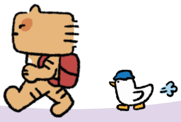
완자

정답친해



역학과 에너지

I

시공간과 운동

1 힘과 운동

01 힘의 합성

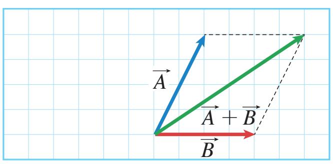
개념 확인 문제

13쪽

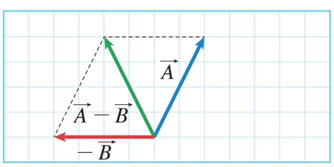
❶ 스칼라 ❷ 벡터 ❸ 평행사변형법 ❹ 분해 ❺ 알짜힘
❻ 수직 항력 ❼ 중력 ❽ 증가 ❾ 일정

1 (1) 해설 참조 (2) 해설 참조 **2** 5 N **3** (1) ○ (2) × (3) ○
4 (1) 5 N (2) $5\sqrt{3}$ N **5** (1) ○ (2) ○ (3) ×

1 (1) B를 평행 이동시킨 후 평행사변형법을 이용하여 $\vec{A}+\vec{B}$를 나타내면 그림과 같다.



(2) $-\vec{B}$는 $\vec{B}$와 크기가 같고 방향이 반대이다.



2 x축과 나란한 방향으로 작용하는 알짜힘은 $+x$ 방향으로 크기가 5 N$-$2 N$=$3 N이고, y축과 나란한 방향으로 작용하는 알짜힘은 $+y$ 방향으로 크기가 4 N이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{4^2+3^2}=5$(N)이다.

3 (1) 두 힘이 같은 방향으로 작용할 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 두 힘의 크기의 합이므로 알짜힘의 크기는 큰 힘의 크기보다 크다.
(2) 두 힘이 반대 방향으로 작용할 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 큰 힘의 크기에서 작은 힘의 크기를 뺀 값이다.
(3) 물체의 무게가 W이고 빗면의 경사각이 θ일 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $W\sin\theta$이다.

4 (1) F_1의 크기는 $10\sin30^\circ=5$(N)이다.
(2) F_2의 크기는 $10\cos30^\circ=5\sqrt{3}$(N)이다.

5 (1) 질량은 B가 A보다 크므로 A는 연직 위 방향으로, B는 연직 아래 방향으로 운동한다.
(2) A의 가속도의 크기는 $\dfrac{30\text{ N}-20\text{ N}}{2\text{ kg}+3\text{ kg}}=2\text{ m/s}^2$이다.
(3) B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3\text{ kg}\times2\text{ m/s}^2=6$ N이다.

완자쌤 비법특강

14쪽~15쪽

Q1 $(10\sqrt{3}-5)\text{ m/s}^2$ **Q2** 10 N

Q1 $(20\cos30^\circ-5)\text{ N}=1\text{ kg}\times a$에서 $a=(10\sqrt{3}-5)\text{ m/s}^2$이다.

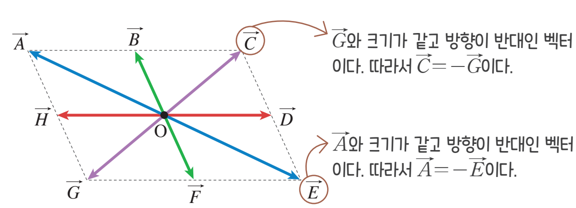
Q2 q가 물체에 작용하는 힘의 연직 성분의 크기는 물체의 무게와 같은 10 N이다. q가 연직 방향과 이루는 각이 45°이므로 q가 물체에 작용하는 힘의 수평 성분의 크기는 10 N이다. 따라서 p가 물체에 작용하는 힘의 크기는 10 N이다.

대표 자료 분석 1

16쪽

1 (1) $-\vec{E}$ (2) $-\vec{F}$ (3) $-\vec{G}$ (4) $-\vec{H}$
2 (1) $2\vec{B}$ 또는 $-2\vec{F}$ (2) $\vec{H}$ 또는 $-\vec{D}$ (3) $\vec{C}$ 또는 $-\vec{G}$ (4) $2\vec{H}$ 또는 $-2\vec{D}$
3 (1) $\vec{H}$ 또는 $-\vec{D}$ (2) $\vec{D}$ 또는 $-\vec{H}$
4 (1) ○ (2) × (3) ○

꼼꼼 문제 분석

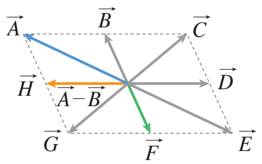


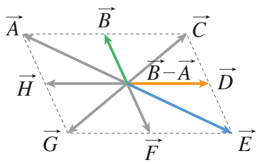
1 (−)부호가 붙은 벡터는 크기가 같고 방향이 반대이다.
(1) $\vec{E}$는 $\vec{A}$와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터이므로 $\vec{A}$와 같은 벡터는 $-\vec{E}$이다.

(2) $\vec{F}$는 $\vec{B}$와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터이므로 $\vec{B}$와 같은 벡터는 $-\vec{F}$이다.
(3) $\vec{G}$는 $\vec{C}$와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터이므로 $\vec{C}$와 같은 벡터는 $-\vec{G}$이다.
(4) $\vec{H}$는 $\vec{D}$와 크기가 같고 방향이 반대인 벡터이므로 $\vec{D}$와 같은 벡터는 $-\vec{H}$이다.

2 두 벡터의 합은 두 벡터를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선이다.
(1) $\vec{A}$와 $\vec{C}$를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선은 $2\vec{B}$이고, $2\vec{B}$는 $-2\vec{F}$와 같다.
(2) $\vec{A}$와 $\vec{F}$를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선은 $\vec{H}$이고, $\vec{H}$는 $-\vec{D}$와 같다.
(3) $\vec{B}$와 $\vec{D}$를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선은 $\vec{C}$이고, $\vec{C}$는 $-\vec{G}$와 같다.
(4) $\vec{A}$와 $\vec{G}$를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선은 $2\vec{H}$이고, $2\vec{H}$는 $-2\vec{D}$와 같다.

3 (1) $\vec{B}$와 크기가 같고 방향이 반대인 $-\vec{B}(=\vec{F})$와 $\vec{A}$를 두 변으로 하는 평행사변형을 그리면 평행사변형의 대각선이 두 벡터의 차가 된다. $\vec{A}-\vec{B}$는 $\vec{H}$와 같고, $\vec{H}$는 $-\vec{D}$와 같다.
(2) $\vec{A}$와 크기가 같고 방향이 반대인 $-\vec{A}(=\vec{E})$와 $\vec{B}$를 두 변으로 하는 평행사변형을 그리면 평행사변형의 대각선이 두 벡터의 차가 된다. $\vec{B}-\vec{A}$는 $\vec{D}$와 같고, $\vec{D}$는 $-\vec{H}$와 같다.





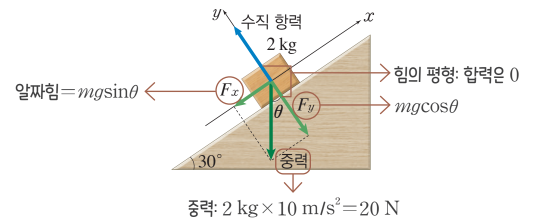
4 (1) 벡터는 합성하거나 분해할 수 있는 물리량이다.
(2) 두 벡터를 합성한 벡터의 크기는 두 벡터를 두 변으로 하는 평행사변형의 대각선의 크기와 같다. 두 벡터를 합성한 벡터의 크기가 두 벡터의 크기를 더한 값과 같은 경우는 두 벡터의 방향이 같은 경우뿐이다.
(3) 여러 개의 벡터를 합성할 때 합성하는 순서가 달라도 결과는 같다.

대표 자료 분석 2

17쪽

1 (1) 30° (2) 10 N (3) $10\sqrt{3}$ N (4) $10\sqrt{3}$ N **2** 10 N
3 5 m/s^2 **4** (1) ○ (2) × (3) ○

꼼꼼 문제 분석



1 (1) 경사각이 30°인 빗면과 사잇각이 θ인 삼각형은 닮은 직각 삼각형이므로 $\theta=30°$이다.
(2) $F_x=mg\sin\theta=20\times\frac{1}{2}=10$(N)이다.
(3) $F_y=mg\cos\theta=20\times\frac{\sqrt{3}}{2}=10\sqrt{3}$ (N)이다.
(4) 빗면에 수직인 방향으로 F_y와 수직 항력이 힘의 평형을 이루고 있으므로 수직 항력의 크기는 $10\sqrt{3}$ N이다.

2 물체에는 중력과 수직 항력이 작용하는데, 중력의 빗면에 수직인 성분 F_y와 수직 항력이 힘의 평형을 이루므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 F_x의 크기인 10 N이다.

3 물체에 작용하는 알짜힘이 크기가 10 N이고 물체의 질량이 2 kg이므로 가속도의 크기는 $\frac{10\text{ N}}{2\text{ kg}}=5\text{ m/s}^2$이다.

4 (1) $F_x=mg\sin\theta$이고 $F_y=mg\cos\theta$이므로 θ가 30°보다 커지면 F_x의 크기는 커지고 F_y의 크기는 작아진다.
(2) 중력의 빗면에 수직인 성분 F_y와 수직 항력이 힘의 평형을 이룬다.
(3) 마찰이 있는 빗면에서는 마찰력이 F_x의 반대 방향으로 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 F_x의 크기보다 작다.

내신 만점 문제

18쪽~20쪽

01 ③ **02** ③ **03** A_x: 5, A_y: $5\sqrt{3}$ **04** ② **05** ③
06 $\sqrt{5}$ m/s^2 **07** ⑤ **08** ⑤ **09** ⑤
10 50 N **11** ⑤ **12** 해설 참조 **13** (가), (나), (다)
14 ② **15** 6 m/s^2 **16** $\frac{2}{3}g$

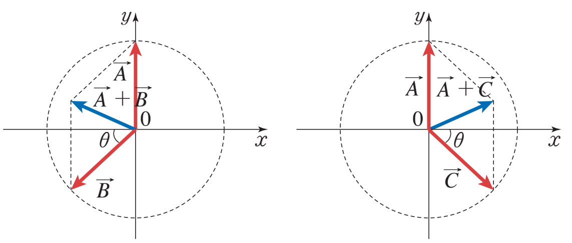
01 스칼라량은 크기만 있는 물리량이고, 벡터량은 크기와 방향이 모두 있는 물리량이다.
ㄱ, ㄹ, ㅁ. 속도, 가속도, 힘은 크기와 방향이 모두 있는 벡터량이다.
바로알기 ㄴ, ㄷ, ㅂ. 질량, 이동 거리, 시간은 크기만 있는 스칼라량이다.

02 ㄱ. $\vec{A}$와 $\vec{C}$를 나타낸 화살표의 방향이 반대 방향이므로 $\vec{A}$와 $\vec{C}$의 방향은 서로 반대 방향이다.
ㄴ. 화살표의 길이는 $\vec{B}$가 $\vec{C}$보다 크다. 따라서 $\vec{B}$의 크기는 $\vec{C}$의 크기보다 크다.
바로알기 ㄷ. 눈금 한 칸의 길이를 1이라고 하자. $\vec{A}+\vec{B}$의 수평 방향의 길이는 5이고 수직 방향의 길이는 3이다. 따라서 $\vec{A}+\vec{B}$의 크기는 $\sqrt{5^2+3^2}=\sqrt{34}$이다. $\vec{C}$의 크기는 $\sqrt{1^2+1^2}=\sqrt{2}$이므로 $2\vec{C}$의 크기는 $2\sqrt{2}$이다. 그러므로 $\vec{A}+\vec{B}$의 크기는 $2\vec{C}$의 크기보다 크다.

