에 저항한다(렌츠의 법칙). 자동차 점화코일이 이 원리를 이용해 고전압 스파크를 만든다.

Q43 원운동과 만유인력

질량 $m = 0.5$ kg인 공을 길이 $L = 1.0$ m의 가벼운 줄에 매달아 연직면 안에서 수직원운동을 시킨다. 최고점에서 공의 속력이 $v = 4.0$ m/s일 때, 줄에 작용하는 장력은? ($g = 9.8$ m/s^2)



①) ① 0 N
②) ② 3.1 N
③) ③ 4.9 N
④) ④ 8.0 N
⑤) ⑤ 12.9 N

🎯 **정답: ② 3.1 N**

📖 수직원운동 최고점에서는 장력과 중력이 모두 원의 중심(아래방향)을 향하며, 두 힘의 합력이 구심력 역할을 한다. $T + mg = \frac{mv^2}{L}$. 대입하면 $T = \frac{mv^2}{L} - mg = \frac{0.5 \times 4.0^2}{1.0} - 0.5 \times 9.8 = 8.0 - 4.9 = 3.1$ N. 만약 v가 더 작아 임계속력 $v_c = \sqrt{gL} \approx 3.13$ m/s 미만이면 줄이 느슨해진다.

💡 롤러코스터 루프 구간에서 차량이 거꾸로 매달려도 떨어지지 않는 이유가 바로 이 임계속력 이상으로 빠르게 통과하기 때문이다.

Q44 원운동과 만유인력

질량 m인 인공위성이 지구(질량 M, 반지름 R)의 중심으로부터 거리 r인 원궤도를 돈다. 이 위성을 무한히 먼 곳으로 보내는 데 필요한 추가 에너지(탈출에너지)는?

①) ① $\frac{GMm}{r}$
②) ② $\frac{GMm}{2r}$
③) ③ $\frac{2GMm}{r}$
④) ④ $\frac{GMm}{4r}$
⑤) ⑤ $\frac{GMm}{R^2}$

🎯 **정답: ②** $\frac{GMm}{2r}$

📖 원궤도에서 구심력=만유인력 조건으로 $\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2}$, 따라서 운동에너지 $K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$. 퍼텐셜에너지 $U = -\frac{GMm}{r}$. 총 역학적 에너지 $E = K + U = \frac{GMm}{2r} - \frac{GMm}{r} = -\frac{GMm}{2r}$. 무한대에서 정지 상태($E_\infty = 0$)에 도달하려면 $\Delta E = 0 - (-\frac{GMm}{2r}) = \frac{GMm}{2r}$만큼의 에너지가 추가로 필요하다.

💡 원궤도 위성의 총에너지는 운동에너지의 음수와 같다($E = -K$). 이를 비리얼 정리라 부르고, 별과 은하의 안정성 분석에 핵심적인 역할을 한다.

Q45 특수상대성이론 입문

정지질량이 m_0인 입자의 운동에너지가 $K = m_0c^2$일 때, 이 입자의 운동량 크기는?

①) ① m_0c
②) ② $\sqrt{2}\ m_0c$
③) ③ $\sqrt{3}\ m_0c$
④) ④ $2m_0c$
⑤) ⑤ $\sqrt{5}\ m_0c$

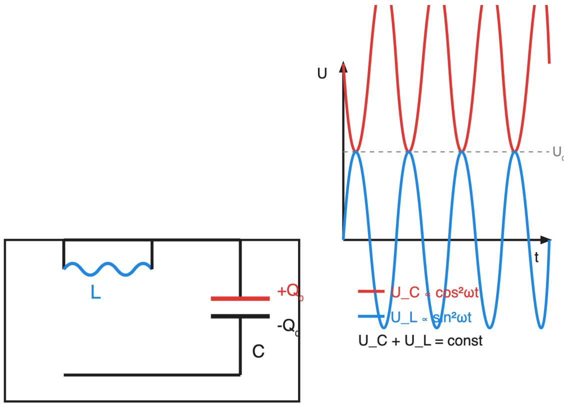
🎯 **정답: ③ $\sqrt{3}\ m_0c$**

📖 상대론에서 총에너지 $E = K + m_0c^2 = m_0c^2 + m_0c^2 = 2m_0c^2$. 에너지-운동량 관계식 $E^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$에 대입하면 $(2m_0c^2)^2 = (pc)^2 + (m_0c^2)^2$, 즉 $(pc)^2 = 4(m_0c^2)^2 - (m_0c^2)^2 = 3(m_0c^2)^2$. 따라서 $pc = \sqrt{3}\ m_0c^2$이고 $p = \sqrt{3}\ m_0c$. (참고: 이때 $\gamma = 2$이므로 $v = \frac{\sqrt{3}}{2}c \approx 0.866c$)

💡 입자가속기에서 양성자를 $K = m_0c^2$만큼 가속하려면 약 938 MeV의 에너지가 필요하다. 이는 LHC의 충돌에너지에 비하면 매우 작은 값이다.

Q46 회로 해석 (AC/RLC)

인덕터 $L = 2$ mH와 축전기 $C = 8\ \mu$F로 구성된 LC 회로에서, $t = 0$에 축전기에 전하 $Q_0 = 4\ \mu$C이 충전되어 있고 인덕터 전류는 0이다. 회로 진동 중 인덕터에 저장되는 최대 자기에너지는?



LC 폐회로 (초기: C에 ±Q_0 충전)

①) ① 0.5 μJ
②) ② 1 μJ
③) ③ 2 μJ
④) ④ 4 μJ
⑤) ⑤ 8 μJ

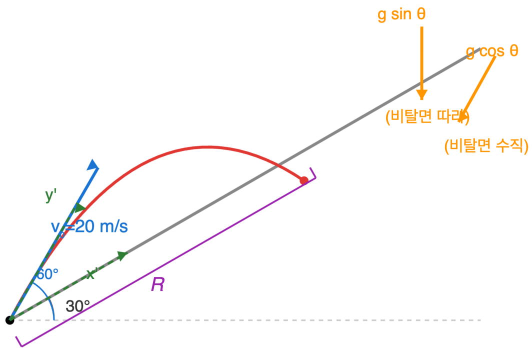
🎯 **정답: ② 1 μJ**

📖 LC 회로는 저항이 없으므로 총 에너지가 보존된다. 초기에는 모든 에너지가 축전기의 전기에너지로 저장되어 있다: $U_{C,\max} = \frac{Q_0^2}{2C} = \frac{(4\times10^{-6})^2}{2\times8\times10^{-6}} = \frac{16\times10^{-12}}{16\times10^{-6}} = 10^{-6}$ J $= 1\ \mu$J. 인덕터 전류가 최대가 되는 순간(축전기 전하 0)에는 이 에너지 전부가 자기에너지 $U_{L,\max} = \frac{1}{2}LI$max2로 옮겨간다. 에너지 보존에 의해 $U_{L,\max} = U_{C,\max} = 1\ \mu$J.

💡 이상적인 LC 회로는 마찰 없는 진자처럼 영원히 진동한다. 실제로는 작은 저항 때문에 감쇠하며, 라디오 튜너처럼 공명 회로의 핵심 원리가 된다.

Q47 평면 운동과 벡터

경사각 $\theta = 30°$인 매끄러운 비탈면 아래에서, 비탈면 위쪽 방향으로부터 30° 위쪽(즉 수평면과는 60° 각도)으로 초속 $v_0 = 20$ m/s 인 공을 발사한다. 공이 비탈면에 다시 떨어질 때까지 비탈면을 따라 이동한 거리는? ($g = 10$ m/s^2, 공기저항 무시)



①) ① $\frac{80}{3}$ m
②) ② 40 m
③) ③ 20 m
④) ④ 60 m
⑤) ⑤ 80 m

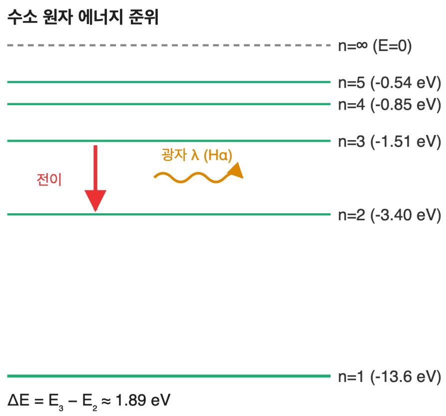
🎯 **정답: ① $\frac{80}{3}$ m**

📖 비탈면 방향(x')과 수직(y') 좌표계를 사용. 초속도 성분: $v_{x'} = v_0\cos30° = 10\sqrt{3}$ m/s, $v_{y'} = v_0\sin30° = 10$ m/s. 중력성분: $a_{x'} = -g\sin\theta = -5$ m/s^2, $a_{y'} = -g\cos\theta = -5\sqrt{3}$ m/s^2. 비탈면 복귀 조건 $y' = 0$에서 비행시간 $t = \frac{2v_{y'}}{g\cos\theta} = \frac{2\times10}{5\sqrt{3}} = \frac{4}{\sqrt{3}}$ s.
비탈면 위 이동거리 $R = v_{x'}t + \frac{1}{2}a_{x'}t^2 = 10\sqrt{3} \times \frac{4}{\sqrt{3}} + \frac{1}{2}(-5)\left(\frac{4}{\sqrt{3}}\right)^2 = 40 - \frac{40}{3} = \frac{80}{3}$ m ≈ 26.7 m.

💡 평지($\theta = 0$)일 때 같은 60° 발사각이면 사거리는 $\frac{v_0^2\sin2\theta}{g} = \frac{400\sin120°}{10} \approx 34.6$ m. 비탈면이 위로 향하면 사거리가 줄어든다는 직관과 일치한다.

Q48 양자·원자 물리 입문

보어 수소원자 모형에서 전자의 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 전자가 $n = 3$ 준위에서 $n = 2$ 준위로 천이할 때 방출되는 광자의 에너지는?



①) ① 1.51 eV
②) ② 1.89 eV
③) ③ 3.40 eV
④) ④ 10.2 eV
⑤) ⑤ 13.6 eV

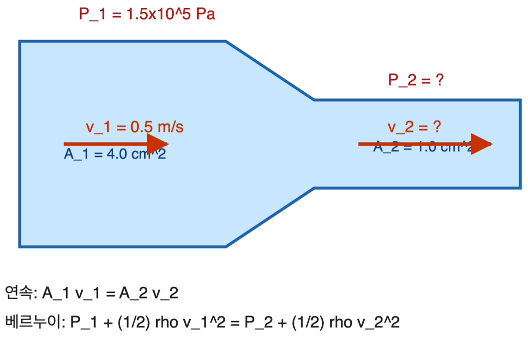
🎯 **정답: ② 1.89 eV**

📖 에너지 준위 공식에 대입: $E_3 = -\frac{13.6}{9} \approx -1.51$ eV, $E_2 = -\frac{13.6}{4} = -3.40$ eV. 천이 시 방출 광자 에너지는 두 준위 에너지 차이: $\Delta E = E_3 - E_2 = -1.51 - (-3.40) = 1.89$ eV. 이 광자의 파장 $\lambda = \frac{hc}{\Delta E} \approx 656$ nm로, 가시광선 영역의 빨간색 빛이다. 이는 발머 계열의 H_α 선이다.

💡 태양 스펙트럼에서 검은 흡수선으로 나타나는 H_α 선(656.3 nm)은 천문학자가 별의 화학 조성과 운동을 알아내는 가장 중요한 단서 중 하나이다.

Q49 유체와 열물리

수평으로 놓인 파이프에서 단면적이 $A_1 = 4.0\ \mathrm{cm}^2$에서 $A_2 = 1.0\ \mathrm{cm}^2$로 좁아진다. 단면 1에서 물의 속력 $v_1 = 0.50\ \mathrm{m/s}$, 압력 $P_1 = 1.5 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$일 때, 단면 2에서의 압력 P_2는? (물의 밀도 $\rho = 1000\ \mathrm{kg/m^3}$)



①) ① 1.45×10^5 Pa

②) ② 1.46×10^5 Pa

③) ③ 1.48×10^5 Pa

④) ④ 1.50×10^5 Pa

⑤) ⑤ 1.52×10^5 Pa

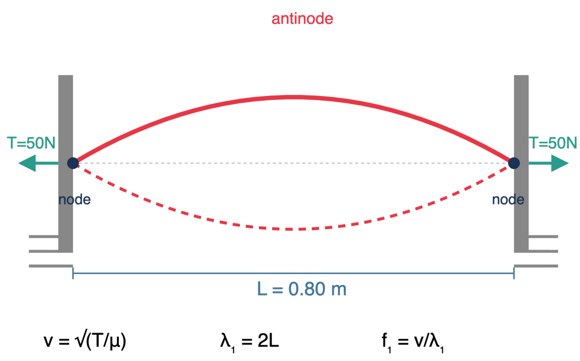
🎯 **정답: ③ 1.48×10^5 Pa**

📖 1단계(연속방정식): $A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{4.0}{1.0} \times 0.50 = 2.0\ \mathrm{m/s}$. 2단계(베르누이, 수평이라 $\rho g h$ 항 제거): $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$. 3단계(대입): $P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) = 1.5 \times 10^5 + \frac{1}{2}(1000)(0.25 - 4.0) = 1.5 \times 10^5 - 1875 \approx 1.48 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$. 좁아진 곳에서 속력은 커지고 압력은 작아진다(베르누이 효과).

💡 비행기 날개 윗면이 아래면보다 곡률이 커서 공기가 더 빨리 흘러 양력이 발생하는 원리도 동일한 베르누이 효과의 응용이다.

Q50 단순조화운동과 파동방정식

양 끝이 고정된 길이 $L = 0.80\ \mathrm{m}$, 선밀도 $\mu = 2.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg/m}$인 줄을 장력 $T = 50\ \mathrm{N}$으로 팽팽히 당겼다. 이 줄에 생기는 기본 진동(1차 모드)의 진동수 f_1은 약 얼마인가?



Fundamental mode (n=1): one antinode at center, nodes at both ends

①) ① 약 49 Hz

②) ② 약 79 Hz

③) ③ 약 99 Hz

④) ④ 약 158 Hz

⑤) ⑤ 약 198 Hz

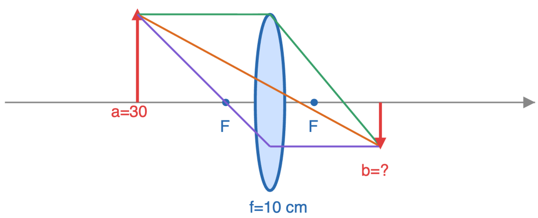
🎯 **정답: ③ 약 99 Hz**

📖 1단계(파속): 줄에서 횡파의 속력은 $v = \sqrt{T/\mu} = \sqrt{50/(2.0 \times 10^{-3})} = \sqrt{2.5 \times 10^4} \approx 158.1\ \mathrm{m/s}$. 2단계(기본 파장): 양끝 고정의 1차 모드는 $\lambda_1 = 2L = 1.6$ m. 3단계(진동수): $f_1 = v/\lambda_1 = 158.1/1.6 \approx 98.8\ \mathrm{Hz} \approx 99\ \mathrm{Hz}$. 일반 모드는 $f_n = nf_1$.

💡 기타 줄의 음높이를 올릴 때 페그를 돌려 장력 T를 키운다. $f \propto \sqrt{T}$ 이므로 장력을 4배로 하면 진동수는 2배(한 옥타브 위)가 된다.

Q51 파동광학과 기하광학

초점거리 $f = 10\ \text{cm}$인 얇은 볼록렌즈 앞 $a = 30\ \text{cm}$ 위치에 물체를 놓았다. 렌즈공식 $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$로 상의 위치 b와 배율 $|m| = b/a$를 구하고, 상의 종류(정립/도립, 실상/허상, 확대/축소)를 답하시오.



①) ① $b = 15$ cm, 정립허상, 축소($m = 0.5$)

②) ② $b = 15$ cm, 도립실상, 축소($|m| = 0.5$)

③) ③ $b = 15$ cm, 도립실상, 확대($|m| = 2$)

④) ④ $b = 20$ cm, 도립실상, 같은 크기

⑤) ⑤ $b = 30$ cm, 정립허상, 같은 크기

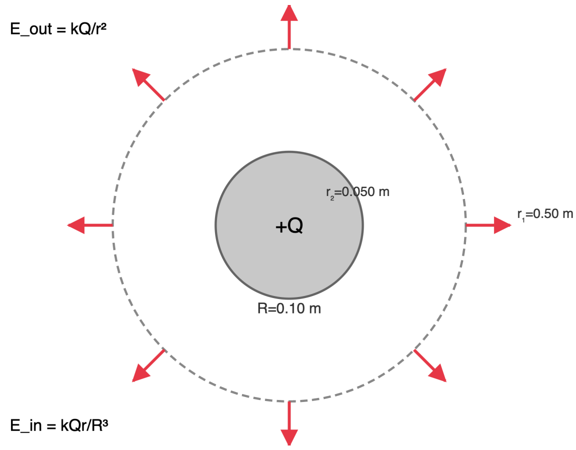
🎯 **정답: ② $b = 15$ cm, 도립실상, 축소($|m| = 0.5$)**

📖 1단계(렌즈공식): $\frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{3-1}{30} = \frac{2}{30}$. 따라서 $b = 15\ \text{cm} > 0$ (렌즈 반대쪽 → 실상). 2단계(배율): $|m| = b/a = 15/30 = 0.5$. 3단계(상의 종류): 물체가 $a > 2f = 20$ cm 영역에 있으므로 도립·실상·축소. 부호로는 $m = -b/a = -0.5$로 음수가 도립을 의미.

💡 사람 눈의 망막에 맺히는 상도 도립실상이다. 뇌가 이를 자동으로 정립처럼 인식해 거꾸로 보이지 않는다.

Q52 전자기학 심화

반지름 $R = 0.10\text{ m}$인 절연체 구에 전하 $Q = 2.0\times10^{-6}\text{ C}$가 부피에 균일하게 분포해 있다. 가우스 법칙을 이용하여 구의 중심으로부터 (i) $r_1 = 0.50\text{ m}$ 지점, (ii) $r_2 = 0.050\text{ m}$ 지점에서의 전기장 크기를 각각 구하시오. ($k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0\times10^9\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$)



①) ① $E_1 = 7.2\times10^4$ V/m, $E_2 = 0$

②) ② $E_1 = 7.2\times10^4$ V/m, $E_2 = 9.0\times10^5$ V/m

③) ③ $E_1 = 3.6\times10^4$ V/m, $E_2 = 9.0\times10^5$ V/m

④) ④ $E_1 = 1.44\times10^5$ V/m, $E_2 = 0$

⑤) ⑤ $E_1 = 7.2\times10^4$ V/m, $E_2 = 1.8\times10^6$ V/m

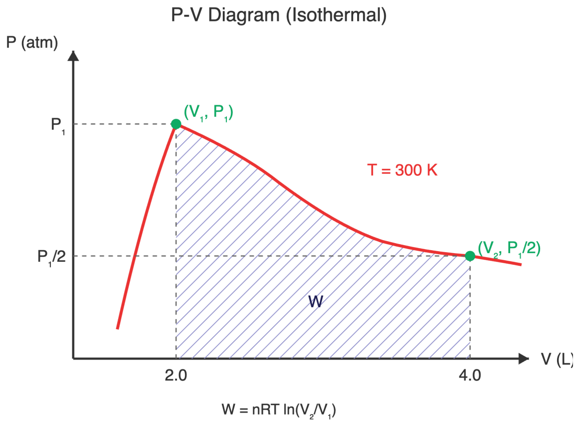
🎯 **정답: ② $E_1 = 7.2\times10^4$ V/m, $E_2 = 9.0\times10^5$ V/m**

📖 1단계(외부, $r > R$): 구 대칭이므로 반지름 r_1 가우스면을 잡으면 $\oint \vec{E}\cdot d\vec{A} = E(4\pi r_1^2) = Q/\varepsilon_0$. 외부에서는 마치 점전하처럼 보여 $E_1 = kQ/r_1^2 = 9.0\times10^9\times2.0\times10^{-6}/(0.50)^2 = 7.2\times10^4$ V/m. 2단계(내부, $r < R$): 가우스면 내부 전하는 부피비로 $Q_{enc} = Q(r_2/R)^3$. $E(4\pi r_2^2) = Q_{enc}/\varepsilon_0 \to E_2 = \dfrac{kQr_2}{R^3} = \dfrac{9.0\times10^9\times2.0\times10^{-6}\times0.050}{(0.10)^3} = 9.0\times10^5$ V/m. 내부에서 E는 r에 비례, 외부에서는 $1/r^2$로 감소.

💡 균일 대전 구 외부에서는 모든 전하가 중심에 모인 점전하처럼 보인다. 뉴턴이 만유인력에서 발견한 '구 껍질 정리'와 동일한 수학 구조다.

Q53 유체와 열물리

이상기체 1몰을 일정한 온도 $T = 300$ K에서 부피 $V_1 = 2.0$ L에서 $V_2 = 4.0$ L로 천천히 팽창시켰다(등온가역 과정). 이 과정에서 기체가 한 일 W는? ($R = 8.31$ J/(mol·K), $\ln 2 \approx 0.693$)



①) ① 약 500 J

②) ② 약 870 J

③) ③ 약 1730 J

④) ④ 약 2490 J

⑤) ⑤ 약 3460 J

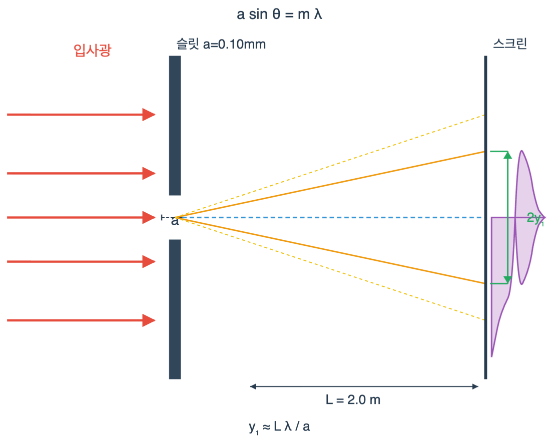
🎯 **정답: ③ 약 1730 J**

📖 1단계(등온 과정의 일): $W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV$. 이상기체 $P = nRT/V$이므로 $W = nRT\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V} = nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$. 2단계(대입): $W = (1)(8.31)(300)\ln(4/2) = 2493 \times 0.693 \approx 1728\text{ J} \approx 1730\text{ J}$. 3단계(에너지 흐름): 등온이므로 $\Delta U = 0$, 열역학 1법칙 $Q = W + \Delta U = W \rightarrow$ 기체가 받은 열이 모두 일로 전환.

💡 등온 곡선 $PV =$ 일정은 보일의 법칙과 동치이며, P-V 그래프에서 쌍곡선 형태로 나타난다.

Q54 파동광학과 기하광학

폭 $a = 0.10\ \mathrm{mm}$인 단일 슬릿에 파장 $\lambda = 600\ \mathrm{nm}$의 단색광을 수직 입사시키고, 슬릿에서 $L = 2.0\ \mathrm{m}$ 떨어진 스크린에 회절무늬를 관측한다. 중앙 극대(중앙 밝은 무늬) 양옆 제1 어두운 무늬 사이의 거리(중앙 극대의 폭)는 약 얼마인가? (작은 각 근사 사용)



①) ① 6.0 mm

②) ② 12 mm

③) ③ 18 mm

④) ④ 24 mm

⑤) ⑤ 30 mm

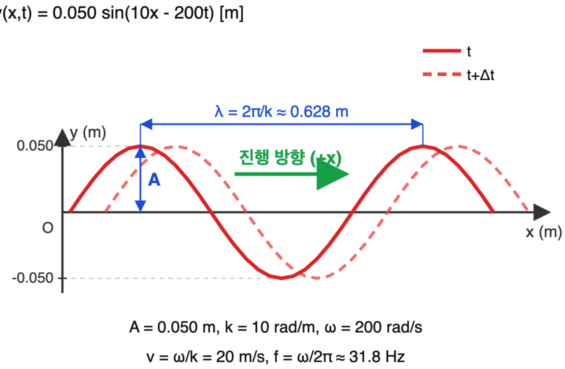
🎯 **정답: ④ 24 mm**

📖 1단계(어두운 무늬 조건): 단일 슬릿 회절에서 어두운 무늬는 $a\sin\theta = m\lambda$ ($m = \pm 1, \pm 2, \ldots$). 2단계(작은 각 근사): $\sin\theta \approx \tan\theta = y/L$. 제1 어두운 무늬 위치 $y_1 = L\lambda/a = (2.0)(600 \times 10^{-9})/(1.0 \times 10^{-4}) = 1.2 \times 10^{-2}\ \mathrm{m} = 12\ \mathrm{mm}$. 3단계(중앙 극대의 폭): 양옆 제1 어두운 무늬 사이 거리 $= 2y_1 = 24$ mm. 중앙 극대는 다른 극대보다 두 배 넓다.

💡 슬릿 폭 a를 좁히면 회절각이 커져 무늬가 퍼진다. 한계까지 좁히면 빛이 거의 모든 방향으로 퍼져 호이겐스 원리의 점 파원처럼 행동한다.

Q55 단순조화운동과 파동방정식

줄을 따라 진행하는 횡파의 변위가 $y(x,t) = 0.050\sin(10x - 200t)$ [m] (x, t는 SI 단위)로 주어졌다. 이 파동의 진행 속력과 진행 방향, 진동수 f를 모두 옳게 짝지은 것은?



①) ① $v = 10$ m/s, +x 방향, $f \approx 31.8$ Hz

②) ② $v = 20$ m/s, +x 방향, $f \approx 31.8$ Hz

③) ③ $v = 20$ m/s, -x 방향, $f \approx 31.8$ Hz

④) ④ $v = 20$ m/s, +x 방향, $f = 200$ Hz

⑤) ⑤ $v = 200$ m/s, +x 방향, $f \approx 100$ Hz

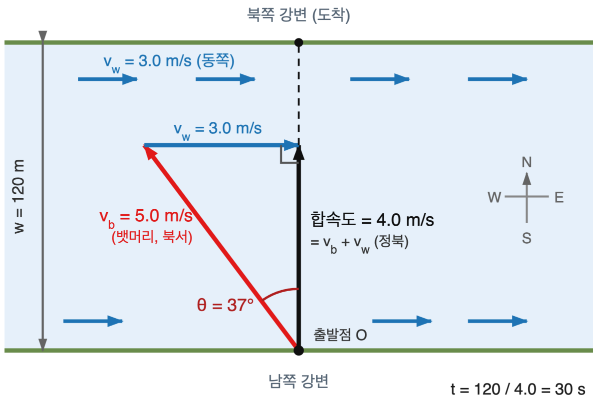
🎯 **정답: ② $v = 20$ m/s, +x 방향, $f \approx 31.8$ Hz**

📖 1단계(일반형 비교): $y = A\sin(kx - \omega t)$ 형태 → $k = 10$ rad/m, $\omega = 200$ rad/s, $A = 0.050$ m. 부호 $(kx - \omega t)$는 $+x$ 방향 진행을 의미(위상이 일정하려면 x가 t와 같이 증가). 2단계(속력): $v = \omega/k = 200/10 = 20$ m/s. 3단계(진동수): $f = \omega/(2\pi) = 200/(2\pi) \approx 31.83$ Hz. 파장은 $\lambda = 2\pi/k \approx 0.628$ m이고, $v = f\lambda$로 검산: $31.83 \times 0.628 \approx 20$ ✓.

💡 $y = A\sin(kx + \omega t)$이면 $-x$ 방향 진행파다. 진행 방향은 괄호 안 두 항의 부호 관계만 보면 즉시 판별할 수 있다.

Q56 평면 운동과 벡터

강물이 동쪽으로 $v_w = 3.0\ \mathrm{m/s}$로 흐른다. 강폭은 $w = 120\ \mathrm{m}$이고, 보트는 정지한 물에 대해 $v_b = 5.0\ \mathrm{m/s}$의 속력을 낼 수 있다. 보트가 출발 지점의 정확히 맞은편(북쪽) 강변에 도달하려면 보트의 뱃머리를 북쪽 기준으로 서쪽으로 몇 도 기울여야 하며, 강을 건너는 데 걸리는 시간은? ($\sin 37° \approx 0.6$, $\cos 37° \approx 0.8$)



①) ① 북서 30°, 24 s
②) ② 북서 37°, 30 s
③) ③ 북서 45°, 30 s
④) ④ 북서 53°, 40 s
⑤) ⑤ 북서 37°, 40 s

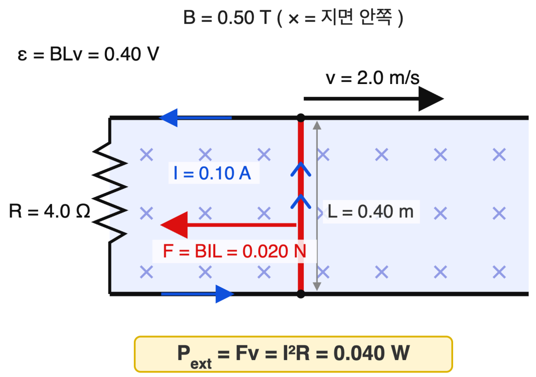
🎯 **정답: ② 북서 37°, 30 s**

📖 1단계(서쪽 성분 = 강물 상쇄): 보트의 서쪽 분속도가 강물의 동쪽 흐름을 정확히 상쇄해야 직진 북쪽 합성속도가 된다. $v_b \sin\theta = v_w \Rightarrow \sin\theta = 3/5 = 0.6 \Rightarrow \theta = 37°$. 2단계(북쪽 합성 속력): $v_N = v_b \cos\theta = 5 \times 0.8 = 4.0\ \mathrm{m/s}$. 3단계(시간): $t = w/v_N = 120/4.0 = 30\ \mathrm{s}$. 강 한복판에서 잠시 멈춰도 동쪽으로 떠내려간다는 직관을 벡터 분해로 확인한 것.