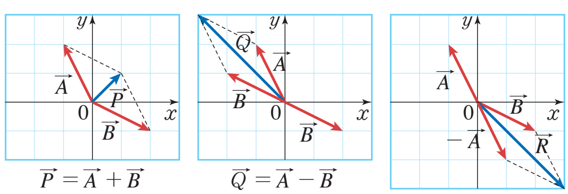
03 $A_x=|\vec{A}|\cos60^\circ=10\times\frac{1}{2}=5$이고,

$A_y=|\vec{A}|\sin60^\circ=10\times\frac{\sqrt{3}}{2}=5\sqrt{3}$이다.

04 ㄴ. $\vec{B}+\vec{C}$의 방향은 $-y$ 방향이고 크기는 1보다 크다. 따라서 $\vec{A}-(\vec{B}+\vec{C})$의 방향은 $-y$ 방향이다.
바로알기 ㄱ. $\vec{A}$와 $\vec{D}$의 크기는 1로 같으므로 $\vec{A}+\vec{D}$의 크기는 $\sqrt{1^2+1^2}=\sqrt{2}$이다.
ㄷ. $\vec{A}+\vec{B}$의 방향과 $\vec{A}+\vec{C}$의 방향은 그림과 같다. 따라서 $\vec{A}+\vec{B}$의 방향과 $\vec{A}+\vec{C}$의 방향은 서로 반대 방향이 아니다.



05 꼼꼼 문제 분석

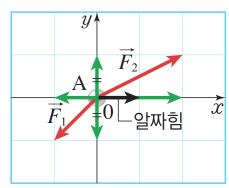


$\vec{P}=\vec{A}+\vec{B}$ $\vec{Q}=\vec{A}-\vec{B}$ $\vec{R}=\vec{B}-\vec{A}$

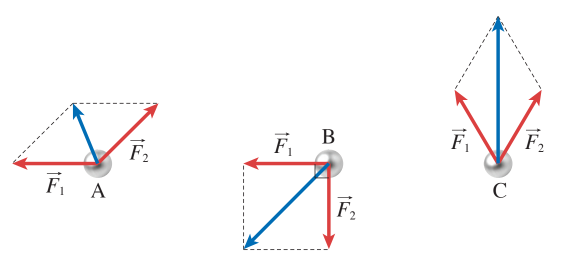
ㄷ. $\vec{P}+\vec{Q}+\vec{R}=\vec{A}+\vec{B}+\vec{A}-\vec{B}+\vec{B}-\vec{A}=\vec{A}+\vec{B}$이다. 따라서 $|\vec{P}+\vec{Q}+\vec{R}|=|\vec{P}|=\sqrt{2}$이고, $|\vec{A}|=\sqrt{2^2+1^2}=\sqrt{5}$이다. 이를 정리하면, $|\vec{P}+\vec{Q}+\vec{R}|<|\vec{A}|$이다.
바로알기 ㄱ. 평행사변형법을 이용해 $\vec{A}+\vec{B}$인 $\vec{P}$를 나타내면, $|\vec{P}|=\sqrt{1^2+1^2}=\sqrt{2}$이다.
ㄴ. $\vec{A}-\vec{B}=-(\vec{B}-\vec{A})$이므로 $\vec{Q}$의 방향과 $\vec{R}$의 방향은 반대이다.

06 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{10^2+5^2}=5\sqrt{5}$(N)이다. 물체의 질량은 5 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{5\sqrt{5}\,\mathrm{N}}{5\,\mathrm{kg}}=\sqrt{5}\ \mathrm{m/s^2}$이다.

07 $\vec{F_1}$, $\vec{F_2}$를 x성분과 y성분으로 분해하면 그림과 같다. A에 작용하는 알짜힘의 y성분은 0이고, x성분은 $+x$ 방향으로 1 N이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘을 가장 적절하게 나타낸 것은 ⑤이다.



08 두 힘이 한 물체에 나란하지 않은 방향으로 작용할 때, 두 힘이 이루는 각이 작을수록 알짜힘의 크기가 크다. 물체에 작용한 알짜힘을 벡터의 합성으로 나타내면 그림과 같다.



따라서 알짜힘의 크기가 큰 물체부터 순서대로 나열하면 C−B−A이다.

09 ㄱ. (가)에서 P는 정지해 있으므로 A가 P를 당기는 힘의 크기는 지구가 P를 당기는 힘의 크기와 같다.
ㄷ. (다)에서 A, B가 연직 방향과 이루는 각은 같으므로 ㉢과 ㉣은 같다. (나), (다)에서 A가 P를 당기는 힘의 크기를 각각 $T_{(나)}$, $T_{(다)}$라고 하자. $2T_{(나)}\cos30^\circ=2T_{(다)}\cos45^\circ$이므로 $T_{(나)}=\sqrt{\frac{2}{3}}T_{(다)}$이다. 따라서 ㉡은 ㉢의 $\sqrt{\frac{2}{3}}$배이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 A, B가 연직 방향과 이루는 각은 같으므로 ㉠과 ㉡은 같다.

10 마찰이 없는 빗면에서 등가속도 운동을 하는 물체의 가속도의 크기는 $\frac{\text{알짜힘}}{\text{질량}}=\frac{mg\sin\theta}{m}=g\sin\theta=10\sin30^\circ=5(\mathrm{m/s^2})$이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $10\,\mathrm{kg}\times5\,\mathrm{m/s^2}=50\,\mathrm{N}$이다.

11 물체에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기는 $2\,\mathrm{kg}\times10\,\mathrm{m/s^2}\times\sin30^\circ=10\,\mathrm{N}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기를 a라고 하면, $2a=10-2\sqrt{3}$에서 $a=(5-\sqrt{3})\,\mathrm{m/s^2}$이다.

12 빗면의 경사각이 클수록 빗면과 물체 사이의 정지 마찰 계수가 크다.

모범 답안 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 마찰력의 크기는 물체에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기와 같다. 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 빗면의 경사각을 θ라고 하면, $mg\sin\theta=\mu mg\cos\theta$이므로 $\mu=\tan\theta$이다. $\theta_1<\theta_2$이므로 $\mu_A<\mu_B$이다.

채점 기준	배점
정지 마찰 계수를 까닭과 함께 옳게 비교한 경우	100 %
정지 마찰 계수만 옳게 비교한 경우	30 %

13 (가)는 운동 방향은 일정하고 속력이 변하는 운동, (나)는 속력은 일정하고 운동 방향이 변하는 운동, (다)는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다. 따라서 (가), (나), (다)는 모두 속도가 변하는 가속도 운동을 한다.

14 ㄴ. 연직 위로 던진 물체의 속력이 점점 감소하면서 위로 올라가다가 최고점에서 속력이 0이 된 후, 속력이 점점 증가하면서 아래로 내려온다. 즉, 연직 위로 던진 물체는 속력이 0일 때, 즉 t_1일 때 최고점에 도달한다.

바로알기 ㄱ. 속력이 일정하게 감소하여 0이 된 후 속력이 일정하게 증가하므로 연직 위로 던진 물체의 운동을 나타낸 그래프이다.

ㄷ. 연직 위로 던진 물체의 속도는 $v=v_0-gt$이며, 최고점에서의 속도는 0이므로 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 $t_1=\frac{v_0}{g}$이다. 따라서 연직 위로 던진 물체의 최고점의 높이는 $H=v_0t_1-\frac{1}{2}gt_1^2=\frac{v_0^2}{2g}$으로 정리할 수 있으므로 최고점의 높이는 v_0^2에 비례한다.

15 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기가 30 N이므로 A의 가속도의 크기는 $\frac{30\,\mathrm{N}}{(2+3)\,\mathrm{kg}}=6\,\mathrm{m/s^2}$이다.

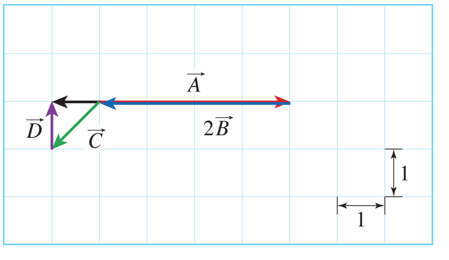
16 A, B의 질량을 각각 $3m$, m이라고 하자. (가)에서 A에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기를 $3f$라고 하면, (나)에서 B에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기는 f이다. (가)에서 $mg=3f$ … ①이고, (나)에서 A의 가속도의 크기를 a라고 하면, $3mg-f=(3m+m)a$ … ②이다. ①을 ②에 대입하여 정리하면, $3mg-\frac{1}{3}mg=4ma$에서 $a=\frac{2}{3}g$이다.

실력 UP 문제

21쪽

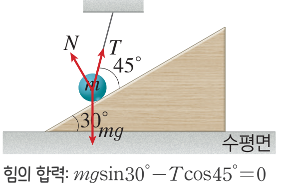
01 ② 02 ③ 03 ③ 04 ③

01 여러 벡터를 합성할 때는 한 벡터의 끝점으로 다른 벡터의 시작점을 평행 이동시키는 것을 반복한 후, 처음 벡터의 시작점과 마지막 벡터의 끝점을 이으면 합성 벡터를 구할 수 있다.
$\vec{A}$와 $\vec{B}$의 방향은 서로 반대이므로 $\vec{A}+2\vec{B}=0$이다. 수직 방향으로 $\vec{C}$와 $\vec{D}$의 방향은 반대이므로 $\vec{C}+\vec{D}$의 수직 성분 0이고, $\vec{C}$의 수평 성분의 크기는 1이다.



따라서 $\vec{A}+2\vec{B}+\vec{C}+\vec{D}$의 크기는 1이다.

02 꼼꼼 문제 분석



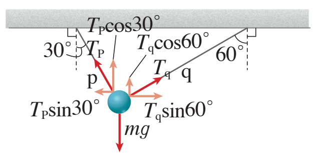
빗면에 나란한 성분의 힘의 합력: $mg\sin30^\circ-T\cos45^\circ=0$
빗면에 수직인 성분의 힘의 합력: $N+T\sin45^\circ=mg\cos30^\circ$

ㄱ. 빗면의 경사각은 30°이므로 물체에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기는 $mg\sin30° = \frac{1}{2}mg$이다.

ㄴ. 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라고 하자. 실이 물체를 당기는 힘의 빗면에 나란한 성분의 크기와 물체에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기는 같으므로 $mg\sin30° = T\cos45°$에서 $T = \frac{\sqrt{2}}{2}mg$이다.

바로알기 ㄷ. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라고 하자. 빗면이 물체에 작용하는 힘의 방향은 빗면에 수직인 방향이므로 $N + T\sin45° = mg\cos30°$에서 $N = \frac{1}{2}(\sqrt{3}-1)mg$이다.

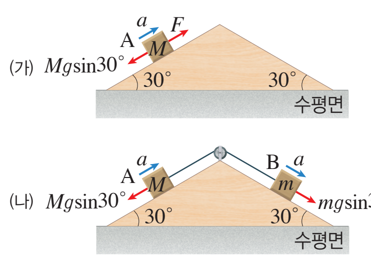
03 꼼꼼 문제 분석



• 수평 방향으로는 $T_p\sin30°$, $T_q\sin60°$가 작용한다.
➡ 물체가 정지해 있으므로 $T_p\sin30° = T_q\sin60°$이다.
• 연직 방향으로는 mg, $T_p\cos30°$, $T_q\cos60°$가 작용한다.
➡ 물체가 정지해 있으므로 $mg = T_p\cos30° + T_q\cos60°$이다.

물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. p, q가 물체를 당기는 힘의 수평 성분의 크기는 같으므로 $T_p\sin30° = T_q\sin60°$에서 $\frac{T_p}{T_q} = \sqrt{3}$이다.

04 꼼꼼 문제 분석



A의 질량을 M, 가속도의 크기를 a라고 하자. (가)에서 $F - Mg\sin30° = Ma$ ⋯ ①이고, (나)에서 $mg\sin30° - Mg\sin30° = (M+m)a$ ⋯ ②이다. ①을 정리하면, $\frac{1}{3}mg - \frac{1}{2}Mg = Ma$ ⋯ ③이고 ②를 정리하면 $\frac{1}{2}mg - \frac{1}{2}Mg = (M+m)a$ ⋯ ④이다.