💡 비행기가 옆바람을 받으면서 활주로에 일직선으로 착륙하기 위해 기수를 바람 쪽으로 기울이는 '크랩(crab) 기동'도 정확히 같은 벡터 합성이다.

Q57 전자기학 심화

수평인 평행 도체 레일 위에 길이 $L = 0.40$ m인 도체 막대가 마찰 없이 놓여 있다. 균일 자기장 $B = 0.50$ T가 지면 안쪽 방향(레일 면에 수직)으로 걸려 있고, 막대를 외력으로 $v = 2.0$ m/s의 등속으로 끈다. 회로 전체 저항이 $R = 4.0\ \Omega$일 때, 외력이 시간당 해야 하는 일률(외부 입력 일률) P_{ext}는?



①) ① $P_{ext} = 0.020$ W
②) ② $P_{ext} = 0.040$ W
③) ③ $P_{ext} = 0.080$ W
④) ④ $P_{ext} = 0.10$ W
⑤) ⑤ $P_{ext} = 0.40$ W

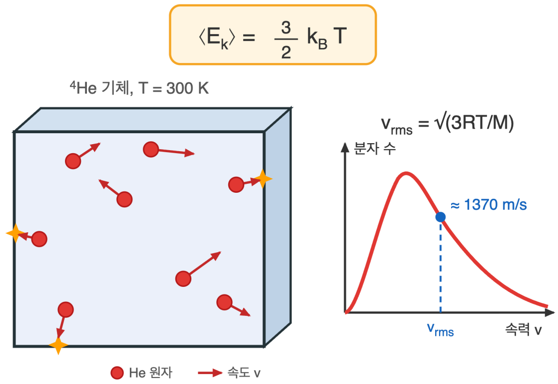
🎯 **정답:** ② $P_{ext} = 0.040$ **W**

📖 1단계(유도 기전력): $\varepsilon = BLv = (0.50)(0.40)(2.0) = 0.40$ V (운동 EMF). 2단계(유도 전류): $I = \varepsilon/R = 0.40/4.0 = 0.10$ A. 3단계(막대에 작용하는 자기력, 렌츠의 법칙에 의해 운동을 방해하는 방향): $F = BIL = (0.50)(0.10)(0.40) = 0.020$ N. 4단계(등속을 유지하려면 외력 = 자기력 크기, 방향 반대): $P_{ext} = Fv = (0.020)(2.0) = 0.040$ W. 검산(저항 소비전력): $P_R = I^2R = (0.10)^2(4.0) = 0.040$ W ✓. 외부 일이 모두 줄열로 전환된다(에너지 보존).

💡 발전기의 작동 원리가 바로 이것이다. 외부 에너지(터빈 회전)가 도체의 운동을 통해 전기에너지로 변환되며, 이때 도체에 작용하는 자기적 '저항력'을 이겨야 한다.

Q58 유체와 열물리

이상기체 분자의 평균 병진 운동에너지는 $\langle E_k\rangle = \frac{3}{2}k_BT$로 주어진다. 헬륨(^{4}He, 몰질량 $M = 4.0\times10^{-3}$ kg/mol) 기체의 온도가 $T = 300$ K일 때, 분자의 평균제곱근 속력 $v_{rms} = \sqrt{\langle v^2\rangle}$ 는 약 얼마인가? ($k_B = 1.38\times10^{-23}$ J/K, $N_A = 6.02\times10^{23}$ /mol, $R = k_BN_A = 8.31$ J/(mol·K))



①) ① 약 685 m/s

②) ② 약 970 m/s

③) ③ 약 1370 m/s

④) ④ 약 1940 m/s

⑤) ⑤ 약 2740 m/s

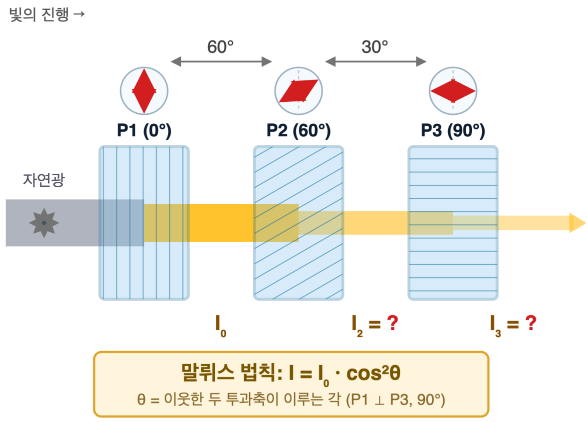
🎯 **정답: ③ 약 1370 m/s**

📖 1단계(분자 한 개 질량): $m = M/N_A = (4.0\times10^{-3})/(6.02\times10^{23}) \approx 6.64\times10^{-27}$ kg. 2단계(에너지 등식): $\frac{1}{2}m\langle v^2\rangle = \frac{3}{2}k_BT \Rightarrow \langle v^2\rangle = \frac{3k_BT}{m} = \frac{3RT}{M}$ (몰 단위). 3단계(대입, 몰 단위가 편함): $v_{rms} = \sqrt{3RT/M} = \sqrt{3(8.31)(300)/(4.0\times10^{-3})} = \sqrt{1.87\times10^6} \approx 1368$ m/s. 헬륨이 가벼워 같은 온도에서 공기 분자(약 500 m/s)보다 훨씬 빠르다.

💡 지구 탈출속도(약 11.2 km/s)에 비하면 느려 보이지만, 헬륨 분자는 맥스웰 분포의 꼬리 부분에서 탈출속도를 충분히 넘어 우주로 빠져나간다. 그래서 지구 대기에는 헬륨이 거의 없다.

Q59 파동광학과 기하광학

자연광이 첫 번째 편광판을 통과한 직후의 강도를 I_0라 하자. 이 빛이 두 번째 편광판(첫 번째 투과축과 $60°$ 어긋남)을 거친 뒤, 다시 세 번째 편광판(두 번째 투과축과 $30°$ 더 어긋나, 결과적으로 첫 번째와 직교: $60° + 30° = 90°$)을 거친다. 두 번째와 세 번째 편광판을 각각 통과한 직후의 강도 I_2, I_3는?



①) ① $I_2 = I_0/4, I_3 = 0$

②) ② $I_2 = I_0/4, I_3 = 3I_0/16$

③) ③ $I_2 = I_0/2, I_3 = I_0/8$

④) ④ $I_2 = I_0/4, I_3 = I_0/8$

⑤) ⑤ $I_2 = I_0/3, I_3 = I_0/12$

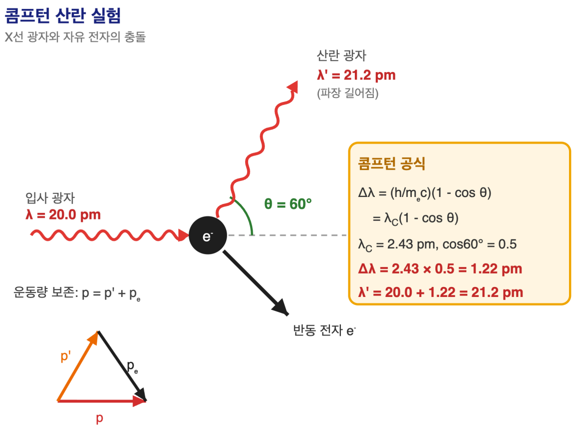
🎯 **정답: ②** $I_2 = I_0/4, I_3 = 3I_0/16$

📖 1단계(말뤼스의 법칙): 두 편광판의 투과축 사이 각이 θ일 때, 입사한 편광의 강도는 $I_{out} = I_{in}\cos^2\theta$. 2단계(P2 통과): $I_2 = I_0\cos^2(60°) = I_0(1/2)^2 = I_0/4$. 3단계(P3 통과): P2와 P3 사이 각은 $30°$. $I_3 = I_2\cos^2(30°) = (I_0/4)(\sqrt{3}\ /2)^2 = (I_0/4)(3/4) = 3I_0/16$. 흥미로운 점: P1과 P3는 직교(90°)이므로 P2가 없으면 빛이 완전히 차단되지만, 중간에 P2를 넣자 $3I_0/16$가 통과한다. 양자역학적 측정의 비고전적 효과를 보여주는 고전적 예시.

💡 3D 영화는 양 눈에 서로 직교하는(또는 원편광 방향이 반대인) 영상을 보내고, 안경의 편광 필터가 한쪽 영상만 통과시키는 원리로 입체감을 만든다.

Q60 양자·원자 물리 입문

콤프턴 산란 실험에서 X선 광자(파장 $\lambda = 2.00 \times 10^{-11}$ m = 20.0 pm)가 자유 전자와 충돌해 산란각 $\theta = 60°$로 산란되었다. 콤프턴 식 $\Delta\lambda = \lambda_C(1 - \cos\theta)$를 이용해 파장 변화량 $\Delta\lambda$와 산란 광자의 파장 λ'를 구하시오. (전자의 콤프턴 파장 $\lambda_C = h/(m_e c) = 2.43 \times 10^{-12}$ m = 2.43 pm)



①) ① $\Delta\lambda = 0$, $\lambda' = 20.0$ pm
②) ② $\Delta\lambda = 0.61$ pm, $\lambda' = 20.6$ pm
③) ③ $\Delta\lambda = 1.22$ pm, $\lambda' = 21.2$ pm
④) ④ $\Delta\lambda = 2.43$ pm, $\lambda' = 22.4$ pm
⑤) ⑤ $\Delta\lambda = 1.22$ pm, $\lambda' = 18.8$ pm

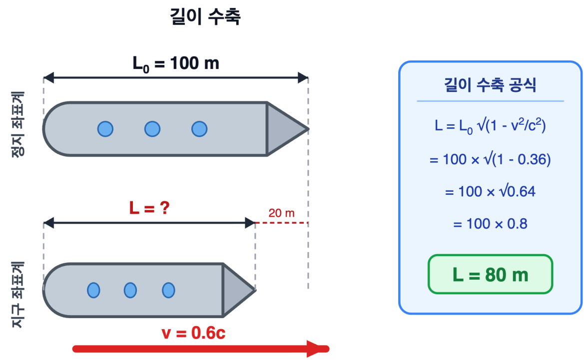
🎯 **정답: ③ $\Delta\lambda = 1.22$ pm, $\lambda' = 21.2$ pm**

📖 1단계(콤프턴 공식): $\Delta\lambda = \lambda_C(1 - \cos\theta)$. 2단계($\cos 60° = 0.5$ 대입): $\Delta\lambda = (2.43\text{ pm})(1 - 0.5) = 1.215\text{ pm} \approx 1.22$ pm. 3단계(산란 광자 파장): $\lambda' = \lambda + \Delta\lambda = 20.0 + 1.22 = 21.2$ pm. 산란 후 광자는 에너지를 전자에 일부 넘겨주므로 파장이 길어진다($E = hc/\lambda$ 감소). $\Delta\lambda$는 입사 파장과 무관하고 산란각에만 의존한다는 점이 콤프턴 실험의 결정적 증거였다. 4단계(검산): $\theta = 180°$(정면 반사)일 때 최대 $\Delta\lambda = 2\lambda_C \approx 4.86$ pm. 우리 결과는 이보다 작아 합리적.

💡 콤프턴은 이 실험으로 1927년 노벨물리학상을 받았다. 빛이 단순 파동이 아니라 운동량 $p = h/\lambda$를 가진 입자(광자)로서 당구공처럼 충돌한다는 것을 보여 양자역학의 토대를 다졌다.

Q61 특수상대성이론 입문

정지 길이가 $L_0 = 100\,\mathrm{m}$인 우주선이 지구에 대해 $0.6c$의 속력으로 등속 직선 운동을 한다. 지구의 관측자가 측정한 우주선의 길이는? ($c = 3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$)



①) ① 60 m
②) ② 80 m
③) ③ 100 m
④) ④ 125 m
⑤) ⑤ 160 m

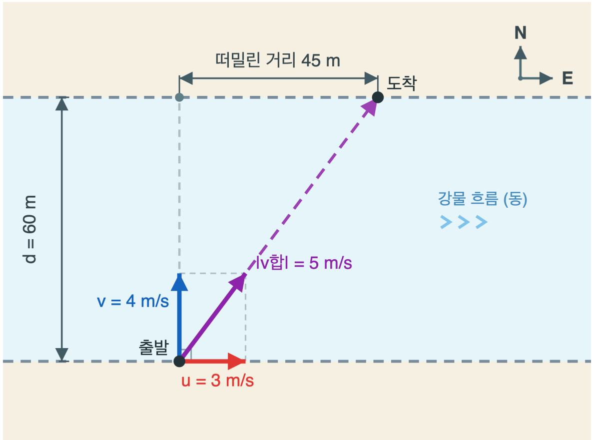
🎯 **정답: ② 80 m**

📖 길이 수축 공식 $L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2}$ 를 사용한다. $v = 0.6c$이므로 $\sqrt{1 - 0.36} = \sqrt{0.64} = 0.8$. 따라서 $L = 100 \times 0.8 = 80\,\mathrm{m}$. 길이 수축은 운동 방향으로만 일어나며, 우주선과 함께 움직이는 관측자는 여전히 $100\,\mathrm{m}$로 측정한다.

💡 길이 수축은 막대 자체가 줄어드는 것이 아니라 동시성의 상대성에서 비롯된 측정 결과의 차이이다.

Q62 평면 운동과 벡터

폭 $d = 60\,\mathrm{m}$인 강이 동쪽으로 $u = 3\,\mathrm{m/s}$의 일정한 속력으로 흐른다. 정지한 수면에서 $v = 4\,\mathrm{m/s}$로 갈 수 있는 배가 뱃머리를 정북으로 향한 채 출발했다. 강을 건너는 데 걸리는 시간과 하류로 떠밀린 거리는?



①) ① 시간 12 s, 거리 36 m

②) ② 시간 15 s, 거리 45 m

③) ③ 시간 15 s, 거리 60 m

④) ④ 시간 20 s, 거리 60 m

⑤) ⑤ 시간 12 s, 거리 48 m

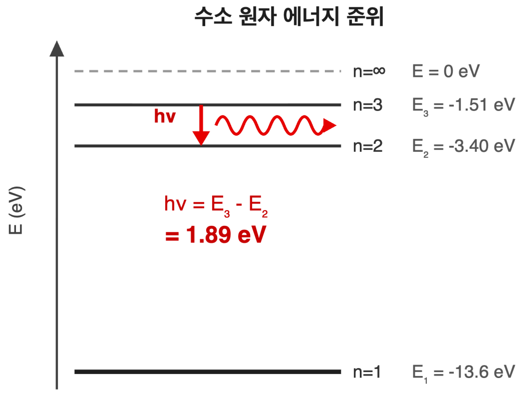
🎯 **정답: ② 시간 15 s, 거리 45 m**

📖 강폭 방향(북) 속도는 배의 자력 속도 $v = 4\,\mathrm{m/s}$이고 강물의 흐름은 이와 수직이므로 강을 건너는 시간에 영향을 주지 않는다. $t = d/v = 60/4 = 15\,\mathrm{s}$. 같은 시간 동안 동쪽으로 흐르는 강물에 의해 떠밀리는 거리는 $\Delta x = ut = 3 \times 15 = 45\,\mathrm{m}$.