③, ④를 연립하면, $\frac{1}{2}mg - \frac{1}{3}mg = ma$에서 $a = \frac{1}{6}g$이다. $a = \frac{1}{6}g$을 ③에 대입하여 정리하면, $\frac{1}{3}mg - \frac{1}{2}Mg = M\left(\frac{1}{6}g\right)$이므로 $M = \frac{1}{2}m$이다.

02 / 포물선 운동

개념 확인 문제 24쪽

❶ 속력 ❷ 가속도 ❸ $v_0\cos\theta$ ❹ $v_0\sin\theta$ ❺ $v_0\sin\theta - gt$ ❻ $\frac{v_0\sin\theta}{g}$ ❼ 45 ❽ 중력에 의한 위치 ❾ 운동 ❿ 역학적

1 (1) ○ (2) × (3) ○ **2** ㉠ 일정, ㉡ 일정 **3** (1) 5초 (2) 2 m/s **4** ㉠ A, E, ㉡ C **5** (1) 100 J (2) 75 J (3) $\frac{1}{2}$초 (4) 1.25 m

1 (1) 물체에는 수평 방향으로 힘이 작용하지 않으므로 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다.
(2) 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 중력의 크기와 같다.
(3) 물체는 연직 방향으로 중력만 받으므로 연직 방향으로 자유 낙하 운동을 한다.

2 물체의 가속도가 일정하므로 일정한 시간 간격의 구간별 속도 변화량의 크기는 일정하고, 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 속도의 수평 성분의 크기는 일정하다.

3 (1) 물체를 던진 순간으로부터 10초 후 다시 수평면에 도달하므로 물체를 던진 순간부터 최고점에 도달할 때까지 걸린 시간은 5초이다.
(2) 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, 최고점에서 연직 방향의 속력은 0이다. 따라서 최고점에서 물체의 속력은 수평 방향 속력과 같은 $\frac{20\text{ m}}{10\text{ s}} = 2\text{ m/s}$이다.

4 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 높이가 최대인 지점(C)에서 중력에 의한 위치 에너지가 최대이고 높이가 최소인 지점(A, E)에서 운동 에너지가 최대이다.

5 (1) 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 수평면에서 던진 순간 물체의 운동 에너지는 물체의 역학적 에너지와 같다. 따라서 물체의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times(10\text{ m/s})^2=100\text{ J}$이다.

(2) 최고점에서 물체의 속력은 수평 방향 속력인 $10\times\cos30^\circ=5\sqrt{3}$(m/s)이므로 최고점에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}\times 2\text{ kg}\times(5\sqrt{3}\text{ m/s})^2=75\text{ J}$이다.

(3) $t_H=\frac{v_0\sin\theta}{g}=\frac{10\times\sin30^\circ}{10}=\frac{1}{2}$(초)이다.

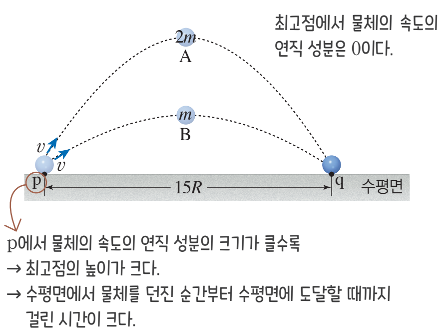
(4) $H=\frac{v_0{}^2\sin^2\theta}{2g}=\frac{100\times\frac{1}{4}}{20}=1.25$(m)이다.

대표 자료 분석 25쪽

1 (1) $\frac{15R}{t_A}$ (2) $\frac{15R}{t_B}$ (3) $\frac{gt_A}{2}$ (4) $\frac{gt_B}{2}$ **2** $\frac{30R}{g}$ **3** $v_A<v_B$

4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×

꼼꼼 문제 분석



1 (1) A는 t_A 동안 수평 방향으로 $15R$만큼 이동하므로 p에서 A의 수평 방향 속력은 $v_{Ax}=\frac{15R}{t_A}$이다.

(2) B는 t_B 동안 수평 방향으로 $15R$만큼 이동하므로 p에서 B의 수평 방향 속력은 $v_{Bx}=\frac{15R}{t_B}$이다.

(3), (4) A와 B는 연직 방향으로 가속도의 크기가 g인 등가속도 운동을 한다. 최고점에서 속도의 연직 성분은 0이므로 p에서 A, B의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 v_{Ay}, v_{By}라고 하면, $0=v_{Ay}-g\left(\frac{1}{2}t_A\right)$에서 $v_{Ay}=\frac{gt_A}{2}$이고 $0=v_{By}-g\left(\frac{1}{2}t_B\right)$에서 $v_{By}=\frac{gt_B}{2}$이다.

2 p에서 A, B의 속력이 같으므로 $\left(\frac{15R}{t_A}\right)^2+\left(\frac{gt_A}{2}\right)^2=\left(\frac{15R}{t_B}\right)^2+\left(\frac{gt_B}{2}\right)^2$에서 $t_At_B=\frac{30R}{g}$이다.

3 최고점의 높이는 A가 B보다 크므로 $v_{Ay}>v_{By}$이고 $t_A>t_B$이다. p에서 q까지 수평 이동 거리는 A와 B가 같으므로 $v_{Ax}<v_{Bx}$이다. 속도의 수평 성분의 크기는 일정하고, 최고점에서 속도의 연직 성분은 0이므로 $v_A<v_B$이다.

4 (1) 포물선 운동을 하는 A의 가속도는 중력 가속도로 방향은 항상 연직 아래 방향으로 일정하다.

(2) 최고점에서 연직 방향 속력은 0이지만 수평 방향 속력은 0이 아니므로 운동 에너지도 0이 아니다.

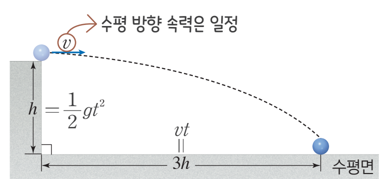
(3) 최고점의 높이는 A가 B보다 크고, 질량은 A가 B보다 크다. 따라서 최고점에서 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다 크다.

(4) 포물선 운동을 하는 동안 B의 역학적 에너지는 보존된다. 최고점에서 B의 중력에 의한 위치 에너지는 최대이므로 최고점에서 B의 운동 에너지는 최소이다.

내신 만점 문제 26쪽~28쪽

01 ③ **02** 해설 참조 **03** ③ **04** ①
05 해설 참조 **06** ① **07** ② **08** ③ **09** ②
10 ③ **11** ② **12** 해설 참조

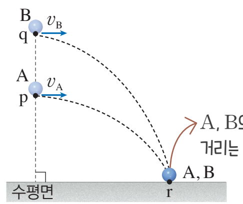
01 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 물체의 수평 도달 거리는 $3h$이고, 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 $v\times\sqrt{\frac{2h}{g}}=3h$이다. 따라서 $v=\sqrt{\frac{9}{2}gh}$이다.

바로알기 ㄱ. 물체에 수평 방향으로 작용하는 힘은 0이므로 물체는 수평 방향으로 속력이 일정한 운동을 한다.
ㄴ. 물체는 연직 방향으로 가속도가 g인 등가속도 운동을 하고, 물체가 던져진 순간 연직 방향의 속력은 0이다. 따라서 물체가 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다.

02 꼼꼼 문제 분석



- 물체를 수평 방향으로 던졌으므로 p와 q에서 A와 B의 연직 방향 속력은 모두 0이다.
- 수평면으로부터 높이는 q가 p보다 크고, A와 B의 가속도는 중력 가속도로 같다.

➡ B가 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간은 A가 p에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간보다 크다.

- A와 B는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다.

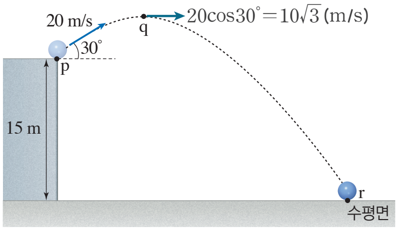
모범 답안 높이는 p가 q보다 작으므로 물체가 수평 방향으로 던져진 순간부터 r에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 B보다 작다. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, 수평 도달 거리는 A와 B가 같으므로 v_A는 v_B보다 크다.

채점 기준	배점
최고점의 높이를 비교하여 수평 방향 속력의 비교가 옳은 경우	100 %
수평 방향 속력의 비교만 옳은 경우	30 %

03 ㄱ. q는 최고점이므로 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 q에서 r까지 이동하는 데 걸린 시간과 같다.
ㄴ. 물체는 포물선 운동을 하므로 p에서 r까지 변위의 크기는 이동 거리보다 작다. 따라서 p에서 r까지 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

바로알기 ㄷ. q에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이지만 수평 성분은 0이 아니다. 따라서 q에서 물체의 속력은 0이 아니다.

04 꼼꼼 문제 분석



- 수평 방향 운동: 속력이 $20\cos30^\circ=10\sqrt{3}$(m/s)로 일정한 등속도 운동을 한다.
- 연직 방향 운동: p에서 연직 위 방향으로 $20\sin30^\circ=10$(m/s)의 속력으로 던져졌고, 연직 아래 방향으로 가속도의 크기가 10 m/s^{2}인 등가속도 운동을 한다.

ㄱ. q는 최고점이므로 q에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이다. 물체가 포물선 운동을 하는 동안 속도의 수평 성분의 크기는 일정하므로 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 p에서와 q에서가 같다. 따라서 q에서 물체의 속력은 $20\cos30^\circ=10\sqrt{3}$(m/s)이다.

바로알기 ㄴ. p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_1이라고 하면, $0=20\sin30^\circ-gt_1$에서 $t_1=\frac{20\sin30^\circ}{10}=1$(초)이다. p와 q 사이의 높이 차를 h라고 하면, $h=\frac{(20\sin30^\circ)^2}{2g}=5$(m)이다. 따라서 q와 r 사이의 높이 차는 5 m+15 m=20 m이다. q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 t_2라고 하면, $\frac{1}{2}g{t_2}^2=20$에서 $t_2=2$초이다. 그러므로 p에서 r까지 물체의 변위의 수평 성분의 크기는 $20\cos30^\circ\times(t_1+t_2)=10\sqrt{3}\times(1+2)=30\sqrt{3}$(m)이다.
ㄷ. r에서 물체의 속도의 연직 성분을 v_y라고 하면, p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 3초이므로 $v_y=20\sin30^\circ-10\times3=-20$(m/s)이다. 따라서 r에서 속도의 연직 성분의 크기는 20 m/s이다.

다른 풀이 ㄴ. 물체가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $20\sin30^\circ t-\frac{1}{2}gt^2=-15$이므로 $t=3$초이다. 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $10\sqrt{3}$ m/s이므로 p에서 r까지 물체의 변위의 수평 성분의 크기는 $10\sqrt{3}\times3=30\sqrt{3}$(m)이다.

05 모범 답안 (1) 최고점의 높이는 B가 A보다 크므로 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 B가 A보다 크다.
(2) 중력 가속도를 g, p에서 A의 운동 방향과 수평면이 이루는 각을 θ라고 하자. 수평 도달 거리는 A와 B가 같으므로 $\frac{{v_A}^2\sin(2\theta)}{g}=\frac{{v_B}^2\sin(2\times45^\circ)}{g}$이다. 수평면에 대한 발사각이 45°일 때 수평 도달 거리는 최대이므로 $\sin90^\circ>\sin2\theta$이다. 따라서 $v_A>v_B$이다.