💡 강을 똑바로 건너려면 뱃머리를 상류 쪽으로 $\sin\theta = u/v = 3/4$만큼 기울여야 한다.

Q63 양자·원자 물리 입문

수소 원자에서 전자가 $n=3$ 준위에서 $n=2$ 준위로 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는? ($E_n = -\dfrac{13.6}{n^2}\,\mathrm{eV}$)



①) ① 0.66 eV

②) ② 1.89 eV

③) ③ 3.40 eV

④) ④ 10.2 eV

⑤) ⑤ 13.6 eV

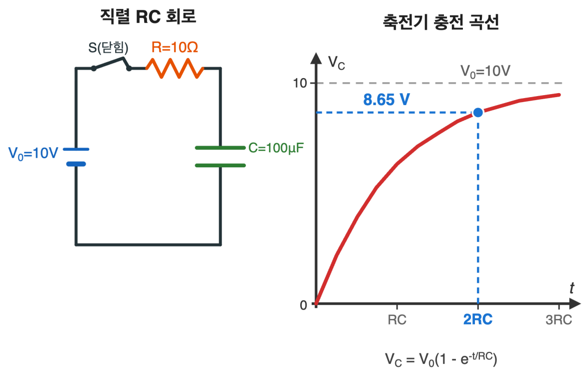
🎯 **정답: ② 1.89 eV**

📖 $E_3 = -\dfrac{13.6}{9} \approx -1.511\,\mathrm{eV}$, $E_2 = -\dfrac{13.6}{4} = -3.40\,\mathrm{eV}$. 방출 광자 에너지는 두 준위의 차이로, $h\nu = E_3 - E_2 = -1.511 - (-3.40) = 1.89\,\mathrm{eV}$. 이 광자는 발머 계열의 H-알파선(파장 약 656 nm, 빨강)에 해당한다.

💡 H-알파선은 망원경으로 태양 채층을 관측할 때 가장 많이 쓰이는 빛으로, 홍염과 플레어 관측의 표준이다.

Q64 전자기학 심화

기전력 $V_0 = 10\,\mathrm{V}$인 전원, 저항 $R = 10\,\Omega$, 처음 충전되지 않은 축전기 $C = 100\,\mu\mathrm{F}$가 직렬로 연결되어 있다. 스위치를 닫은 뒤 시간 $t = 2RC$가 지났을 때 축전기 양단의 전압은? ($e^{-2} \approx 0.135$)



①) ① 1.35 V

②) ② 3.68 V

③) ③ 6.32 V

④) ④ 8.65 V

⑤) ⑤ 9.95 V

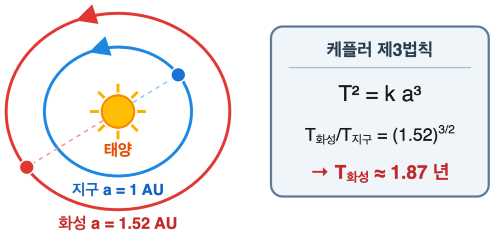
🎯 **정답: ④ 8.65 V**

📖 RC 충전 회로에서 축전기 전압은 $V(t) = V_0\left(1 - e^{-t/RC}\right)$. 시정수 $\tau = RC = 10 \times 100 \times 10^{-6} = 10^{-3}\,\mathrm{s}$. $t = 2\tau$이므로 $V = 10\left(1 - e^{-2}\right) = 10(1 - 0.135) = 8.65\,\mathrm{V}$. 시정수의 약 2배가 지나면 거의 87%까지 충전된다.

💡 시정수 5배가 지나면 충전율은 99.3%를 넘어 실용상 완전히 충전된 것으로 본다.

Q65 원운동과 만유인력

태양 주위를 도는 행성에 대해 케플러 제3법칙 $T^2 \propto a^3$가 성립한다. 지구의 공전 주기를 1년, 평균 공전 반지름을 1 AU로 잡을 때, 평균 공전 반지름이 $a = 1.52\,\mathrm{AU}$인 화성의 공전 주기에 가장 가까운 값은? ($1.52^{3/2} \approx 1.87$)



①) ① 약 0.62년

②) ② 약 1.32년

③) ③ 약 1.87년

④) ④ 약 2.31년

⑤) ⑤ 약 3.50년

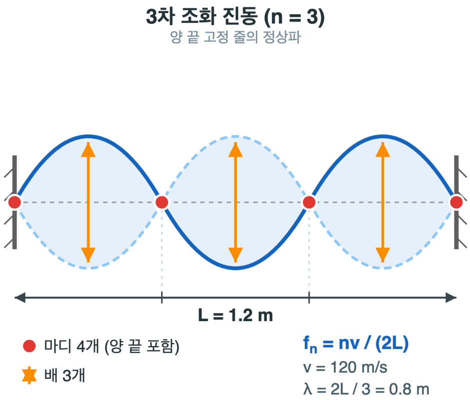
🎯 **정답: ③ 약 1.87년**

📖 케플러 제3법칙에서 T^2/a^3가 같은 항성을 도는 행성 사이에 일정. 따라서 $T_{화성} = T_{지구}\left(a_{화성}/a_{지구}\right)^{3/2} = 1 \times (1.52)^{1.5} \approx 1.87$년. 실제 화성의 공전 주기는 약 1.881년으로 잘 들어맞는다.

💡 케플러는 티코 브라헤의 화성 관측 자료를 8년간 분석한 끝에 이 법칙을 발견했다.

Q66 단순조화운동과 파동방정식

양 끝이 고정된 길이 $L = 1.2\,\mathrm{m}$의 줄에서 횡파의 속력이 $v = 120\,\mathrm{m/s}$이다. 이 줄의 3차 조화 진동(기본진동수의 3배)의 진동수와 마디의 개수(양 끝 포함)는?



①) ① 50 Hz, 마디 2개

②) ② 100 Hz, 마디 3개

③) ③ 150 Hz, 마디 4개

④) ④ 200 Hz, 마디 5개

⑤) ⑤ 300 Hz, 마디 6개

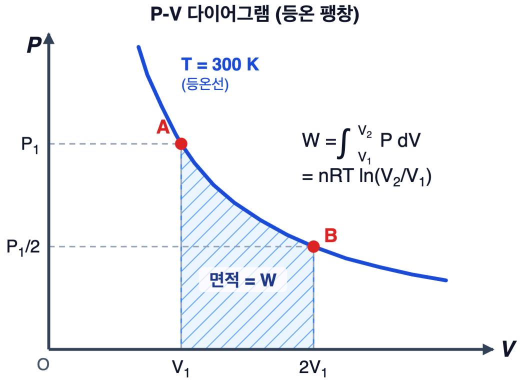
🎯 **정답: ③ 150 Hz, 마디 4개**

📖 양 끝 고정 줄의 n차 모드 진동수는 $f_n = \frac{nv}{2L}$. 기본진동수 $f_1 = \frac{120}{2 \times 1.2} = 50\,\mathrm{Hz}$이고 3차 조화는 $f_3 = 3f_1 = 150\,\mathrm{Hz}$. 3차 모드는 파장 $\lambda_3 = 2L/3 = 0.8\,\mathrm{m}$, 배 3개, 마디는 양 끝 포함 4개이다.

💡 기타와 바이올린의 하모닉스(배음)는 이 정상파의 고차 모드를 손가락으로 지점을 짚어 선택적으로 살린 것이다.

Q67 유체와 열물리

1몰의 이상기체가 일정한 온도 $T = 300\,\mathrm{K}$에서 부피가 V_1에서 $V_2 = 2V_1$로 천천히(가역) 팽창했다. 이 동안 기체가 외부에 한 일은? ($R = 8.31\,\mathrm{J/(mol\backslash cdot K)}$, $\ln 2 \approx 0.693$)



①) ① 약 865 J

②) ② 약 1250 J

③) ③ 약 1730 J

④) ④ 약 2493 J

⑤) ⑤ 약 3460 J

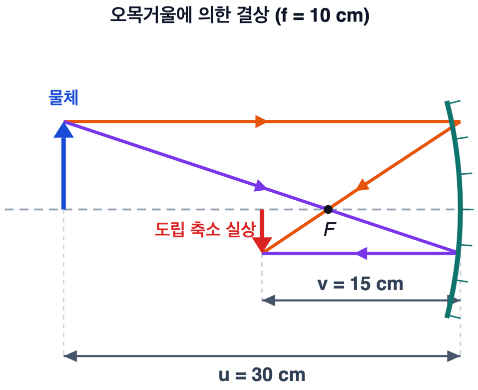
🎯 **정답: ③ 약 1730 J**

📖 이상기체의 가역 등온 팽창에서 일은 $W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$. 값을 대입하면 $W = 1 \cdot 8.31 \cdot 300 \cdot \ln 2 = 2493 \times 0.693 \approx 1728\,\mathrm{J}$. 등온 과정에서 내부에너지 변화 $\Delta U = 0$이므로 흡수 열량도 같은 1728 J이다.

💡 열기관의 카르노 사이클에서 두 등온 과정의 일과 열은 이 식으로 정확히 계산된다.

Q68 파동광학과 기하광학

초점거리 $f = 10\,\text{cm}$인 오목거울 앞 $u = 30\,\text{cm}$ 위치에 물체를 놓았다. 거울 공식 $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$와 배율 $m = -v/u$를 사용할 때, 상의 위치 v와 배율 m은? (도립실상은 $m < 0$)



①) ① $v = 7.5\,\text{cm},\ m = -0.25$

②) ② $v = 15\,\text{cm},\ m = -0.5$

③) ③ $v = 20\,\text{cm},\ m = -2/3$

④) ④ $v = -15\,\text{cm},\ m = +0.5$

⑤) ⑤ $v = 30\,\text{cm},\ m = -1$

🎯 **정답:** ② $v = 15\,\text{cm},\ m = -0.5$

📖 $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{3-1}{30} = \frac{2}{30}$이므로 $v = 15\,\text{cm}$. 배율 $m = -v/u = -15/30 = -0.5$. 음의 부호는 도립을, 절댓값 1보다 작은 것은 축소된 실상임을 뜻한다. 물체가 초점거리 2배($2f = 20\,\text{cm}$) 밖에 있을 때 나타나는 전형적 결상이다.

💡 천체 망원경의 주경(primary mirror)은 매우 큰 곡률반경의 오목거울이며, 동일한 결상 원리로 별빛을 초점에 모은다.

Q69 특수상대성이론 입문

길이 L인 우주선의 정중앙에 광원이 있고, 양 끝(뒤쪽 A, 앞쪽 B)에 각각 검출기가 있다. 우주선이 정지 좌표계 S에 대해 $+x$방향으로 일정한 속력 v로 움직인다. 광원을 한 순간 켰을 때, 좌표계 S에서 두 검출기에 빛이 도달하는 순서는? (광속 불변과 동시성의 상대성을 사용)

①) ① 뒤쪽 A에 먼저, 앞쪽 B에 나중

②) ② 앞쪽 B에 먼저, 뒤쪽 A에 나중

③) ③ 두 검출기에 동시 도달

④) ④ 우주선 정지 좌표계와 동일하게 동시 도달

⑤) ⑤ 속력 v의 방향에 따라 임의로 달라짐

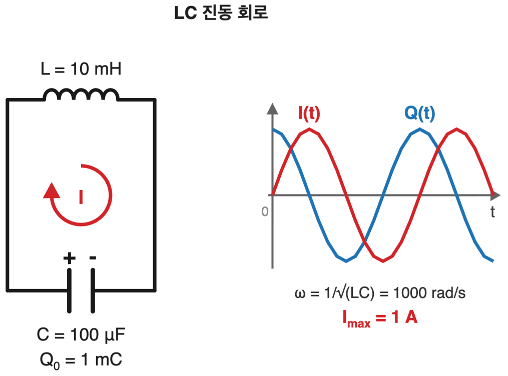
🎯 **정답: ① 뒤쪽 A에 먼저, 앞쪽 B에 나중**

📖 S 좌표계에서 빛은 양쪽으로 같은 속력 c로 퍼진다. 광원이 빛을 방출한 순간 우주선은 $+x$로 움직이므로 뒤쪽 검출기 A는 빛을 향해 마중 나가고, 앞쪽 검출기 B는 빛으로부터 달아난다. 따라서 A까지의 빛 이동 거리가 더 짧아 빛이 먼저 도달한다. 한편 우주선과 함께 움직이는 좌표계에서는 두 검출기에 동시 도달한다. 이렇게 한 좌표에서 동시인 사건이 다른 좌표에서는 동시가 아닌 것이 동시성의 상대성이다.

💡 아인슈타인은 동시성의 상대성을 출발점으로 삼아 1905년 특수상대성이론을 전개했다.

Q70 회로 해석 (AC/RLC)

인덕턴스 $L = 10\,\mathrm{mH}$, 전기용량 $C = 100\,\mu\mathrm{F}$인 LC 회로에서 처음 축전기에 $Q_0 = 1\,\mathrm{mC}$의 전하가 충전되어 있고 전류는 0이다. 저항이 없다고 가정할 때 회로에 흐르는 최대 전류 $I_{\max}$는? (에너지 보존 활용)



①) ① 0.1 A

②) ② 0.32 A

③) ③ 0.5 A

④) ④ 1 A

⑤) ⑤ 10 A

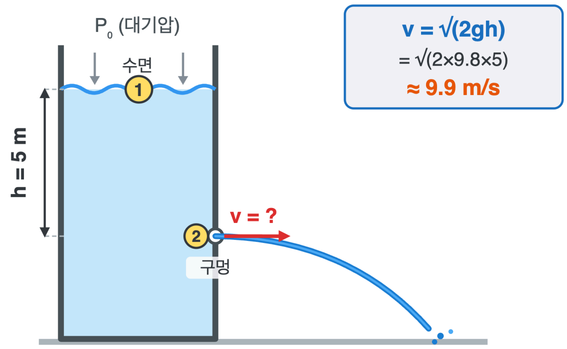
🎯 **정답: ④ 1 A**

📖 저항이 없으므로 축전기 에너지와 인덕터 에너지가 진동하며 보존된다. $\frac{Q_0^2}{2C} = \frac{1}{2}LI_{\max}2$에서 $I_{\max} = Q_0/\sqrt{LC}$. 수치 대입: $LC = 10 \cdot 10^{-3} \times 100 \cdot 10^{-6} = 10^{-6}\,\mathrm{s}^2$, $\sqrt{LC} = 10^{-3}\,\mathrm{s}$. 따라서 $I_{\max} = \frac{10^{-3}\,\mathrm{C}}{10^{-3}\,\mathrm{s}} = 1\,\mathrm{A}$. 각진동수는 $\omega = 10^3\,\mathrm{rad/s}$, 즉 약 159 Hz로 진동한다.

💡 이 LC 진동은 라디오 수신기의 동조회로에 쓰여 원하는 방송 주파수만 골라낸다.