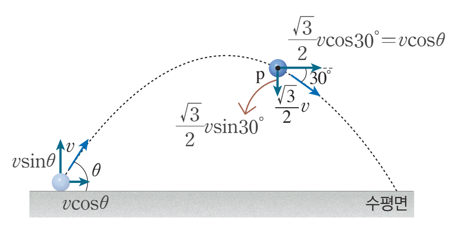
채점 기준		배점
(1)	최고점의 높이를 비교하여 A, B가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 옳게 비교한 경우	50 %
	걸린 시간만 옳게 비교한 경우	30 %
(2)	수평 도달 거리를 이용하여 v_A, v_B를 옳게 비교한 경우	50 %
	v_A, v_B만 옳게 비교한 경우	30 %

06 ㄱ. 중력 가속도를 g, 수평면에서 비스듬히 던져진 순간 속도의 연직 성분의 크기를 v_y, 최고점의 높이를 h라고 하면 $h=\frac{{v_y}^2}{2g}$이다. 따라서 최고점의 높이는 A가 B의 2배이므로 수평면에서 비스듬히 던져진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

바로알기 ㄴ. 최고점에서 물체의 속도의 연직 성분은 0이고, 포물선 운동을 하는 물체의 속도의 수평 성분은 일정하다. 최고점의 높이는 B와 C가 같으므로 수평면에서 비스듬히 던져진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 B와 C가 같고, 물체가 수평면에서 비스듬히 던져진 순간부터 최고점에 도달하는 데 걸린 시간도 B와 C가 같다$\left(\because\ t_H=\frac{v_y}{g}\text{이므로}\right)$. 물체가 수평면에서 비스듬히 던져진 순간부터 최고점에 도달할 때까지 수평 방향으로 이동한 거리는 C가 B의 2배이므로 속도의 수평 성분의 크기는 C가 B의 2배이다. 따라서 최고점에서 속력은 C가 B의 2배이다.

ㄷ. 수평면에서 비스듬히 던져진 순간부터 수평면에 다시 도달할 때까지 걸린 시간은 수평면에서 비스듬히 던져진 순간부터 최고점에 도달할 때까지 걸린 시간의 2배이다. 최고점의 높이는 A가 C의 2배이므로 수평면에서 물체가 비스듬히 던져진 순간 속도의 연직 성분의 크기는 A가 C의 $\sqrt{2}$배이다. 따라서 수평면에서 비스듬히 던져진 순간부터 수평면에 다시 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 C의 $\sqrt{2}$배이다.

07 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. p에서 속도의 연직 성분의 크기는 $\frac{\sqrt{3}}{2}v\sin30°=\frac{\sqrt{3}}{4}v$이다. 최고점에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 0이므로 물체가 최고점에서 p까지 운동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $gt=\frac{\sqrt{3}}{4}v$에서 $t=\frac{\sqrt{3}v}{4g}$이다.

바로알기 ㄱ. 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 일정하므로 $v\cos\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}v\cos30°$에서 $\cos\theta=\frac{3}{4}$이다. 따라서 $\tan\theta=\frac{\sqrt{7}}{3}$이다.

ㄷ. 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 한다. 수평면으로부터 p까지의 높이를 H라고 하면, $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\sin30°\right)^2-(v\sin\theta)^2=-2gH$이다. $\sin\theta=\frac{\sqrt{7}}{4}$이므로 $H=\frac{v^2}{8g}$이다.

08 ㄴ. 수평면으로부터 높이는 p가 q보다 작으므로 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 p에서가 q에서보다 크다.

ㄷ. 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같고, 중력에 의한 위치 에너지는 p에서가 q에서보다 작다. 따라서 물체의 운동 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다. 따라서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 p에서와 q에서가 같다.

ㄹ. 물체에 작용하는 중력의 크기는 일정하므로 물체의 가속도의 크기는 p에서와 q에서가 같다.

09 ㄴ. 수평면에 도달하는 순간 연직 방향 속력은 A와 B가 같고, 수평 방향 속력은 A가 B보다 크다(B의 수평 방향 속력은 0이므로). 따라서 수평면에 도달하는 순간 속력은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄱ. A를 수평 방향으로 던지는 순간 속도의 연직 성분은 0이다. 수평면으로부터 높이가 h인 지점에서 속도의 연직 성분은 A와 B가 모두 0이고, A와 B의 가속도는 중력 가속도로 같으므로 수평면에는 A와 B가 동시에 도달한다.

ㄷ. 매 순간 연직 방향 속력은 A와 B가 같고 수평 방향 속력은 A가 B보다 크다. 따라서 등가속도 운동을 하는 매 순간 속력은 A가 B보다 크다. 질량은 A와 B가 같으므로 높이가 같은 지점에서 중력에 의한 위치 에너지는 A와 B가 같고, 운동 에너지는 A가 B보다 크다. 그러므로 수평면으로부터 높이가 같은 지점에서 물체의 역학적 에너지는 A가 B보다 크다.

10 q에서 물체의 운동 에너지를 E_0이라고 하면, p에서 물체의 운동 에너지는 $2E_0$이다. 물체의 질량을 m이라고 하면, $\frac{1}{2}m{v_q}^2=E_0$이다. 중력 가속도를 g라고 하면 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $2E_0=mg\left(\frac{3}{2}h\right)+E_0=mgh+\frac{1}{2}m{v_r}^2$이 성립한다. 이를 정리하면, $E_0=\frac{3}{2}mgh$이므로 $\frac{1}{2}m{v_q}^2=\frac{3}{2}mgh$에서

$v_q=\sqrt{3gh}$이다. 또한 $\frac{1}{2}mv_r^2=2E_0-mgh=2mgh$에서 $v_r=\sqrt{4gh}$이다. 따라서 $v_q : v_r=\sqrt{3} : 2$이다.

11 ㄴ. R에서 중력에 의한 위치 에너지가 0이다. 따라서 R에서 역학적 에너지는 P에서의 운동 에너지와 같은 $\frac{1}{2}mv_0^2$이다.

바로알기 ㄱ. Q에서 속도의 연직 성분은 0이지만 수평 성분은 $v_0\cos45°=\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$이다. 따라서 Q에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{\sqrt{2}}v_0\right)^2=\frac{1}{4}mv_0^2$이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 힘은 중력뿐이므로 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 P, Q, R에서 역학적 에너지는 모두 같다.

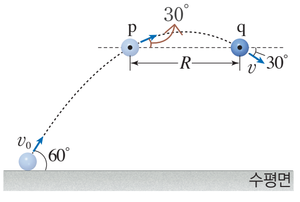
12 모범 답안 물체의 질량을 m, p의 높이를 h라고 하면 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}mv^2=mgh+\frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2$이 성립하여 $v=\sqrt{4gh}$이다. 따라서 $E_1=\frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2=\frac{1}{4}mv^2=mgh$이고, $E_2=mgh$이므로 $E_1 : E_2=1 : 1$이다.

채점 기준	배점
$E_1 : E_2$를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
$E_1 : E_2$만 옳게 쓴 경우	30 %

실력 UP 문제 29쪽

01 ① **02** ③ **03** ④ **04** ③

01 꼼꼼 문제 분석



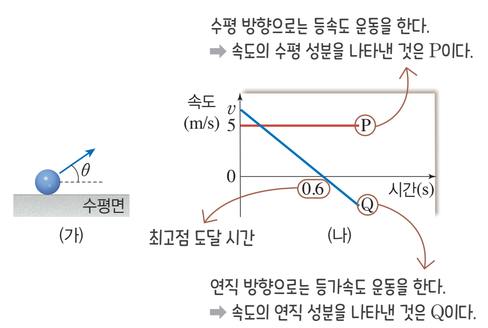
• 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, p와 q의 높이는 같으므로 속도의 연직 성분의 크기는 p에서와 q에서가 같다.
➡ p에서 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각은 30°이다.
• p에서 최고점까지 운동하는 데 걸린 시간은 최고점에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간과 같다.

ㄱ. 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 일정하므로 $v_0\cos60°=v\cos30°$이다. 따라서 $v=\frac{\sqrt{3}}{3}v_0$이다.

바로알기 ㄴ. 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각은 p에서와 q에서가 30°로 같다. 따라서 p에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 $v\sin30°=\frac{1}{2}v=\frac{\sqrt{3}}{6}v_0$이다. 수평면에서 물체를 던진 순간부터 물체가 p에 도달할 때까지 걸린 시간을 t_1이라고 하면, $v_0\sin60°-gt_1=v\sin30°$이므로 $gt_1=\frac{\sqrt{3}}{2}v_0-\frac{\sqrt{3}}{6}v_0$에서 $t_1=\frac{\sqrt{3}v_0}{3g}$이다.

ㄷ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 물체의 속도의 연직 성분의 변화량의 크기는 $2v\sin30°=\frac{\sqrt{3}}{3}v_0$이다. 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 t_2라고 하면, 물체의 가속도의 크기는 g이므로 $t_2=\frac{2v\sin30°}{g}=\frac{\sqrt{3}v_0}{3g}$이다. 따라서 $R=v_0\cos60°\times t_2=\frac{1}{2}v_0\times\frac{\sqrt{3}v_0}{3g}=\frac{\sqrt{3}v_0^2}{6g}$이다.

02 꼼꼼 문제 분석

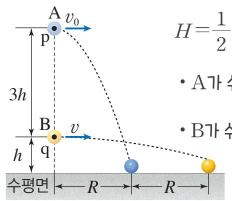


ㄱ. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다. 따라서 (나)에서 물체의 속도의 연직 성분을 나타낸 것은 Q이다.

ㄴ. 0.6초일 때 물체의 속도의 연직 성분은 0이고, 가속도의 크기는 10 m/s²이므로 $10=\frac{v}{0.6}$에서 $v=6$ m/s이다. 속도의 수평 성분의 크기는 5 m/s이므로 $\tan\theta=\frac{6}{5}$이다.

바로알기 ㄷ. 물체가 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간이 0.6초이므로 수평면에 도달하는 데 걸리는 시간은 1.2초이다. 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 5 m/s로 일정하므로 수평 도달 거리는 5 m/s × 1.2 s = 6 m이다.

03 꼼꼼 문제 분석



$H=\frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t=\sqrt{\frac{2H}{g}}$

• A가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간: $\sqrt{\frac{8h}{g}}$

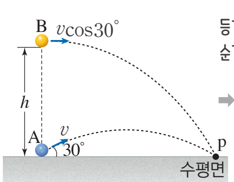
• B가 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간: $\sqrt{\frac{2h}{g}}$

ㄱ. 물체가 수평 방향으로 던져진 순간 속도의 연직 성분은 0이다. 수평면으로부터의 높이는 p가 q보다 크므로 물체가 수평 방향으로 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 B보다 크다.

ㄷ. $E_A=4mgh+\frac{1}{2}mv_0^2=4mgh+\frac{1}{2}m(\sqrt{gh})^2=\frac{9}{2}mgh$이고, $E_B=mgh+\frac{1}{2}mv^2=mgh+\frac{1}{2}m(4\sqrt{gh})^2=9mgh$이다. 따라서 $E_B=2E_A$이다.

바로알기 ㄴ. 중력 가속도를 g, A, B의 질량을 m이라고 하면, p에서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 A의 운동 에너지의 8배이므로 $mg(4h)=\frac{1}{2}mv_0^2\times 8$에서 $v_0=\sqrt{gh}$이다. A, B가 수평 방향으로부터 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간을 각각 t_A, t_B라고 하면, $t_A=\sqrt{\frac{2\times 4h}{g}}=\sqrt{\frac{8h}{g}}$이고 $t_B=\sqrt{\frac{2\times h}{g}}=\sqrt{\frac{2h}{g}}$이다. 따라서 $t_A=2t_B$이고, 수평 도달 거리는 B가 A의 2배이므로 $2v_0t_A=4v_0t_B=vt_B$이다. 그러므로 $v=4v_0$이다.

04 꼼꼼 문제 분석



등가속도 운동을 하는 B가 수평 방향으로 던져진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간

$\Rightarrow \sqrt{\frac{2h}{g}}$

같은 시간 동안 수평 방향으로 이동한 거리는 A와 B가 같다.

➡ 속도의 수평 성분의 크기는 A와 B가 서로 같다.

ㄱ. A의 질량을 m, 수평면에서 A를 던진 속력을 v라고 하면 $\frac{1}{2}mv^2=E_0$이고, A의 최고점에서 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m(v\cos30^\circ)^2=\frac{3}{8}mv^2=\frac{3}{4}E_0$이다. 따라서 A의 최고점에서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 $E_0-\frac{3}{4}E_0=\frac{1}{4}E_0$이다.

ㄴ. 동시에 던져진 A와 B는 수평면의 p에 동시에 도달하므로 수평 방향으로 던져진 B의 속력은 A의 속도의 수평 성분의 크기와 같다. 수평 방향으로 던져진 B의 속력을 v_B라고 하면, $v_B=v\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다. 따라서 수평 방향으로 던지는 순간 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(2m)v_B^2=\frac{3}{4}mv^2=\frac{3}{2}E_0$이다.

바로알기 ㄷ. 동시에 던진 A와 B는 수평면의 p에 동시에 도달하므로 $\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{v\sin30^\circ}{g}\times 2$에서 $h=\frac{v^2}{2g}$이다. 따라서 B의 역학적 에너지는 $2mgh+\frac{1}{2}(2m)v_B^2=mv^2+\frac{3}{2}E_0=2E_0+\frac{3}{2}E_0=\frac{7}{2}E_0$이다.

03 등속 원운동과 진자 운동

개념 확인 문제

32쪽

❶ 속력 ❷ 가속도 ❸ 주기 ❹ $\frac{v}{r}$ ❺ $\frac{2\pi r}{v}$ ❻ 구심력 ❼ 중심 ❽ 중력 ❾ 중력

1 (1) × (2) ○ (3) ○ **2** (1) 크다 (2) 크다 (3) 0.2 **3** (1) $\frac{\pi}{4}$ (2) 8 (3) $\frac{\pi^2}{4}$ (4) $\frac{\pi^2}{2}$ **4** 12배 **5** (가) 중력, (나) 전기력 **6** (1) × (2) × (3) ○

1 (1) 등속 원운동은 속력은 일정하고 운동 방향은 계속 변하는 가속도 운동이다.

(2) 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 일정하므로 물체의 가속도의 크기는 일정하다.

(3) 등속 원운동을 하는 물체의 운동 방향은 원 궤도의 접선 방향이고, 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 원 궤도의 중심 방향이므로 물체의 속도와 가속도의 방향은 서로 수직이다.

2 (1) 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 $v=r\omega$로 반지름과 각속도 크기의 곱이다. 따라서 각속도가 일정할 때 반지름이 클수록 속력이 크다.

(2) 구심 가속도의 크기는 $a=\dfrac{v^2}{r}$으로 속력의 제곱에 비례하고 반지름에 반비례한다. 따라서 속력이 일정할 때 반지름이 작을수록 구심 가속도의 크기가 크다.

(3) 진동수와 주기는 서로 역수 관계이므로 주기는 $\dfrac{1}{5\text{ Hz}}=0.2$초이다.

3 (1) $\omega=\dfrac{v}{r}=\dfrac{\pi}{4}$(rad/s)이다.

(2) $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\dfrac{2\pi\times 4}{\pi}=8$(초)이다.

(3) $a=\dfrac{v^2}{r}=\dfrac{\pi^2}{4}$(m/s²)이다.

(4) $F=ma=\dfrac{mv^2}{r}=\dfrac{2\times\pi^2}{4}=\dfrac{\pi^2}{2}$(N)이다.

4 A의 구심 가속도의 크기는 $\dfrac{4\pi^2(3r)}{T^2}=12\dfrac{\pi^2 r}{T^2}$이고, B의 구심 가속도의 크기는 $\dfrac{4\pi^2 r}{(2T)^2}=\dfrac{\pi^2 r}{T^2}$이다. 따라서 구심 가속도의 크기는 A가 B의 12배이다.

5 (가)에서는 지구가 달에 작용하는 중력이 구심력 역할을 하고, (나)에서는 원자핵이 전자에 작용하는 전기력이 구심력 역할을 한다.

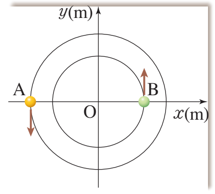
6 (1) 물체의 속력은 최고점 A, B에서 0이고, 최저점 O에서 최대이다.
(2) 최저점에서 가속도의 크기는 최소이지만, 0은 아니다.
(3) 최저점에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 최소이다.

대표 자료 분석

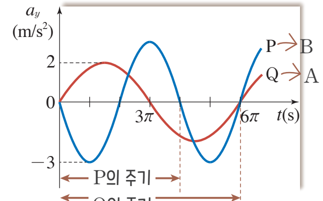
33쪽

1 $\dfrac{3}{2}$배 **2** 2 m/s² **3** (1) $-y$ (2) $+x$ (3) 크다 **4** (1) ○ (2) × (3) ×

꼼꼼 문제 분석



(가)



(나)

- 주기는 Q가 P의 $\dfrac{3}{2}$배이다. ➡ 각속도의 크기는 P가 Q의 $\dfrac{3}{2}$배이다.
- P의 가속도의 크기는 3 m/s²이고, Q의 가속도의 크기는 2 m/s²이다.

1 P의 주기는 4π초이고, Q의 주기는 6π초이다. $T=\dfrac{2\pi r}{v}=\dfrac{2\pi}{\omega}$이므로 주기와 각속도의 크기는 서로 반비례한다. 따라서 각속도의 크기는 P가 Q의 $\dfrac{3}{2}$배이다.

2 주기는 Q가 P의 $\dfrac{3}{2}$배이므로 각속도의 크기는 P가 Q의 $\dfrac{3}{2}$배이다. P, Q의 반지름을 각각 r_P, r_Q라 하고, 각속도의 크기를 각각 ω_P, ω_Q라고 하자. a_y의 최댓값은 P가 Q의 $\dfrac{3}{2}$배이므로 $\dfrac{3}{2}=\dfrac{r_\text{P}{\omega_\text{P}}^2}{r_\text{Q}{\omega_\text{Q}}^2}$이고, 이를 정리하면, $\dfrac{r_\text{P}}{r_\text{Q}}=\dfrac{2}{3}$이다. (가)에서 원 궤도의 반지름은 A가 B보다 크므로 A의 a_y를 나타낸 것은 Q이다. 따라서 A의 가속도의 크기는 2 m/s²이다.

3 (나)에서 P는 B, Q는 A의 a_y를 나타낸다.
(1) $t=0$ 직후 A의 a_y는 $+y$ 방향으로 크기가 증가한다. 등속 원운동을 하는 물체의 가속도 방향은 원의 중심 방향이므로 A는 시계 반대 방향으로 회전한다. 따라서 $t=0$일 때 A의 운동 방향은 $-y$ 방향이다.
(2) $t=0$ 직후 B의 a_y는 $-y$ 방향으로 크기가 증가한다. 따라서 $t=0$일 때 B의 운동 방향은 $+y$ 방향이다. 즉, B는 시계 반대 방향으로 회전한다. $t=3\pi$초일 때, B의 a_y는 $+y$ 방향이므로 B의 운동 방향은 $+x$ 방향이다.
(3) A, B의 원 궤도의 반지름을 각각 r_A, r_B라고 하자. (가)에서와 같이 $t=0$일 때 A와 B 사이의 거리는 $r_\text{A}+r_\text{B}$이다. $t=6\pi$초일 때 A의 위치는 $(-r_\text{A},\ 0)$이고 B의 위치는 $(-r_\text{B},\ 0)$이므로 A와 B 사이의 거리는 $r_\text{A}-r_\text{B}$이다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 $t=0$일 때가 $t=6\pi$초일 때보다 크다.

4 (1) A는 시계 반대 방향으로 회전한다. $t=3\pi$초일 때 A의 a_y는 0이고, $t=3\pi$초가 지난 직후 a_y는 $-y$ 방향으로 크기가 증가하므로 $t=3\pi$초일 때 A는 $(r_A, 0)$를 $+y$ 방향으로 지난다.

(2) A의 가속도의 크기는 2 m/s^{2}이므로 $2=r_A\omega_A{}^2=r_A\left(\frac{2\pi}{6\pi}\right)^2$이다. 따라서 $r_A=18$ m이므로 A의 속력은 $r_A\omega_A=18\times\frac{1}{3}=6$(m/s)이다.

(3) A와 B는 모두 시계 반대 방향으로 회전한다. $t=6\pi$초일 때 A의 위치는 $(-r_A, 0)$이고 B의 위치는 $(-r_B, 0)$이므로 A와 B의 운동 방향은 $-y$ 방향으로 서로 같다.

내신 만점 문제

34쪽~36쪽

01 ①	02 ⑤	03 ④	04 ②	05 ②	06 ①
07 해설 참조		08 ③	09 해설 참조		10 ①
11 해설 참조		12 ④	13 ⑤		

01 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 원의 중심 방향으로 작용하는 구심력이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘을 가장 적절하게 나타낸 것은 ①이다.

02 ㄴ. 원운동의 주기는 1바퀴 회전하는 데 걸린 시간이다. 따라서 주기는 $\frac{4초}{10}=0.4$초이다.

ㄷ. 자동차는 0.4초 동안 1바퀴 회전하므로 자동차의 속력은 $\frac{10\pi}{0.4}=25\pi$(m/s)이다.

바로알기 ㄱ. 1바퀴를 회전하는 동안 이동한 거리는 $2\pi r=2\pi\times5=10\pi$(m)이다.

03 ㄱ. A가 2바퀴 회전하는 동안 B는 1바퀴 회전하므로 각속도의 크기는 A가 B의 2배이다.

ㄴ. 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 $v=r\omega$ (r: 원 궤도의 반지름, ω: 각속도의 크기)이다. 각속도의 크기와 원 궤도의 반지름 모두 A가 B보다 크므로 속력은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄷ. 구심 가속도의 크기는 $a=r\omega^2$이다. 각속도의 크기는 A가 B의 2배이고 반지름은 A가 B보다 크므로 구심 가속도의 크기는 A가 B의 4배보다 크다.

04 ㄴ. p에서의 주기는 $\frac{2\pi r}{v}$이고 q에서의 주기는 $\frac{2\pi(2r)}{v}=\frac{4\pi r}{v}$이다. 따라서 주기는 q에서가 p에서의 2배이다.

바로알기 ㄱ. p에서의 각속도의 크기는 $\frac{v}{r}$이고, q에서의 각속도의 크기는 $\frac{v}{2r}$이다. 따라서 각속도의 크기는 p에서가 q에서의 2배이다.

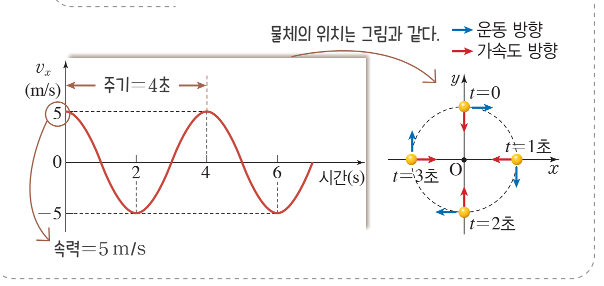
ㄷ. p에서의 구심 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{r}$이고, q에서의 구심 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{2r}$이다. 따라서 구심 가속도의 크기는 p에서가 q에서의 2배이다.

05 ㄴ. 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 원 궤도의 반지름과 각속도의 크기의 곱이다. 따라서 A와 B의 속력은 $2r\omega$로 같다.

바로알기 ㄱ. 등속 원운동을 하는 물체의 주기와 각속도의 크기는 반비례 관계이다. 각속도의 크기는 A가 B의 2배이므로 주기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. A의 질량을 $2m$이라고 하면, B의 질량은 m이다. A에 작용하는 구심력의 크기는 $2mr(2\omega)^2=8mr\omega^2$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $m(2r)\omega^2=2mr\omega^2$이다. 따라서 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A가 B의 4배이다.

06 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. $T=\frac{2\pi r}{v}$에서 $r=\frac{Tv}{2\pi}$이다. 원운동의 주기는 4초이고, 속력은 5 m/s이므로 원 궤도의 반지름은 $\frac{4\times5}{2\pi}=\frac{10}{\pi}$(m)이다.