Q71 유체와 열물리

넓은 물탱크의 수면 아래 $h = 5\,\mathrm{m}$ 깊이의 옆면에 작은 구멍이 뚫려 있다. 수면 위는 대기에 노출되어 있고, 수면 강하 속력은 무시한다. 구멍으로 분출되는 물의 초기 속력은? ($g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$, 점성 무시)



①) ① 약 5.0 m/s

②) ② 약 7.0 m/s

③) ③ 약 9.9 m/s

④) ④ 약 14.0 m/s

⑤) ⑤ 약 19.6 m/s

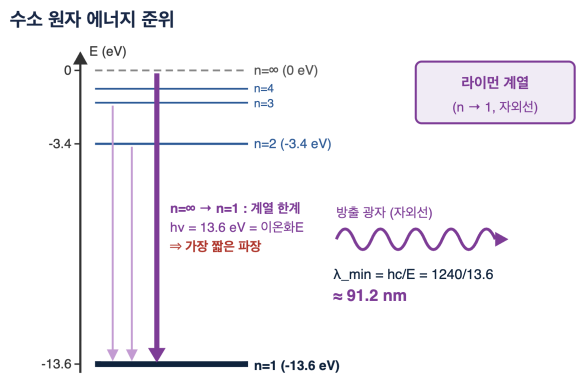
🎯 **정답: ③ 약 9.9 m/s**

📖 수면(지점 1)과 구멍(지점 2)에 베르누이 방정식 적용. 두 지점 모두 대기압이므로 압력항 소거, 수면 속력 무시($v_1 \approx 0$), 높이차 h. 그러면 $\rho g h = \frac{1}{2}\rho v_2^2$, 즉 $v_2 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 5} = \sqrt{98} \approx 9.9\,\mathrm{m/s}$. 이것이 토리첼리 정리이며, 마치 자유낙하한 물체가 갖는 속력과 같다.

💡 토리첼리는 갈릴레이의 제자로, 자유낙하 운동과 유체의 분출을 같은 원리로 본 통찰이 진공과 기압계 발견으로 이어졌다.

Q72 양자·원자 물리 입문

수소 원자의 라이먼 계열($n \to 1$)의 가장 짧은 파장(계열 한계)에 해당하는 광자의 파장은? 수소의 이온화 에너지는 $13.6\,\mathrm{eV}$, $hc \approx 1240\,\mathrm{eV \cdot nm}$.



①) ① 약 656 nm
②) ② 약 365 nm
③) ③ 약 121 nm
④) ④ 약 91.2 nm
⑤) ⑤ 약 45.6 nm

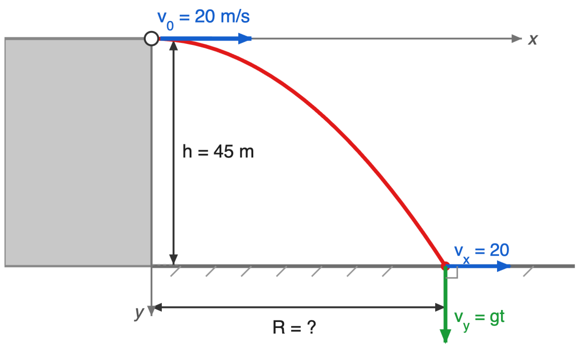
🎯 **정답: ④ 약 91.2 nm**

📖 가장 짧은 파장은 가장 큰 에너지 차에서 나오며, 그 극한은 $n = \infty \to n = 1$. 광자 에너지 $E = E_\infty - E_1 = 0 - (-13.6) = 13.6\,\mathrm{eV}$로 이온화 에너지와 같다. 파장은 $\lambda = hc/E = 1240/13.6 \approx 91.2\,\mathrm{nm}$. 자외선 영역에 속하며 '라이먼 한계'라 부른다.

💡 라이먼 한계 파장보다 짧은 자외선은 수소 원자를 곧장 이온화시키므로, 성간 매질의 중성 수소가 이 파장 영역의 별빛을 거의 모두 흡수한다.

Q73 평면 운동과 벡터

절벽 위에서 야구공을 수평으로 던졌다. 절벽 높이는 $h = 45\ \mathrm{m}$이고 초기 수평 속력은 $v_0 = 20\ \mathrm{m/s}$이다. 공기 저항을 무시할 때, 공이 지면에 도달하는 데 걸리는 시간 t와 절벽 아래에서 떨어진 수평 도달거리 R를 구하시오. ($g = 10\ \mathrm{m/s^2}$)



①) ① $t = 2\ \mathrm{s},\ R = 40\ \mathrm{m}$

②) ② $t = 3\ \mathrm{s},\ R = 60\ \mathrm{m}$

③) ③ $t = 3\ \mathrm{s},\ R = 90\ \mathrm{m}$

④) ④ $t = 4\ \mathrm{s},\ R = 80\ \mathrm{m}$

⑤) ⑤ $t = 4.5\ \mathrm{s},\ R = 90\ \mathrm{m}$

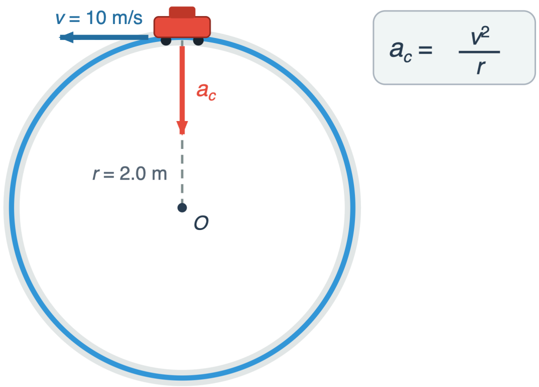
🎯 **정답:** ② $t = 3\ \mathrm{s},\ R = 60\ \mathrm{m}$

📖 수평 운동과 수직 운동은 서로 독립이다.\n(1) 수직 자유낙하: $h = \frac{1}{2}gt^2 \rightarrow t = \sqrt{2h/g} = \sqrt{2 \cdot 45/10} = \sqrt{9} = 3\ \mathrm{s}$.\n(2) 수평 등속: $R = v_0 t = 20 \times 3 = 60\ \mathrm{m}$.\n초기 수직 속력이 0이므로 수평 도달거리는 수평 속력과 비행시간의 곱이 된다.

💡 같은 높이에서 가만히 떨어뜨린 공과 수평으로 던진 공은 동시에 지면에 닿는다. 수직 운동은 수평 속도와 완전히 독립이기 때문이다.

Q74 원운동과 만유인력

반지름 $r = 2.0\ \mathrm{m}$인 원형 트랙을 자동차가 일정한 속력 $v = 10\ \mathrm{m/s}$로 돌고 있다. 자동차에 작용하는 구심가속도의 크기는?



①) ① $5\ \mathrm{m/s^2}$

②) ② $20\ \mathrm{m/s^2}$

③) ③ $25\ \mathrm{m/s^2}$

④) ④ $50\ \mathrm{m/s^2}$

⑤) ⑤ $100\ \mathrm{m/s^2}$

🎯 **정답:** ④ $50\ \mathrm{m/s^2}$

📖 등속 원운동에서 구심가속도는 항상 원의 중심을 향하며 크기는\n

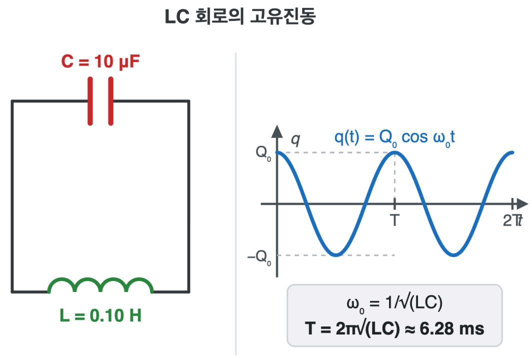
$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(10)^2}{2.0} = \frac{100}{2.0} = 50\ \mathrm{m/s^2}$$

\n자동차의 속력은 일정하지만 속도 방향이 끊임없이 바뀌므로 가속도는 0이 아니다.

💡 속력은 일정한데 가속도는 0이 아니다. 가속도는 '속도 벡터'의 변화율이지 '속력'의 변화율이 아니다.

Q75 회로 해석 (AC/RLC)

이상적인 LC 회로의 인덕턴스가 $L = 0.10\ \mathrm{H}$, 축전기 용량이 $C = 10\ \mu\mathrm{F}$이다. 회로의 고유 진동주기 T는 약 얼마인가?



①) ① 0.63 ms

②) ② 3.14 ms

③) ③ 6.28 ms

④) ④ 31.4 ms

⑤) ⑤ 62.8 ms

🎯 **정답: ③ 6.28 ms**

📖 LC 회로의 고유 각진동수는 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ 이고 주기는\n

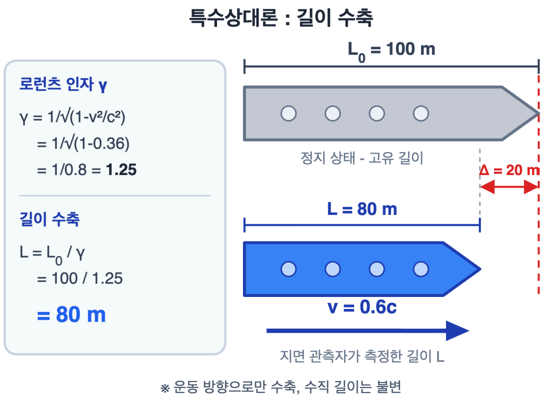
$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{0.10 \times 10 \times 10^{-6}} = 2\pi\sqrt{10^{-6}} = 2\pi \times 10^{-3}\ \mathrm{s} \approx 6.28\ \mathrm{ms}$$

\n축전기에 저장된 전기에너지와 인덕터에 저장된 자기에너지가 주기적으로 교환되며 단순조화진동을 한다.

💡 LC 회로의 에너지 진동은 용수철-질량 진동과 수학적으로 똑같은 형태이다. L이 질량(관성)에, $1/C$가 용수철 상수에 대응된다.

Q76 특수상대성이론 입문

정지길이가 $L_0 = 100\ \mathrm{m}$인 우주선이 지면 관측자에 대해 속력 $v = 0.6c$로 운동한다. 지면 관측자가 측정한 우주선의 길이 L은?



①) ① 60 m

②) ② 64 m

③) ③ 75 m

④) ④ 80 m

⑤) ⑤ 100 m

🎯 **정답: ④ 80 m**

📖 로런츠 인자는\n

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0.36}} = \frac{1}{0.8} = 1.25$$

\n운동 방향의 길이는 정지길이보다 짧아지므로(길이 수축)\n

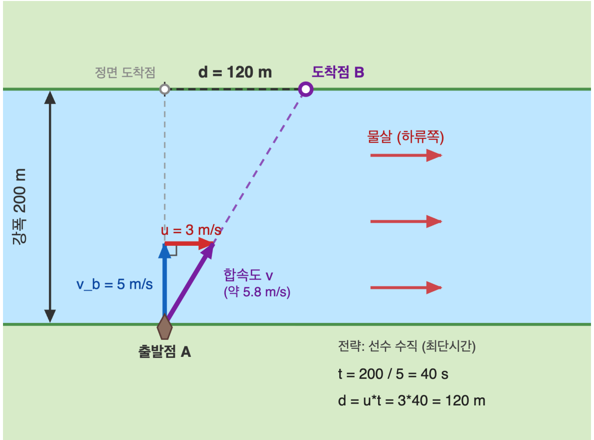
$$L = \frac{L_0}{\gamma} = \frac{100}{1.25} = 80\ \mathrm{m}$$

\n수축은 운동 방향으로만 일어나며, 수직 방향 길이는 변하지 않는다.

💡 우주선 안의 승무원에게는 자신의 우주선이 여전히 100 m로 보인다. 길이 수축은 '서로 운동하는 관측자가 측정한 결과'의 차이일 뿐, 실제로 우주선이 찌그러지는 것이 아니다.

Q77 평면 운동과 벡터

폭이 200 m인 강이 강기슭에 평행하게 $u = 3\ \mathrm{m/s}$로 흐른다. 정지 수면에서 속력 $v_b = 5\ \mathrm{m/s}$로 운행하는 배가 강을 가장 빠르게 건너고자 한다. 이때 (가) 강을 건너는 데 걸리는 시간과 (나) 출발점에서 하류로 표류한 거리를 구하시오.



①) ① 25 s, 75 m

②) ② 40 s, 80 m

③) ③ 40 s, 120 m

④) ④ 50 s, 100 m

⑤) ⑤ 50 s, 150 m

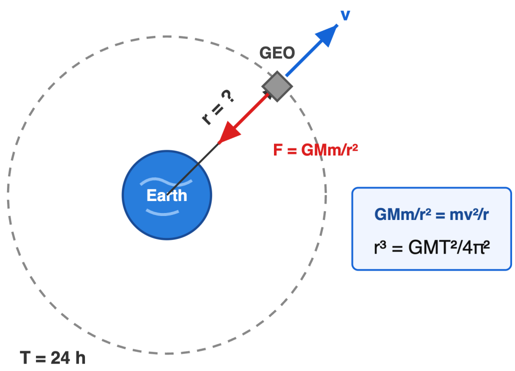
🎯 **정답: ③ 40 s, 120 m**

📖 강을 가장 빠르게 건너려면 배의 속도 벡터 중 강기슭에 수직인 성분이 최대가 되어야 하므로, 선수를 강기슭에 수직 방향으로 향해야 한다(강물의 흐름과 무관).\n(가) 횡단 시간: $t = \frac{200}{v_b} = \frac{200}{5} = 40\ \mathrm{s}$.\n(나) 그 동안 강물에 실려 하류로 표류: $d = u \cdot t = 3 \times 40 = 120\ \mathrm{m}$.\n도착점은 정면이 아닌 하류 120 m 지점이지만, 횡단 시간 자체는 최소가 된다.

💡 정면에 도착하려면 선수를 상류 쪽으로 약 36.87도 기울여야 하지만, 그 경우 횡단 시간은 50 s로 더 길어진다. '최단 시간'과 '최단 경로'는 다른 문제이다.

Q78 원운동과 만유인력

지구를 중심으로 원궤도를 도는 정지위성의 주기는 $T = 24$시간 $(8.64 \times 10^4\ \mathrm{s})$이다. 정지위성의 궤도 반지름은 약 얼마인가? 단, $GM_{지구} = 4.0 \times 10^{14}\ \mathrm{m^3/s^2}$.



①) ① 6.4×10^3 km

②) ② 1.6×10^4 km

③) ③ 2.6×10^4 km

④) ④ 4.2×10^4 km

⑤) ⑤ 1.0×10^5 km

🎯 **정답: ④ 4.2×10^4 km**

📖 원궤도에서 만유인력이 구심력을 제공: $\dfrac{GMm}{r^2} = \dfrac{4\pi^2 mr}{T^2}$. 정리하면\n

$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2} = \frac{4.0 \times 10^{14} \times (8.64 \times 10^4)^2}{4\pi^2} \approx \frac{4.0 \times 10^{14} \times 7.46 \times 10^9}{39.5} \approx 7.56 \times 10^{22}\ \mathrm{m^3}$$

\n

$$r \approx (7.56 \times 10^{22})^{1/3} \approx 4.23 \times 10^7\ \mathrm{m} \approx 4.2 \times 10^4\ \mathrm{km}$$

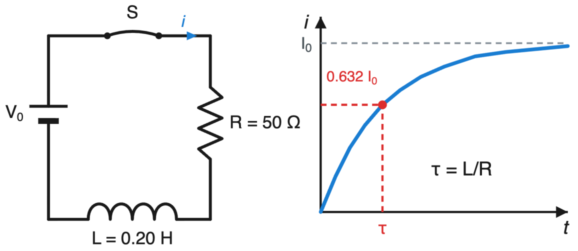
\n궤도 반지름은 지구 반지름($\approx$ 6400 km)의 약 6.6배이며, 지표 기준 고도는 $r - R \approx 3.6 \times 10^4\ \mathrm{km}$(약 5.6배)이다.