바로알기 ㄴ. 2초일 때 물체의 운동 방향은 $-x$ 방향이고, 4초일 때 물체의 운동 방향은 $+x$ 방향이다. 3초일 때 $v_x=0$이므로 물체의 운동 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력의 방향은 원 궤도의 중심인 원점을 향하는 방향이다. 2초일 때 물체의 위치는

$\left(0,\ -\dfrac{10}{\pi}\right)$이고, 4초일 때 물체의 위치는 $\left(0,\ \dfrac{10}{\pi}\right)$이다. 따라서 2초일 때 물체에 작용하는 구심력의 방향은 $+y$ 방향이고 4초일 때 물체에 작용하는 구심력의 방향은 $-y$ 방향이므로, 물체에 작용하는 구심력의 방향은 2초일 때와 4초일 때가 서로 반대이다.

07 등속 원운동을 하는 A, B 각각에 연결된 물체의 질량은 같으므로 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A와 B가 같다.

모범 답안 구심력의 크기는 A와 B가 같으므로 A, B의 주기를 각각 T_A, T_B라고 하면, $\dfrac{4\pi^2 mr}{T_A{}^2}=\dfrac{4\pi^2(2m)(2r)}{T_B{}^2}$이다. 이를 정리하면, $T_B=2T_A$이므로 주기는 B가 A의 2배이다.

채점 기준	배점
A와 B의 주기를 구심력을 이용하여 옳게 비교한 경우	100 %
A와 B의 주기만 옳게 비교한 경우	30 %

08 ㄷ. 등속 원운동의 주기를 T라고 하면,

$NMg\sin\theta=\dfrac{4\pi^2 mL\sin\theta}{T^2}$에서 $T=\sqrt{\dfrac{4\pi^2 mL}{NMg}}\propto\sqrt{\dfrac{L}{N}}$ 이다.

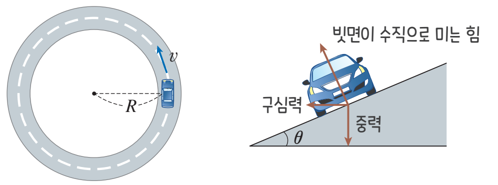
따라서 $T_1>T_2>T_3$이다.

바로알기 ㄱ. 추 1개의 질량을 M, 추의 개수를 N, 중력 가속도를 g라고 하면 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 $NMg\sin\theta$이다. Ⅰ, Ⅱ에서 유리관과 실이 이루는 각은 θ로 같으므로 추의 개수가 많을수록 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 크다. 따라서 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 Ⅰ에서가 Ⅱ에서보다 작다.

ㄴ. 고무마개의 질량을 m, 등속 원운동을 하는 고무마개의 속력을 v라고 하면, 추의 개수에 따른 고무마개에 작용하는 구심력의 크기는 $NMg\sin\theta=\dfrac{mv^2}{L\sin\theta}$이다. 이를 정리하면,

$v=\sqrt{\dfrac{NMgL\sin^2\theta}{m}}$ 이다. L은 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 크므로 고무마개의 속력은 Ⅱ에서가 Ⅲ에서보다 크다.

09 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

자동차에 작용하는 힘은 중력과 빗면이 수직으로 미는 힘이고, 두 힘의 합력이 원형 도로의 중심 방향으로 자동차에 작용하는 구심력이다.

모범 답안 자동차에 작용하는 구심력의 크기를 f, 자동차의 질량을 m이라고 하면, $\tan\theta=\dfrac{f}{mg}$이므로 $f=mg\tan\theta$이다. $f=\dfrac{mv^2}{R}$이므로 $\dfrac{v^2}{R}=g\tan\theta$이다. 이를 정리하면, $R=\dfrac{v^2}{g\tan\theta}$이다.

채점 기준	배점
R을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
R만 옳게 쓴 경우	30 %

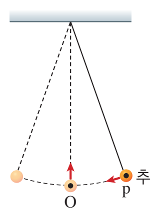
10 ㄱ. 추의 속력은 최하점인 O에서 최대이고, 양끝에서 최소(0)이다.

바로알기 ㄴ. 추에 작용하는 알짜힘은 추에 작용하는 중력과 실이 추를 당기는 힘(장력)의 합력이다. 따라서 추에 작용하는 알짜힘의 크기는 계속 변하므로 O에서와 p에서 같지 않다.

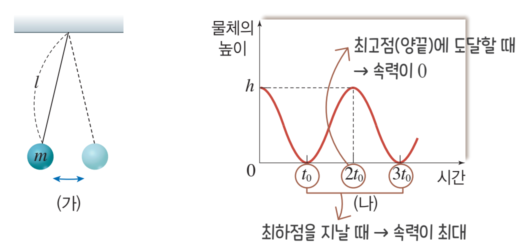
ㄷ. O에서 추에는 실이 추를 당기는 힘과 중력이 작용한다. 따라서 O에서 추에 작용하는 알짜힘은 실이 추를 당기는 힘과 추에 작용하는 중력의 차이다.

11 O에서 추에 작용하는 힘은 실이 추를 당기는 힘과 중력이다. 추는 O를 지난 직후 위로 올라가므로 O에서 실이 추를 당기는 힘의 크기는 추에 작용하는 중력의 크기보다 크다. 따라서 추에 작용하는 알짜힘의 방향은 실이 추를 당기는 방향과 같다. p는 최고점이므로 p에서 추의 속력은 0이고, p에 도달한 직후 접선 방향으로 운동하므로 p에서 추에 작용하는 알짜힘의 방향은 접선 아래 방향이다.

답



12 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

ㄱ. 실에 매달려 왕복 운동하는 물체의 가속도의 크기는 최고점에서 최대이고 최하점에서 최소이다. t_0일 때 물체는 최하점을 지나고, $2t_0$일 때 물체는 최고점에 도달한다. 따라서 가속도의 크기는 t_0일 때가 $2t_0$일 때보다 작다.
ㄷ. $2t_0$일 때 물체는 최고점에 도달하므로 물체의 운동 방향은 t_0일 때와 $3t_0$일 때가 서로 반대이다.
바로알기 ㄴ. 물체의 속력은 양끝(최고점)에서 0이고 최하점에서 최대이다. $2t_0$부터 $3t_0$까지 물체의 높이가 낮아지므로 속력은 증가한다.

13 ㄱ. 물체에 작용하는 중력의 방향은 연직 아래 방향이다. 따라서 실에 매달린 물체가 운동하는 동안 물체에 작용하는 중력의 방향은 일정하다.
ㄷ. 물체의 속력은 최하점에서 최대이고 최고점에서 0이다. $\theta_1 > \theta_2$이므로 최하점으로부터의 높이는 p에서가 q에서보다 크다. 따라서 물체의 속력은 p에서가 q에서보다 작다.
바로알기 ㄴ. O를 지난 물체는 올라가는 방향으로 운동하므로 O에서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 실이 물체를 당기는 방향, 즉 중력의 방향과 반대 방향이다.

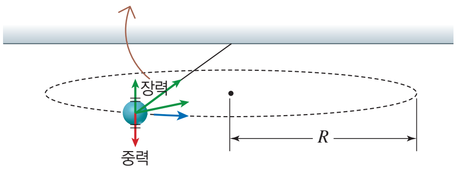
실력 UP 문제 37쪽

01 ③ **02** ② **03** ② **04** ③

01 ㄱ. p와 q는 일직선을 이루고 A와 B가 등속 원운동을 하므로 각속도의 크기는 A와 B가 같다.
ㄴ. A, B의 각속도의 크기를 ω라고 하면, A에 작용하는 구심력의 크기는 $2m(2r)\omega^2 = 4mr\omega^2$이고 B에 작용하는 구심력의 크기는 $m(3r)\omega^2 = 3mr\omega^2$이다. 따라서 물체에 작용하는 구심력의 크기는 A가 B의 $\frac{4}{3}$배이다.
바로알기 ㄷ. p가 A에 작용하는 힘의 크기를 F_p, q가 B에 작용하는 힘의 크기를 F_q라고 하자. q가 A에 작용하는 힘의 크기와 q가 B에 작용하는 힘의 크기는 같고, A에 작용하는 구심력의 크기는 $4mr\omega^2$이므로 $4mr\omega^2 = F_p - F_q$이다. q가 B에 작용하는 힘은 B에 작용하는 구심력이므로 $F_q = 3mr\omega^2$이다. 이를 정리하면, $F_p = 4mr\omega^2 + 3mr\omega^2 = 7mr\omega^2$이다. 따라서 p가 A에 작용하는 힘의 크기는 q가 B에 작용하는 힘의 크기의 $\frac{7}{3}$배이다.

02 꼼꼼 문제 분석

장력을 연직 성분과 수평 성분으로 분해하여 물체에 작용하는 힘을 분석한다.

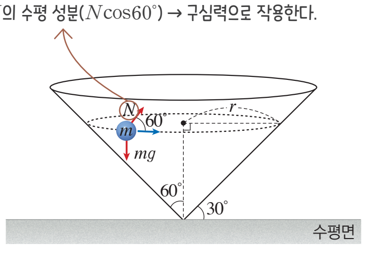


- 장력(실이 물체를 당기는 힘)의 연직 성분의 크기는 중력의 크기와 같고, 수평 성분은 구심력과 같다.
- 구심력이 알짜힘으로 작용하여 물체가 등속 원운동을 한다.
- 구심력의 크기^2 + 중력의 크기^2 = 장력의 크기^2

물체의 질량을 m이라고 하면, 물체에 작용하는 중력의 크기가 mg이므로 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 $2mg$이다. 물체에 작용하는 구심력의 크기를 f라고 하면, $f^2 + (mg)^2 = (2mg)^2$에서 $f = \sqrt{3}mg$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $a = \frac{f}{m} = \sqrt{3}g$이다. 물체의 주기는 T이므로 $\frac{4\pi^2 mR}{T^2} = \sqrt{3}mg$에서 $R = \frac{\sqrt{3}gT^2}{4\pi^2}$이다.

03 꼼꼼 문제 분석

- N의 연직 성분($N\sin 60°$) → 중력(mg)과 힘의 평형을 이룬다.
- N의 수평 성분($N\cos 60°$) → 구심력으로 작용한다.



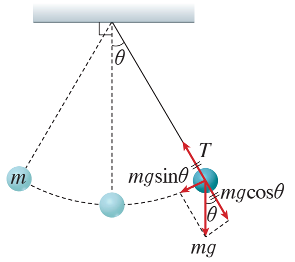
ㄴ. 물체의 속력을 v라고 하자.
$N\cos 60° = \frac{mv^2}{r}$이므로 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg = \frac{mv^2}{r}$이다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{r} = \frac{\sqrt{3}}{3}g$이다.
바로알기 ㄱ. 원뿔면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라고 하면, $N\sin 60° = mg$이다. 이를 정리하면, $N = \frac{2}{\sqrt{3}}mg = \frac{2\sqrt{3}}{3}mg$이다.

ㄷ. 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{\sqrt{3}}{6}mgr$이다.

수평면으로부터 물체의 높이는 $r\tan 30°=\frac{\sqrt{3}}{3}r$이므로 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 $\frac{\sqrt{3}}{3}mgr$이다. 따라서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 운동 에너지의 2배이다.

04 꼼꼼 문제 분석

최고점에서 실에 매달린 물체에 작용하는 알짜힘의 분석



실에 매달린 물체의 질량을 m, 최고점에서 실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T라고 하자.

- 최고점에서 물체의 속력은 0이므로 $T=mg\cos\theta$이다. ➡ 최고점에서 물체에 작용하는 힘의 실과 나란한 성분은 0이다.
- 최고점에서 물체에 작용하는 힘의 운동 경로의 접선 성분의 크기는 $mg\sin\theta$이다. ➡ 최고점에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta$이다.