💡 정지위성은 적도 상공 약 36000 km(지표 기준)에 위치한다. 지구 자전과 같은 각속도로 돌기 때문에 지상에서 보면 하늘의 한 점에 고정되어 보이며, 위성방송과 일기위성에 활용된다.

Q79 회로 해석 (AC/RLC)

인덕턴스 $L = 0.20\ \mathrm{H}$, 저항 $R = 50\ \Omega$인 RL 직렬회로에 일정 전압 V_0를 갑자기 인가했다. 이 회로의 시정수 τ와, 전류가 최종 정상값의 약 63%에 도달하는 데 걸리는 시간은?

RL 직렬회로와 전류 i(t)



①) ① $\tau = 0.40$ ms, $t = 0.40$ ms

②) ② $\tau = 2.0$ ms, $t = 2.0$ ms

③) ③ $\tau = 4.0$ ms, $t = 4.0$ ms

④) ④ $\tau = 4.0$ ms, $t = 8.0$ ms

⑤) ⑤ $\tau = 10$ ms, $t = 10$ ms

🎯 **정답: ③ $\tau = 4.0$ ms, $t = 4.0$ ms**

📖 RL 회로의 키르히호프 전압 법칙: $V_0 = iR + L\frac{di}{dt}$. 해는\n

$$i(t) = \frac{V_0}{R}\left(1 - e^{-t/\tau}\right), \quad \tau = \frac{L}{R}$$

\n주어진 값으로 $\tau = 0.20/50 = 4.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{s} = 4.0\ \mathrm{ms}$.\n$t = \tau$일 때 $i = I_0(1 - e^{-1}) \approx 0.632 I_0$이므로 약 63% 도달 시간도 $\tau = 4.0$ ms.\n인덕터의 역기전력 때문에 전류는 점진적으로(지수적으로) 증가한다.

💡 RL 회로의 시정수 L/R과 RC 회로의 시정수 RC는 단위가 모두 초(s)가 된다. SI 단위 분석만으로 식의 형태를 짐작할 수 있다.

Q80 특수상대성이론 입문

어떤 핵반응에서 생성물의 총질량이 반응물의 총질량보다 $\Delta m = 2.0 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg}$ 만큼 작다(질량 결손). 이 반응으로 방출되는 에너지는 약 얼마인가? ($c = 3.0 \times 10^8\ \mathrm{m/s}$)

①) ① 6.0×10^5 J

②) ② 6.0×10^{11} J

③) ③ 1.8×10^{11} J

④) ④ 1.8×10^{14} J

⑤) ⑤ 1.8×10^{17} J

🎯 **정답: ④ 1.8×10^{14} J**

📖 아인슈타인의 질량-에너지 등가 관계 $E = mc^2$에 따라\n

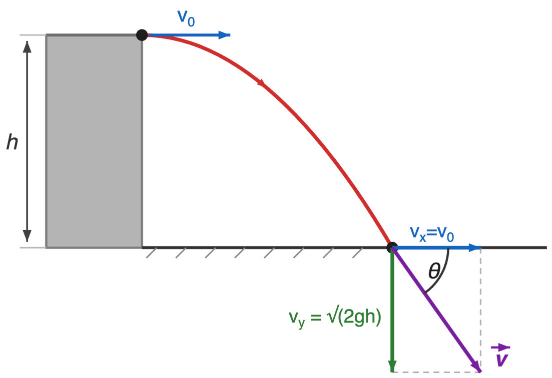
$$E = \Delta m \cdot c^2 = (2.0 \times 10^{-3}) \times (3.0 \times 10^8)^2 = 2.0 \times 10^{-3} \times 9.0 \times 10^{16} = 1.8 \times 10^{14}\ \mathrm{J}$$

\n매우 작은 질량 결손도 c^2의 거대한 계수 때문에 막대한 에너지로 변환된다. 이는 핵분열 / 핵융합 / 입자-반입자 소멸 반응의 원리이다.

💡 단 1 g의 질량을 모두 에너지로 변환하면 약 9×10^{13} J, 곧 TNT 약 21 kt(히로시마 원폭급)에 해당한다. 핵반응이 화학반응보다 백만 배쯤 강력한 이유이다.

Q81 평면 운동과 벡터

높이 h인 절벽 끝에서 수평 방향으로 초속력 v_0로 던진 물체가 지면에 도달하는 순간, 속도 벡터가 수평과 이루는 각을 θ라 하자. $\tan\theta$의 값은? (공기저항 무시, 중력가속도 g)



①) ① $\dfrac{v_0}{\sqrt{2gh}}$
②) ② $\dfrac{\sqrt{2gh}}{v_0}$
③) ③ $\dfrac{2gh}{v_0^2}$
④) ④ $\dfrac{v_0^2}{gh}$
⑤) ⑤ $\dfrac{gh}{v_0}$

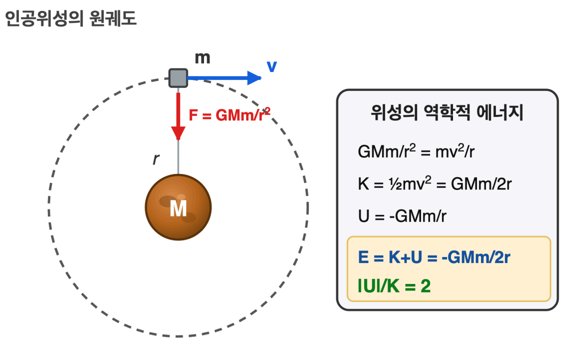
🎯 **정답: ② $\dfrac{\sqrt{2gh}}{v_0}$**

📖 수평운동과 수직운동을 독립적으로 분석한다.\n(1) 지면 도달 시간: $h = \frac{1}{2}gt^2$에서 $t = \sqrt{2h/g}$.\n(2) 충돌 직전 속도 성분: $v_x = v_0$ (등속), $v_y = gt = g\sqrt{2h/g} = \sqrt{2gh}$.\n(3) 속도 벡터의 각도: $\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$.\n절벽이 높을수록(h 증가) 또는 초속력이 작을수록 더 가파른 각으로 떨어진다.

💡 이 결과는 에너지 보존으로도 확인된다. $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh$이므로 $v_y^2 = 2gh$가 자연스럽게 나온다.

Q82 원운동과 만유인력

질량 m인 인공위성이 질량 M인 행성 중심에서 거리 r인 원궤도를 돈다. 위성의 운동에너지 K, 중력 위치에너지 U, 총역학적 에너지 E에 대하여 옳은 것은? (만유인력 상수 G, 위치에너지 기준은 무한원에서 0)



①) ① $|U|/K = 1,\ E = -\dfrac{GMm}{r}$
②) ② $|U|/K = 2,\ E = -\dfrac{GMm}{2r}$
③) ③ $|U|/K = 2,\ E = +\dfrac{GMm}{2r}$
④) ④ $|U|/K = \dfrac{1}{2},\ E = -\dfrac{GMm}{2r}$
⑤) ⑤ $|U|/K = 2,\ E = 0$

🎯 **정답:** ② $|U|/K = 2,\ E = -\dfrac{GMm}{2r}$

📖 원궤도 조건에서 만유인력이 구심력 역할:\n

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{r}$$

\n따라서\n

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}, \quad U = -\frac{GMm}{r}$$

\n비교하면 $|U| = 2K$, 즉 $|U|/K = 2$.\n총역학적 에너지:\n

$$E = K + U = \frac{GMm}{2r} - \frac{GMm}{r} = -\frac{GMm}{2r} = -K$$

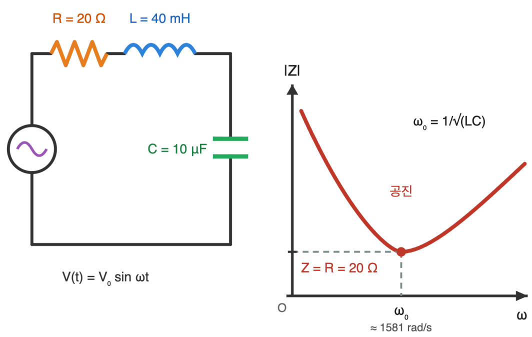
\n속박된 궤도의 총에너지는 항상 음수이다 ($E < 0$).

💡 위성에 약간 에너지를 더해주면(연료를 태우면) 총에너지 $E = -GMm/(2r)$이 덜 음수가 되어 r이 커진다. 그런데 동시에 $K = GMm/(2r)$이 작아져 위성은 오히려 '느려진다'. 이 직관에 반하는 현상을 궤도역학에서 '역설'이라 부른다.

Q83 회로 해석 (AC/RLC)

저항 $R = 20\ \Omega$, 인덕턴스 $L = 40\ \mathrm{mH}$, 축전기 용량 $C = 10\ \mu\mathrm{F}$가 직렬로 연결된 RLC 회로에 교류 전원이 연결되어 있다. (가) 공진 각진동수 ω_0와 (나) 공진 상태에서의 회로의 총 임피던스 Z를 구하시오.

직렬 RLC 공진 회로



①) ① $\omega_0 = 500$ rad/s, $Z = 20\ \Omega$

②) ② $\omega_0 = 1000$ rad/s, $Z = 0$

③) ③ $\omega_0 \approx 1581$ rad/s, $Z = 20\ \Omega$

④) ④ $\omega_0 \approx 1581$ rad/s, $Z = 0$

⑤) ⑤ $\omega_0 = 5000$ rad/s, $Z = 60\ \Omega$

🎯 **정답: ③ $\omega_0 \approx 1581$ rad/s, $Z = 20\ \Omega$**

📖 직렬 RLC의 임피던스는 $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$, 여기서 $X_L = \omega L$, $X_C = 1/(\omega C)$.\n공진은 $X_L = X_C$일 때, 즉 유도성 리액턴스와 용량성 리액턴스가 상쇄될 때 일어난다.\n

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

\n주어진 값:\n

$$LC = (40 \times 10^{-3})(10 \times 10^{-6}) = 4 \times 10^{-7}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{4 \times 10^{-7}}} = \frac{1}{2 \times 3.162 \times 10^{-4}} \approx 1581 \text{ rad/s}$$

\n공진 시 임피던스는 최소가 되며 $Z = R = 20\ \Omega$. 회로는 순수 저항처럼 동작하고 전류가 최대가 된다.

💡 라디오 / TV 튜너는 가변 축전기로 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ 를 원하는 방송국의 반송파 주파수에 맞춰 공진시켜 그 신호만 선택적으로 증폭한다. 이를 '선택성(selectivity)'이라 한다.

Q84 단순조화운동과 파동방정식

질량 m인 물체가 용수철 상수 k인 용수철에 매달려 진폭 A로 단순조화운동(SHM)을 하고 있다. 진폭을 $2A$로 증가시키면 총 역학적 에너지는 처음의 몇 배가 되는가? (마찰은 무시한다.)

①) ① 1배

②) ② 2배

③) ③ $\sqrt{2}$ 배

④) ④ 4배

⑤) ⑤ 8배

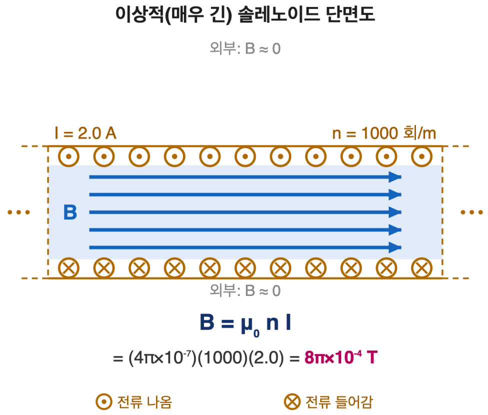
🎯 **정답: ④ 4배**

📖 단순조화운동의 총 역학적 에너지는 운동에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 합으로, 진폭에서 모두 퍼텐셜로 보존된다. 따라서 $E = \frac{1}{2}kA^2$. 진폭이 $A \to 2A$가 되면 $E' = \frac{1}{2}k(2A)^2 = 4 \cdot \frac{1}{2}kA^2 = 4E$. 에너지는 진폭의 제곱에 비례하므로 4배가 된다.

💡 같은 이유로 진자의 진폭이 두 배가 되면 최대속력도 두 배가 되고, 최대속력에서의 운동에너지는 4배가 되어 총 에너지 4배와 일치한다.

Q85 전자기학 심화

단위 길이당 감은수 $n = 1000$ 회/m이고 전류 $I = 2.0$ A가 흐르는 매우 긴 이상적인 솔레노이드 내부의 자기장 크기로 옳은 것은? ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A)



①) ① $\pi \times 10^{-4}$ T

②) ② $2\pi \times 10^{-4}$ T

③) ③ $4\pi \times 10^{-4}$ T

④) ④ $8\pi \times 10^{-4}$ T

⑤) ⑤ $16\pi \times 10^{-4}$ T

🎯 **정답: ④ $8\pi \times 10^{-4}$ T**

📖 이상적(무한히 긴) 솔레노이드 내부의 자기장은 균일하며 크기는 앙페르 법칙으로 유도되는 식 $B = \mu_0 nI$로 주어진다. 값을 대입하면 $B = (4\pi \times 10^{-7}) \times 1000 \times 2.0 = 8\pi \times 10^{-4}$ T $\approx 2.51 \times 10^{-3}$ T. 단위 길이당 감은수와 전류의 곱에만 의존하며, 솔레노이드 단면의 반지름에는 무관하다.

💡 MRI 장치 내부의 강력한 자기장(보통 1.5 T - 3 T)은 초전도 솔레노이드로 만들어지는데, 저항이 0이라 막대한 전류를 손실 없이 흘릴 수 있다.

Q86 양자·원자 물리 입문

어떤 금속의 광전효과 한계진동수(threshold frequency)가 $f_0 = 5.0 \times 10^{14}$ Hz로 측정되었다. 이 금속의 일함수 W의 크기로 가장 가까운 값은? ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s, 1 eV $= 1.6 \times 10^{-19}$ J)

①) ① 약 1.04 eV

②) ② 약 1.55 eV

③) ③ 약 2.07 eV

④) ④ 약 2.50 eV

⑤) ⑤ 약 3.10 eV

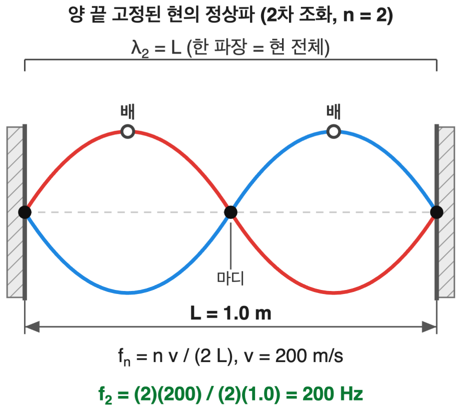
🎯 **정답: ③ 약 2.07 eV**

📖 광전효과 식 $hf = W + \frac{1}{2}mv_{max}^2$에서 한계진동수 f_0일 때 광전자의 운동에너지가 0이 되므로 $W = hf_0$. 대입하면 $W = (6.63 \times 10^{-34})(5.0 \times 10^{14}) = 3.315 \times 10^{-19}$ J. eV로 환산: $W = 3.315 \times 10^{-19} / 1.6 \times 10^{-19} \approx 2.07$ eV.

💡 세슘(Cs)의 일함수가 약 2.1 eV로 매우 낮아 가시광선으로도 광전자가 방출되며, 그래서 광전관·야간투시경의 광음극(photocathode) 재료로 쓰인다.

Q87 단순조화운동과 파동방정식

양쪽 끝이 고정된 길이 $L = 1.0$ m의 팽팽한 현 위에서 횡파의 속력이 $v = 200$ m/s이다. 이 현에 형성되는 정상파의 2차 조화(2nd harmonic, $n = 2$, 즉 두 배진동의 모드)의 진동수는?



①) ① 50 Hz

②) ② 100 Hz

③) ③ 150 Hz

④) ④ 200 Hz

⑤) ⑤ 400 Hz

🎯 **정답: ④ 200 Hz**

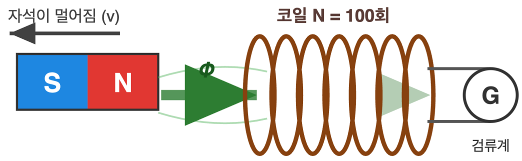
📖 양 끝이 고정된 현의 정상파에서는 양 끝이 마디가 되어야 하므로 $L = n\lambda_n/2$, 즉 파장 $\lambda_n = 2L/n$. 따라서 진동수 $f_n = v/\lambda_n = nv/(2L)$. $n = 2$를 대입하면 $f_2 = \frac{2 \times 200}{2 \times 1.0} = 200$ Hz. 1차 조화는 100 Hz이고 2차는 그 두 배.

💡 기타나 바이올린 현의 한 가운데를 살짝 짚으면 1차 조화는 억제되고 2차 조화(옥타브 위)가 강조되는데, 이를 '하모닉스(harmonics) 주법'이라 부른다.

Q88 전자기학 심화

$N = 100$회 감긴 코일을 지나는 자기선속이 $\Delta t = 0.10$ s 동안 $\Phi_1 = 2.0 \times 10^{-3}$ Wb에서 $\Phi_2 = 1.0 \times 10^{-3}$ Wb로 일정한 비율로 감소했다. 이때 코일에 유도되는 기전력의 크기는?

패러데이 전자기 유도



Φ_1 = 2.0×10^{-3} Wb → Φ_2 = 1.0×10^{-3} Wb
ΔΦ = 1.0×10^{-3} Wb, Δt = 0.10 s, N = 100
ε = -N·dΦ/dt → |ε| = 1.0 V

①) ① 0.10 V
②) ② 0.50 V
③) ③ 1.0 V
④) ④ 2.0 V
⑤) ⑤ 10 V

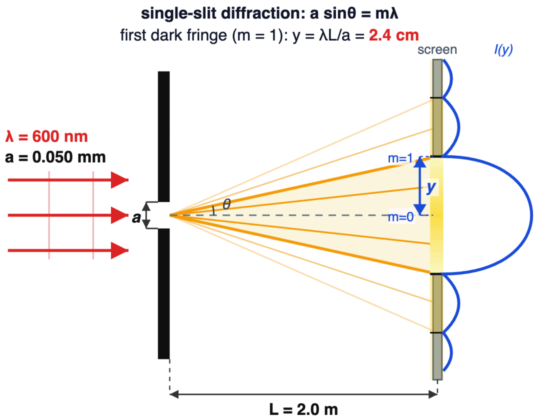
🎯 **정답: ③ 1.0 V**

📖 패러데이의 전자기 유도 법칙: $|\varepsilon| = N\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$. 자기선속 변화량 $|\Delta\Phi| = |1.0 \times 10^{-3} - 2.0 \times 10^{-3}| = 1.0 \times 10^{-3}$ Wb. 따라서 $|\varepsilon| = 100 \times \frac{1.0 \times 10^{-3}}{0.10} = 1.0$ V. 렌츠의 법칙에 따라 유도 전류는 자기선속의 감소를 방해하는 방향으로 흐른다.

💡 발전소의 거대한 발전기도 결국 코일을 자기장 속에서 회전시켜 $d\Phi/dt$를 만들어 전기를 생산하는 것 - 패러데이 한 사람의 발견이 현대 전력망 전체의 토대다.

Q89 파동광학과 기하광학

폭 $a = 0.050$ mm인 단일슬릿에 파장 $\lambda = 600$ nm의 단색광을 수직으로 입사시킨다. 슬릿에서 $L = 2.0$ m 떨어진 스크린에서, 회절 무늬의 중앙(주극대) 중심으로부터 첫 번째 어두운 무늬까지의 거리는? (작은각 근사 사용)



①) ① 0.6 cm

②) ② 1.2 cm

③) ③ 2.4 cm

④) ④ 4.8 cm

⑤) ⑤ 9.6 cm

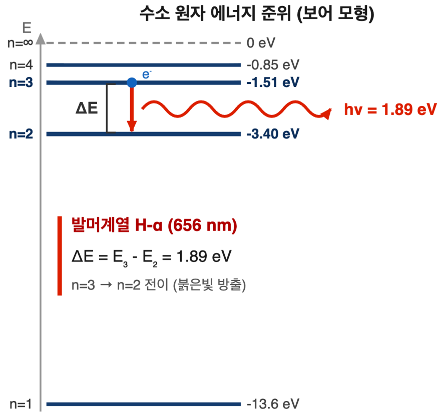
🎯 **정답: ③ 2.4 cm**

📖 단일슬릿 회절에서 어두운 무늬(극소) 조건은 $a\sin\theta = m\lambda$ $(m = \pm 1, \pm 2, ...)$. 첫 어두운 무늬는 $m = 1$. 작은각 근사에서 $\sin\theta \approx \tan\theta \approx y/L$이므로 $y = \lambda L/a$. 단위 환산 후 대입: $y = \frac{(600\times10^{-9})(2.0)}{5.0\times10^{-5}} = 2.4\times10^{-2}$ m = 2.4 cm. 슬릿이 좁을수록 회절이 커져 무늬가 넓게 퍼진다.

💡 단일슬릿의 회절 조건 $a\sin\theta = m\lambda$와 이중슬릿의 보강 조건 $d\sin\theta = m\lambda$는 식의 형태는 비슷하지만, 전자는 '어두운 무늬', 후자는 '밝은 무늬'를 준다 - 부호가 바뀐 셈이다.

Q90 양자·원자 물리 입문

수소 원자의 보어 모형에서 전자가 $n = 3$ 준위에서 $n = 2$ 준위로 전이(발머계열의 H-α선)할 때 방출되는 광자의 에너지는? (수소 원자의 에너지 준위 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV)



①) ① 0.66 eV

②) ② 1.51 eV

③) ③ 1.89 eV

④) ④ 3.40 eV

⑤) ⑤ 10.2 eV

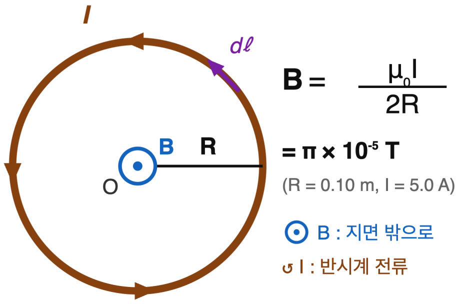
🎯 **정답: ③ 1.89 eV**

📖 방출 광자의 에너지는 두 준위의 에너지 차의 크기 $\Delta E = |E_3 - E_2|$. $E_2 = -13.6/2^2 = -3.40$ eV, $E_3 = -13.6/3^2 \approx -1.51$ eV. 따라서 $\Delta E = |-1.51 - (-3.40)| = 1.89$ eV. 이 광자는 파장으로 환산하면 약 656 nm로, 가시광선 영역의 붉은색이며 별 스펙트럼에서 가장 강한 수소 흡수선 중 하나다.

💡 태양 표면 광구 위 채층(chromosphere)이 일식 때 붉게 보이는 것은 바로 이 H-α선(656 nm) 때문이며, 천문학자들은 H-α 필터로 태양 표면의 폭발 활동을 관측한다.

Q91 전자기학 심화

반지름 $R = 0.10$ m인 한 번 감긴 원형 도선에 전류 $I = 5.0$ A가 흐르고 있다. 이 원의 중심점에서 자기장의 크기로 옳은 것은? ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A)



①) ① $\pi \times 10^{-6}$ T
②) ② $\pi \times 10^{-5}$ T
③) ③ $2\pi \times 10^{-5}$ T
④) ④ $5\pi \times 10^{-5}$ T
⑤) ⑤ $\pi \times 10^{-4}$ T

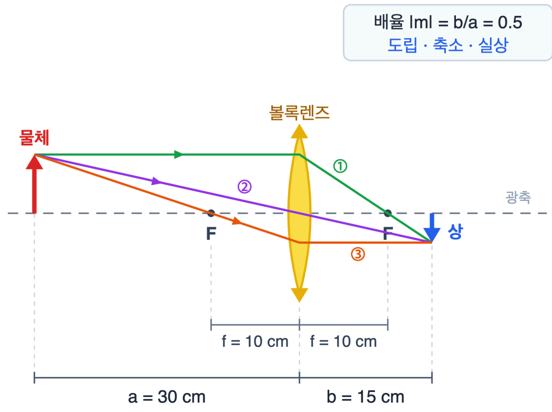
🎯 **정답: ② $\pi \times 10^{-5}$ T**

📖 비오-사바르 법칙을 원형 도선 전체에 대해 적분하면, 도선 중심에서의 자기장 크기는 $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$. 대입:
$B = \frac{(4\pi \times 10^{-7})(5.0)}{2 \times 0.10} = \frac{2\pi \times 10^{-6}}{0.20} = 10\pi \times 10^{-6} = \pi \times 10^{-5}$ T $\approx 3.14 \times 10^{-5}$ T. 방향은 오른손 법칙에 따라 도선이 만든 면에 수직이다.

💡 두 개의 동일 원형 코일을 반지름만큼 떨어뜨려 같은 방향 전류를 흘리는 '헬름홀츠 코일' 구조는 중심 부근에 매우 균일한 자기장을 만들어, 정밀 측정 실험과 지자기 보정에 자주 쓰인다.

Q92 파동광학과 기하광학

초점거리 $f = 10$ cm인 얇은 볼록렌즈 앞 $a = 30$ cm 지점에 작은 물체를 놓았다. 상의 위치 b와 배율의 크기 $|m|$의 조합으로 옳은 것은? (얇은 렌즈 공식 $\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$, $m = -b/a$)



①) ① $b = 15$ cm, $|m| = 0.5$

②) ② $b = 20$ cm, $|m| = 2/3$

③) ③ $b = 30$ cm, $|m| = 1.0$

④) ④ $b = 15$ cm, $|m| = 2.0$

⑤) ⑤ $b = 45$ cm, $|m| = 1.5$

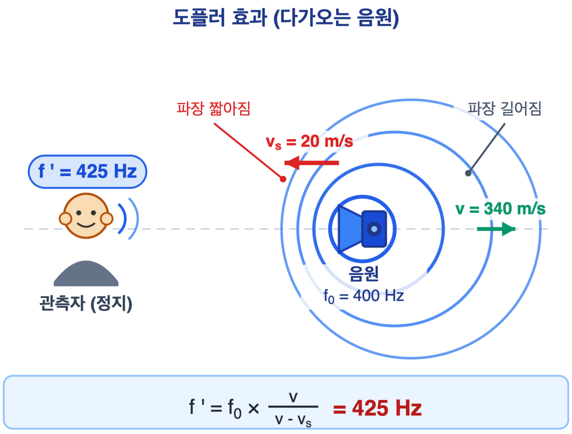
🎯 **정답: ① $b = 15$ cm, $|m| = 0.5$**

📖 렌즈 공식에 대입: $\frac{1}{10} = \frac{1}{30} + \frac{1}{b}$, 따라서 $\frac{1}{b} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{3-1}{30} = \frac{2}{30} = \frac{1}{15}$. 즉 $b = 15$ cm (렌즈 뒤쪽 실상). 배율 $m = -\frac{b}{a} = -\frac{15}{30} = -0.5$, $|m| = 0.5$. 음의 부호는 도립(거꾸로 된)상, 크기 < 1은 축소상을 의미한다.

💡 물체를 초점거리의 2배(2f) 지점에 놓으면 상도 2f 지점에 같은 크기로 거꾸로 맺힌다 - 사진 복제 카메라(슬라이드 복사기)의 표준 배치가 바로 이 등배(等倍) 결상 조건이다.

Q93 단순조화운동과 파동방정식

정지한 관측자를 향해 음원이 일정한 속력 $v_s = 20$ m/s로 곧장 다가가며 진동수 $f_0 = 400$ Hz의 순음을 낸다. 공기 중 음속 $v = 340$ m/s일 때 관측자가 듣는 진동수는?



①) ① 376.5 Hz

②) ② 400 Hz

③) ③ 425 Hz

④) ④ 450 Hz

⑤) ⑤ 460 Hz

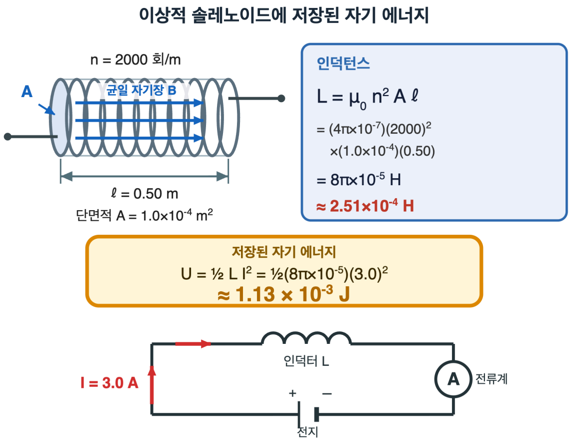
🎯 **정답: ③ 425 Hz**

📖 음원이 관측자에게 다가오는 경우의 도플러 효과 식은 $f' = f_0 \cdot \frac{v}{v - v_s}$ (v_s: 음원 속력, 다가갈 때 분모에서 빼기). 대입하면 $f' = 400 \times \frac{340}{340 - 20} = 400 \times \frac{340}{320} = 400 \times 1.0625 = 425$ Hz. 음원이 다가오면 파면이 압축되어 파장이 짧아지고, 관측 진동수가 본래 진동수보다 증가한다 (앞으로 25 Hz 만큼).