ㄷ. t_0일 때 B의 운동 에너지는 0이므로 t_0일 때 B는 최고점을 지난다. B의 무게를 W라고 하자.
최고점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 운동 경로상의 접선 방향이고, 실이 연직 방향과 이루는 각의 최댓값은 θ이므로 t_0일 때 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $W\sin\theta$이다. 따라서 t_0일 때, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

바로알기 ㄱ. 물체가 최하점을 지날 때 속력이 최대이므로 최하점에서 물체의 운동 에너지는 최대이다. A가 1회 왕복하는 동안 최하점을 2회 지나므로 A가 1회 왕복하는 데 걸린 시간은 $4t_0$이다.
ㄴ. 실에 매달려 왕복 운동하는 물체의 가속도의 크기는 최고점에서 최대이고, 최하점에서 최소이다.
t_0일 때 A의 운동 에너지는 최대이므로, t_0일 때 A는 최하점을 지난다. $2t_0$일 때 A의 운동 에너지는 0이므로 $2t_0$일 때 A는 최고점을 지난다. 따라서 A의 가속도의 크기는 t_0일 때가 $2t_0$일 때보다 작다.

중단원 핵심 정리 38쪽~39쪽

❶ 스칼라량 ❷ 벡터량 ❸ $A\sin\theta$ ❹ 합성 ❺ 중력
❻ 등가속도 ❼ 등속도 ❽ 중력 ❾ 등속도
❿ $\frac{v_0^2\sin 2\theta}{g}$ ⓫ $v_0\cos\theta$ ⓬ $v_0\sin\theta$ ⓭ 보존 ⓮ $\frac{2\pi}{\omega}$
⓯ C ⓰ C

중단원 마무리 문제 40쪽~43쪽

01 ①	**02** ③	**03** ①	**04** ④	**05** ⑤	**06** ②
07 ⑤	**08** ⑤	**09** ②	**10** ③	**11** ②	**12** ③
13 해설 참조		**14** 해설 참조		**15** 해설 참조	
16 해설 참조					

01 ㄱ. $+x$ 방향으로 작용하는 F_2의 크기는 $10\times\cos 60°=5$(N)이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $10\text{ N}-5\text{ N}=5\text{ N}$이다.
바로알기 ㄴ. F_1의 크기(10 N)가 F_2의 x성분(5 N)의 크기보다 크므로 물체의 가속도의 방향은 $-x$ 방향이다.
ㄷ. 물체의 질량은 5 kg이므로 가속도의 크기는 $\frac{5\text{ N}}{5\text{ kg}}=1\text{ m/s}^2$이다.

02 ㄷ. 빗면에 수직인 방향으로 빗면으로부터 A가 받는 힘의 크기는 $mg\cos 60°=\frac{1}{2}mg$이고 B가 받는 힘의 크기는 $mg\cos 30°=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다.
따라서 빗면에 수직인 방향으로 빗면으로부터 물체가 받는 힘의 크기는 A가 B보다 작다.
바로알기 ㄱ. A가 놓여 있는 빗면의 경사각이 60°이므로 A의 가속도의 크기는 $10\times\sin 60°=5\sqrt{3}(\text{m/s}^2)$이다.
ㄴ. B의 질량을 m, 중력 가속도를 g, B에 작용하는 마찰력의 크기를 f라고 하자.
B는 정지해 있으므로 $f=mg\sin 30°=\frac{1}{2}mg$이다. 따라서 B에 작용하는 마찰력의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기(mg)보다 작다.

03 ㄱ. (나)에서 A와 B의 가속도의 크기는 $\frac{6\text{ m/s}}{2\text{ s}}=3\text{ m/s}^2$이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T라고 하면, $20-T=2\times3$에서 $T=14$ N이다.

바로알기 ㄴ. B의 질량을 m이라고 하면 B에 작용하는 힘의 관계는 $T-m\times10\times\sin30°=m\times3$이므로 $m=\frac{7}{4}$ kg이다.

ㄷ. B에 작용하는 중력과 빗면이 B에 작용하는 힘의 합력은 B에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 성분의 크기이므로 $\frac{7}{4}\times10\times\sin30°=\frac{35}{4}$(N)이다.

04 ㄱ. v_y가 0일 때, 물체는 최고점을 지난다. 따라서 2초일 때 물체는 최고점을 지난다.

ㄷ. 0초일 때, v_x와 v_y는 20 m/s으로 같으므로 $\tan\theta_1=1$이다. 6초일 때, v_y의 크기는 v_x의 크기의 2배이므로 $\tan\theta_2=2$이다. 따라서 $\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2}=\frac{1}{2}$이다.

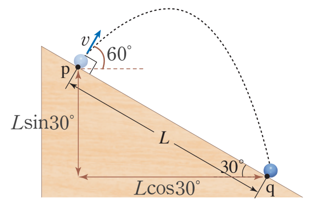
바로알기 ㄴ. 0초부터 6초까지 변위의 y성분은 $20\times2\times\frac{1}{2}-40\times4\times\frac{1}{2}=-60$(m)이다. 따라서 $h=60$ m이다.

05 ㄱ. A와 B가 수평 방향으로 던져진 지점의 높이가 같으므로 물체가 p에서 던져진 순간부터 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A와 B가 같다.

ㄴ. A가 지면에 도달하는 순간 A의 운동 방향이 지면과 이루는 각은 45°이므로 지면에 도달하는 순간 A의 속도의 수평 성분의 크기와 연직 성분의 크기는 같다. p에서 A의 속도의 수평 성분의 크기는 10 m/s이므로 지면에 도달하는 순간 속도의 연직 성분의 크기는 10 m/s이다. 물체가 p에서 던져진 순간부터 지면에 도달할 때까지 걸린 시간을 t라고 하면, $10\text{ m/s}=10\text{ m/s}^2\times t$이므로 $t=1$초이다. 따라서 $h=\frac{1}{2}\times10\text{ m/s}^2\times(1\text{ s})^2=5$ m이다.

ㄷ. 지면에 도달하는 순간 A의 속도의 크기는 $\sqrt{10^2+10^2}=10\sqrt{2}$(m/s)이다. 물체가 p에서 던져진 순간부터 지면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A와 B가 같고, 수평 이동 거리는 B가 A의 2배이므로 지면에 도달하는 순간 B의 속도의 수평 성분의 크기는 20 m/s이다. 지면에 도달하는 순간 속도의 연직 성분의 크기는 A와 B가 10 m/s로 같으므로 지면에 도달하는 순간 B의 속도의 크기는 $\sqrt{10^2+20^2}=10\sqrt{5}$(m/s)이다. 따라서 지면에 도달하는 순간, 속력은 B가 A의 $\sqrt{\frac{5}{2}}$배이다.

06 꼼꼼 문제 분석



- p에서 물체는 수평 방향에 대해 60°의 각을 이루며 던져진다.
- p에서 q까지 물체가 수평 방향으로 등속도 운동을 하며 이동한 변위의 크기는 $L\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}L$이다.
- p에서 q까지 물체가 연직 방향으로 등가속도 운동을 하며 이동한 변위의 크기는 $L\sin30°=\frac{1}{2}L$이다.

p에서 q까지 수평 거리는 $L\cos30°=\frac{\sqrt{3}}{2}L$이고, p와 q 사이의 높이 차는 $L\sin30°=\frac{1}{2}L$이다. p에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 $v\cos60°=\frac{1}{2}v$이므로 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $\frac{1}{2}vt=\frac{\sqrt{3}}{2}L$에서 $t=\frac{\sqrt{3}L}{v}$이다. p와 q 사이의 높이 차는 $\frac{1}{2}L$이므로 $v\sin60°t-\frac{1}{2}gt^2=-\frac{1}{2}L$이 성립하여 $v=\sqrt{\frac{3}{4}gL}$이다.

07 ㄴ. q에서 물체의 운동 방향이 x축과 이루는 각은 45°이므로 q에서 물체의 속도의 x성분의 크기와 y성분의 크기는 같다. 물체는 x축과 나란한 방향으로 등속도 운동을 하므로 p에서 물체의 속력이 v라면, q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+v^2}=\sqrt{2}v$이다. 따라서 물체의 속력은 q에서가 p에서의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄷ. 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, $R=vt$이다. 물체는 y축과 나란한 방향으로 등가속도 운동을 하므로 p에서 q까지 연직 방향의 평균 속도의 크기는 $\frac{0+v}{2}=\frac{v}{2}$이고, $L=\frac{1}{2}vt$이다. 따라서 $R=2L$이다.

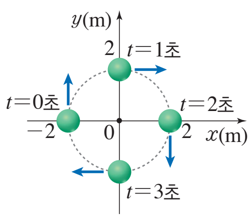
바로알기 ㄱ. xy평면이 수평면과 이루는 각은 30°이므로 xy평면에서 운동하는 물체의 가속도의 크기는 $g\sin30°=\frac{1}{2}g$이다.

08 ㄱ. t일 때, 물체의 속도의 x성분은 0이므로 물체는 x축상의 $x=2$ m인 지점을 지난다. 등속 원운동을 하는 물체의 가속도 방향은 원의 중심을 향하는 방향이므로 물체의 가속도 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. 물체의 속력은 6 m/s이고, 원 궤도의 반지름은 2 m이므로 각속도의 크기는 $\frac{6\text{ m/s}}{2\text{ m}}=3\text{ rad/s}$이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $0.5\text{ kg}\times2\text{ m}\times(3\text{ rad/s})^2=9\text{ N}$이다.

09 ㄴ. 물체의 각속도의 크기는 $\frac{1}{2}\pi$ rad/s이고, 속력은 π m/s이므로 원 궤도의 반지름은 $\frac{\pi}{\left(\frac{\pi}{2}\right)}=2(\text{m})$이다.

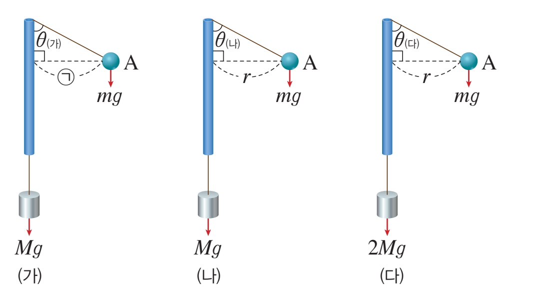


$t=0$초일 때 $v_x=0$이고, $v_y=\pi$ m/s이므로 물체는 x축상을 $+y$ 방향으로 지난다. $t=1$초일 때 $v_y=0$이고 $v_x=\pi$ m/s이므로 물체는 y축상을 $+x$ 방향으로 지난다. 따라서 물체의 운동 방향은 시계 방향이다.
$t=2$초일 때 $v_x=0$이고 $v_y=-\pi$ m/s이므로 물체의 위치는 x축상의 $x=2$ m인 지점이다.

바로알기 ㄱ. 물체의 주기는 4초이므로 각속도의 크기는 $\frac{2\pi}{4}=\frac{1}{2}\pi(\text{rad/s})$이다.

ㄷ. $t=5$초일 때, $v_x=\pi$ m/s이고 $v_y=0$이므로 물체의 위치는 y축상의 $y=2$ m인 지점이다. 따라서 $t=5$초일 때 물체에 작용하는 구심력의 방향은 $-y$ 방향이다.

10 꼼꼼 문제 분석



- 추의 무게는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같으므로 (가)에서 $Mg\cos\theta_{(가)}=mg$이고, (나)에서 $Mg\cos\theta_{(나)}=mg$이다. 따라서 $\theta_{(가)}=\theta_{(나)}$이다.
- A에 작용하는 구심력의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 수평 성분의 크기이다.

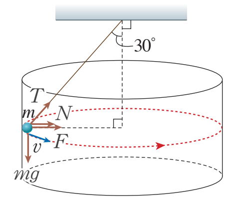
ㄷ. A에 작용하는 구심력의 크기는 (나)에서 $Mg\sin\theta_{(나)}=\frac{m(2v)^2}{r}$이고, (다)에서 $2Mg\sin\theta_{(다)}=\frac{m㉡^2}{r}$이다. 추의 질량은 (나)에서가 (다)에서보다 작고, $\theta_{(나)}<\theta_{(다)}$이므로 A에 작용하는 구심력의 크기는 (나)에서가 (다)에서보다 작다.