💡 앰뷸런스 사이렌이 다가올 때 높게, 멀어질 때 낮게 들리는 정확한 이유. 같은 원리가 빛(전자기파)에 적용된 것이 천문학의 '적색편이(redshift)'이며, 외부 은하들의 후퇴 속도를 측정해 우주 팽창을 발견하게 만들었다.

Q94 전자기학 심화

단위 길이당 감은수 $n = 2000$ 회/m, 단면적 $A = 1.0 \times 10^{-4}$ m², 길이 $\ell = 0.50$ m인 이상적인 솔레노이드에 정상 전류 $I = 3.0$ A가 흐르고 있다. 이 솔레노이드에 저장된 자기 에너지의 크기에 가장 가까운 값은? (솔레노이드 인덕턴스 $L = \mu_0 n^2 A\ell$, 자기 에너지 $U = \frac{1}{2}LI^2$, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T·m/A)



①) ① $\approx 1.13 \times 10^{-4}$ J

②) ② $\approx 5.65 \times 10^{-4}$ J

③) ③ $\approx 1.13 \times 10^{-3}$ J

④) ④ $\approx 2.26 \times 10^{-3}$ J

⑤) ⑤ $\approx 5.65 \times 10^{-3}$ J

🎯 **정답: ③ $\approx 1.13 \times 10^{-3}$ J**

📖 먼저 솔레노이드의 인덕턴스를 계산. $L = \mu_0 n^2 A\ell = (4\pi \times 10^{-7}) \times (2000)^2 \times (1.0 \times 10^{-4}) \times 0.50$. 정리: $L = (4\pi \times 10^{-7}) \times (4 \times 10^6) \times (5.0 \times 10^{-5}) = 8\pi \times 10^{-5}$ H $\approx 2.51 \times 10^{-4}$ H. 자기 에너지: $U = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2} \times (8\pi \times 10^{-5}) \times (3.0)^2 = 36\pi \times 10^{-5}$ J $\approx 1.13 \times 10^{-3}$ J. 단위 검증: H·A² = J 이므로 일관적.

💡 공식 $u = B^2/(2\mu_0)$로 표현하면 '단위 부피당 자기에너지' = '자기장 에너지밀도'. 이는 전기장 에너지밀도 $u_E = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$와 짝을 이루며, 맥스웰 방정식에서 전자기파의 에너지 흐름(포인팅 벡터)으로 자연스럽게 이어진다.

Q95 양자·원자 물리 입문

하이젠베르크의 위치-운동량 불확정성 원리는 $\Delta x \Delta p \geq \hbar/2$로 표현된다. 어떤 전자의 위치 불확정성이 $\Delta x = 1.0 \times 10^{-10}$ m(대략 한 원자의 크기)로 측정될 때, 운동량의 최소 불확정성 $\Delta p_{\min}$의 값은? ($\hbar = h/(2\pi) = 1.055 \times 10^{-34}$ J·s)

①) ① $\approx 5.3 \times 10^{-26}$ kg·m/s

②) ② $\approx 5.3 \times 10^{-25}$ kg·m/s

③) ③ $\approx 1.1 \times 10^{-24}$ kg·m/s

④) ④ $\approx 5.3 \times 10^{-24}$ kg·m/s

⑤) ⑤ $\approx 1.1 \times 10^{-23}$ kg·m/s

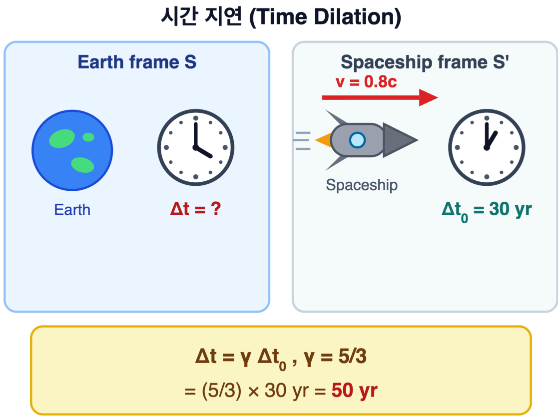
🎯 **정답: ② $\approx 5.3 \times 10^{-25}$ kg·m/s**

📖 불확정성 원리의 최소 등호조건은 $\Delta x \Delta p = \hbar/2$이므로 $\Delta p_{\min} = \frac{\hbar}{2\Delta x}$. 대입: $\Delta p_{\min} = \frac{1.055 \times 10^{-34}}{2 \times 1.0 \times 10^{-10}} = 5.275 \times 10^{-25}$ kg·m/s $\approx 5.3 \times 10^{-25}$ kg·m/s. 참고로 전자 질량 $m_e \approx 9.11 \times 10^{-31}$ kg을 쓰면 속도의 최소 불확정성은 약 5.8×10^5 m/s로, 전자가 원자 내부에서 광속의 약 0.2 % 수준의 빠른 속도 분포를 가짐을 시사한다.

💡 이 원리는 측정 기술의 한계가 아니라 자연의 근본 성질이다. 양자장론에서는 '에너지-시간' 형태 $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$로 확장되어, 진공 중에서도 짧은 시간 동안 가상입자 쌍이 끊임없이 생성·소멸하는 '진공 요동'을 허용한다.

Q96 특수상대성이론 입문

0.8c로 등속 운동하는 우주선 안의 시계로 측정한 고유시간이 30년 흘렀다. 지구 관성계에서 측정한 경과 시간은 얼마인가? (광속 $c = 3 \times 10^8$ m/s, 로런츠 인자 $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$)



①) ① 18년
②) ② 30년
③) ③ 50년
④) ④ 75년
⑤) ⑤ 100년

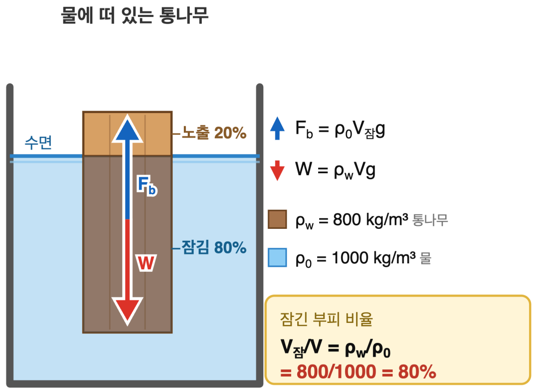
🎯 **정답: ③ 50년**

📖 1단계: 로런츠 인자 계산. $v = 0.8c$이므로 $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-0.64}} = \frac{1}{\sqrt{0.36}} = \frac{1}{0.6} = \frac{5}{3}$. 2단계: 시간 지연 공식 적용. 우주선과 함께 움직이는 시계로 측정한 시간이 고유시간 $\Delta t_0 = 30$년이고, 지구 관성계에서 본 시간은 $\Delta t = \gamma \Delta t_0 = \frac{5}{3} \times 30 = 50$년. 즉 지구에서 보면 운동하는 우주선의 시계가 더 천천히 가는 것으로 측정된다.

💡 GPS 위성의 원자시계도 시간 지연 효과를 받아 지표면 시계와 어긋나기 때문에 매일 약 38 μs 단위로 보정을 가해 위치 정확도를 유지한다.

Q97 유체와 열물리

밀도가 $\rho_w = 800$ kg/m³인 통나무가 물(밀도 $\rho_0 = 1000$ kg/m³)에 떠 있다. 통나무 전체 부피 중 물 속에 잠긴 부분의 비율은 얼마인가? (아르키메데스 원리 적용)



①) ① 20%

②) ② 50%

③) ③ 60%

④) ④ 80%

⑤) ⑤ 100%

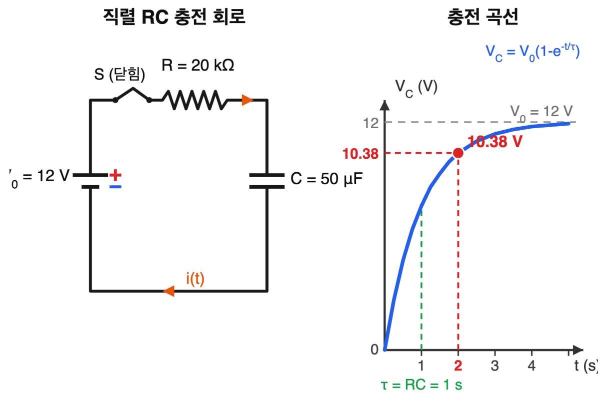
🎯 **정답: ④ 80%**

📖 1단계: 평형 조건 설정. 통나무가 정지 상태로 떠 있으므로 부력 = 중력. $\rho_0 V_{잠} g = \rho_w V g$. 2단계: 부피비 계산. $\frac{V_{잠}}{V} = \frac{\rho_w}{\rho_0} = \frac{800}{1000} = 0.8$. 따라서 통나무 전체 부피의 80%가 물 속에 잠긴다. 이는 떠 있는 물체의 잠긴 부피비가 두 밀도의 비와 같다는 일반 결과다.

💡 빙산의 밀도는 약 920 kg/m³, 해수는 약 1025 kg/m³이므로 빙산은 약 90% 가까이 물 속에 잠겨 있다. 'tip of the iceberg'라는 영어 표현의 어원이다.

Q98 회로 해석 (AC/RLC)

저항 $R = 20\ \text{k}\Omega$, 축전기 $C = 50\ \mu\text{F}$, 기전력 $V_0 = 12\ \text{V}$ 전지로 구성된 직렬 RC 회로에서 $t = 0$에 스위치를 닫아 축전기 충전을 시작했다. $t = 2\ \text{s}$에서 축전기 양 끝 전압 V_C는 얼마인가? ($e^{-2} \approx 0.135$)



①) ① 1.62 V

②) ② 3.24 V

③) ③ 6.00 V

④) ④ 8.65 V

⑤) ⑤ 10.38 V

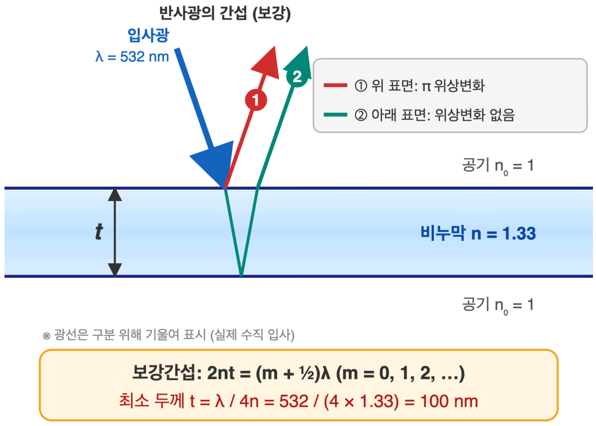
🎯 **정답: ⑤ 10.38 V**

📖 1단계: 시정수 계산. $\tau = RC = (2 \times 10^4\ \Omega) \times (5 \times 10^{-5}\ \text{F}) = 1\ \text{s}$. 2단계: 충전 방정식. $V_C(t) = V_0\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$. 3단계: 수치 대입. $t/\tau = 2/1 = 2$이므로 $V_C = 12\left(1 - e^{-2}\right) = 12 \times (1 - 0.135) = 12 \times 0.865 \approx 10.38\ \text{V}$. 시정수의 2배 시간 후 약 86.5% 충전된 상태다.

💡 RC 시정수의 개념은 카메라 플래시의 충전 시간, 디지털 회로의 신호 지연(propagation delay), 신경세포 막의 전기 반응 시간 등 광범위한 분야에 동일한 수학으로 적용된다.

Q99 파동광학과 기하광학

공기 중에 떠 있는 굴절률 $n = 1.33$인 비눗방울 막에 파장 $\lambda = 532$ nm 녹색 단색광이 수직으로 입사한다. 반사광이 보강간섭을 일으키는 가장 얇은 막의 두께는 얼마인가?



①) ① 50 nm

②) ② 100 nm

③) ③ 133 nm

④) ④ 200 nm

⑤) ⑤ 400 nm

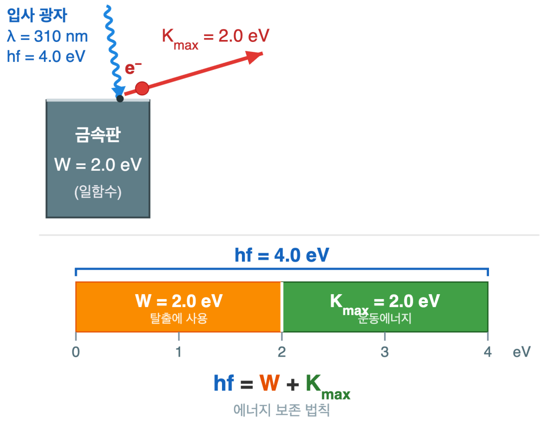
🎯 **정답: ② 100 nm**

📖 1단계: 위상 변화 분석. 공기→비누(밀한 매질) 경계에서 위 표면 반사는 π 위상 변화가 일어난다. 비누→공기(소한 매질) 경계에서 아래 표면 반사는 위상 변화가 없다. 두 반사광 사이의 추가 광경로차는 $2nt$이며, 한 쪽만 π 위상이 더해진다. 2단계: 보강간섭 조건. $2nt = (m + \frac{1}{2})\lambda,\ m = 0, 1, 2, \ \ldots$. 3단계: 최소 두께($m = 0$). $t = \dfrac{\lambda}{4n} = \dfrac{532 \text{ nm}}{4 \times 1.33} = \dfrac{532}{5.32} = 100$ nm.

💡 비눗방울이 다채로운 색을 보이는 것은 막 두께에 따라 보강간섭을 일으키는 파장이 달라지기 때문이며, 공기 노출로 막이 점점 얇아져 가시광 절반 파장보다 작아지면 모든 색이 상쇄되어 검게 보이는 순간 직후 터진다.

Q100 양자·원자 물리 입문

일함수 $W = 2.0$ eV인 금속 표면에 파장 $\lambda = 310$ nm인 자외선을 비춘다. 방출되는 광전자의 최대 운동에너지 $K_{\max}$는 얼마인가? ($hc \approx 1240$ eV·nm)



①) ① 0.5 eV

②) ② 1.0 eV

③) ③ 2.0 eV

④) ④ 4.0 eV

⑤) ⑤ 6.0 eV

🎯 **정답: ③ 2.0 eV**

📖 1단계: 광자 1개의 에너지를 eV 단위로 계산. $E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{1240\ \text{eV·nm}}{310\ \text{nm}} = 4.0$ eV. 2단계: 아인슈타인의 광전효과 방정식 적용. $hf = W + K_{\max}$. 3단계: 최대 운동에너지. $K_{\max} = E - W = 4.0 - 2.0 = 2.0$ eV. 광자 에너지가 일함수보다 작으면 광전자는 빛의 세기에 관계없이 전혀 방출되지 않는다(임계진동수의 존재).

💡 1905년 아인슈타인이 광전효과를 광양자(빛의 입자성)로 설명한 논문은 그에게 1921년 노벨 물리학상을 안긴 업적으로, 일반상대성 이론보다 먼저 노벨상의 인정을 받은 양자론적 기여다.