따라서 $\frac{m(2v)^2}{r}<\frac{m㉡^2}{r}$이므로 ㉡$>2v$이다.

바로알기 ㄱ. 추의 질량은 (가)에서와 (나)에서 같으므로 A에 작용하는 구심력의 크기는 (가)에서와 (나)에서 같다. A의 질량을 m이라고 하면, $\frac{mv^2}{㉠}=\frac{m(2v)^2}{r}$이므로 ㉠은 $\frac{1}{4}r$이다.

ㄴ. (나), (다)에서 실이 연직 방향과 이루는 각을 각각 $\theta_{(나)}$, $\theta_{(다)}$라고 하면, (나)에서 $Mg\cos\theta_{(나)}=mg$이고 (다)에서 $2Mg\cos\theta_{(다)}=mg$이다. $Mg\cos\theta_{(나)}=2Mg\cos\theta_{(다)}$이므로 $\theta_{(나)}<\theta_{(다)}$이다. 따라서 실이 연직 방향과 이루는 각은 (나)에서가 (다)에서보다 작다.

11 꼼꼼 문제 분석



실이 물체를 당기는 힘, 원기둥이 물체에 작용하는 힘, 물체에 작용하는 중력의 합력은 물체에 작용하는 구심력이다. 이때 실이 물체를 당기는 힘의 수평 성분의 크기와 원기둥에 물체에 작용하는 힘의 크기의 합은 물체에 작용하는 구심력의 크기와 같고, 실이 물체를 당기는 힘의 연직 성분의 크기는 물체에 작용하는 중력의 크기와 같다.

실이 물체를 당기는 힘의 크기를 T, 물체에 작용하는 구심력의 크기를 F라고 하자. $T\cos30^\circ=mg$에서 $T=\frac{2}{\sqrt{3}}mg$이다.

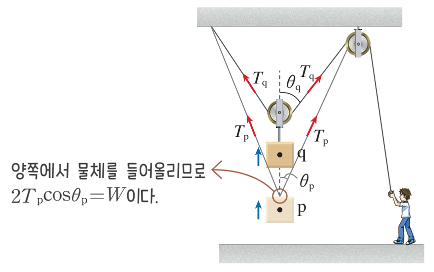
물체에 작용하는 구심력의 크기는 원기둥이 물체에 작용하는 힘의 크기의 3배이므로 원기둥이 물체에 작용하는 힘의 크기를 N이라고 하면, $F=T\sin30^\circ+N=3N$이다. 따라서 $N=\frac{1}{2\sqrt{3}}mg=\frac{\sqrt{3}}{6}mg$이고, $F=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다. 원 궤도의 반지름을 r이라고 하면, $\frac{mv^2}{r}=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$이므로 $r=\frac{2\sqrt{3}v^2}{3g}$이다.

12 ㄷ. A, B의 무게를 각각 W_A, W_B라고 하자. 추의 최고점에서 추에 작용하는 알짜힘의 크기는 최대이다. 따라서 A에 작용하는 알짜힘의 크기의 최댓값은 $W_A\sin\theta$이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기의 최댓값은 $W_B\sin\theta$이다. $W_A<W_B$이므로 추에 작용하는 알짜힘의 크기의 최댓값은 A가 B보다 작다.

바로알기 ㄱ. 실에 매달려 진자 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘과 속력은 주기적으로 변한다. 따라서 A와 B는 가속도가 변하는 운동을 한다.

ㄴ. 물체가 진자 운동을 할 때, 최하점에서 물체에 작용하는 힘은 실이 물체를 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력이다. 따라서 최하점에서 B에 작용하는 알짜힘의 방향은 실이 B를 당기는 힘의 방향과 같다.

13 꼼꼼 문제 분석

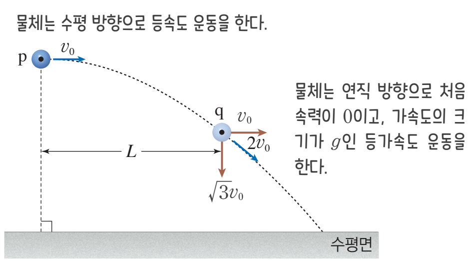


물체가 p에서 q로 이동하면서 실이 연직 방향과 이루는 각이 커진다.
➡ 실이 물체를 당기는 힘의 크기가 증가한다.

모범 답안 물체가 p, q를 지나는 순간 도르래에 연결된 실이 연직 방향과 이루는 각을 각각 θ_p, θ_q라고 하자. 물체의 무게를 W라고 하면, $W = 2T_p\cos\theta_p = 2T_q\cos\theta_q$이다. $\theta_p < \theta_q$이므로 $\cos\theta_p > \cos\theta_q$이고 $T_p < T_q$이다.

채점 기준	배점
T_p와 T_q를 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
T_p와 T_q만 옳게 비교한 경우	30 %

14 꼼꼼 문제 분석



모범 답안 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 q에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 v_0이다. 따라서 q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기는 $\sqrt{3}v_0$이다. 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 T라고 하면, $\sqrt{3}v_0 = gT$에서 $T = \frac{\sqrt{3}v_0}{g}$이다. 따라서 $L = v_0 \times \frac{\sqrt{3}v_0}{g} = \frac{\sqrt{3}v_0^2}{g}$이다.

채점 기준	배점
L을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
L만 옳게 쓴 경우	30 %

15 모범 답안 A의 속력이 v에서 $2v$로 증가하는 동안 실이 A를 당기는 힘의 크기는 일정하다. 즉, A에 작용하는 구심력의 크기는 일정한 상태에서 속력이 증가하므로 원 궤도의 반지름은 증가한다. 따라서 B의 운동 방향은 $+y$ 방향이다.

채점 기준	배점
B의 운동 방향을 까닭과 함께 옳게 서술한 경우	100 %
B의 운동 방향만 옳게 쓴 경우	30 %

16 모범 답안 최하점에서 물체에 작용하는 알짜힘은 실이 물체를 당기는 힘과 물체에 작용하는 중력의 합력이다. 이때 알짜힘이 구심력으로 작용하므로 최하점에서 물체의 속력을 v라고 하면, $\frac{mv^2}{l} = 3mg - mg = 2mg$에서 $v = \sqrt{2gl}$이다.

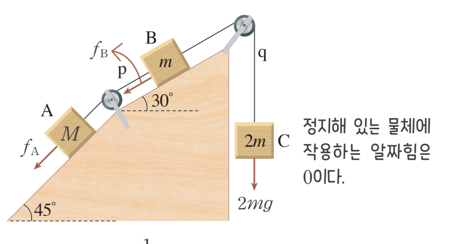
채점 기준	배점
최하점에서 물체의 속력을 중력과 실이 물체를 당기는 힘의 합력이 구심력임을 이용하여 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
최하점에서 물체의 속력만 옳게 쓴 경우	30 %

중단원 고난도 문제

44쪽~45쪽

01 ⑤	02 ③	03 ⑤	04 ⑤	05 ⑤	06 ④
07 ③	08 ⑤				

01 꼼꼼 문제 분석



$f_B = mg\sin30° = \frac{1}{2}mg$

$f_A = Mg\sin45° = \frac{\sqrt{2}}{2}Mg$

선택지 분석

ㄱ. 질량은 A가 C보다 크다.

~~ㄴ~~. p가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기보다 크다. 작다

ㄷ. p를 끊은 직후, C의 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$이다.

전략적 풀이 ❶ 정지해 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 0임을 적용한다.

ㄱ. A의 질량을 M이라고 하면, $Mg\sin45^\circ+mg\sin30^\circ=2mg$이다. 따라서 $M=\frac{3\sqrt{2}}{2}m$이므로 질량은 A가 C보다 크다.

ㄴ. A, B에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기를 각각 f_A, f_B라고 하자. p가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기와 같으므로 p가 B를 당기는 힘의 크기는 f_A이고, q가 B를 당기는 힘의 크기는 f_A+f_B이다. 따라서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기보다 작다.

❷ 빗면에서 운동하는 물체에 작용하는 중력의 빗면에 나란한 성분의 크기를 바탕으로 등가속도 운동을 하는 물체의 가속도를 구한다.

ㄷ. p를 끊은 직후 B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2mg-mg\sin30^\circ=\frac{3}{2}mg$이므로 B, C의 가속도의 크기는 $\frac{\frac{3}{2}mg}{m+2m}=\frac{1}{2}g$이다.

❷ (나)에서 A에 작용하는 알짜힘을 구하여, 가속도의 방향과 가속도의 크기를 알아낸다.

ㄴ. $F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg>mg\sin30^\circ=\frac{1}{2}mg$이므로 (나)에서 A의 가속도의 방향은 빗면과 나란한 위 방향이다. 따라서 (나)에서 A에 작용하는 알짜힘은 $ma=F-mg\sin30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{3}mg-\frac{1}{2}mg=\frac{2\sqrt{3}-3}{6}mg$이므로 $a=\frac{2\sqrt{3}-3}{6}g$이다.

ㄷ. (가), (나)에서 빗면이 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각 N_1, N_2라고 하자. (가)에서

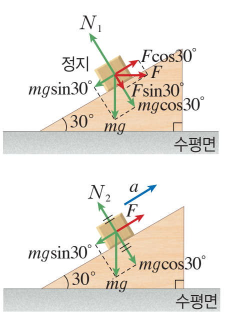
$N_1=F\sin30^\circ+mg\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{6}mg+\frac{\sqrt{3}}{2}mg=\frac{2\sqrt{3}}{3}mg$이고,

(나)에서 $N_2=mg\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$이다. 따라서 빗면이 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

02 꼼꼼 문제 분석

(가)

(나)



(가)
- 빗면에 나란한 방향: $mg\sin30^\circ=F\cos30^\circ$
- 빗면에 수직인 방향: $N_1=mg\cos30^\circ+F\sin30^\circ$

(나)
- 빗면에 나란한 방향: $F>mg\sin30^\circ$
- 빗면에 수직인 방향: $N_2=mg\cos30^\circ$

선택지 분석

~~ㄱ~~. $F=\frac{\sqrt{3}}{4}mg$이다. $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$

~~ㄴ~~. $a=\frac{\sqrt{2}}{6}g$이다. $\frac{2\sqrt{3}-3}{6}g$

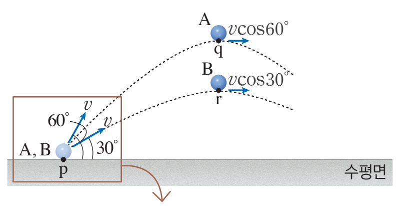
ㄷ. 빗면이 A에 작용하는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{4}{3}$배이다.

전략적 풀이 ❶ (가)에서 정지해 있는 A에 작용하는 힘을 분석한다.

ㄱ. (가)에서 A는 정지해 있으므로 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 합력은 0이다. 따라서 $mg\sin30^\circ=F\cos30^\circ$에서 $F=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$이다.

03 꼼꼼 문제 분석

최고점의 높이는 A가 B보다 크므로 p에서 속도의 연직 방향 성분의 크기는 A가 B보다 크다.



수평면에서 비스듬히 던져진 물체의 발사 속력이 같고, 발사각의 합이 90°일 때 두 물체의 수평 도달 거리는 같다.

최고점에서 속도의 연직 성분은 0이므로 최고점에서 물체의 속력은 p에서 속도의 수평 성분의 크기와 같다.

선택지 분석

ㄱ. r에서 B의 속력은 q에서 A의 속력의 $\sqrt{3}$배이다.

~~ㄴ~~. 높이는 q가 r의 2배이다. 3배

ㄷ. 수평 도달 거리는 A와 B가 같다.

전략적 풀이 ❶ 최고점에서 물체의 속력을 비교한다.

ㄱ. 포물선 운동을 하는 물체의 최고점에서 속도의 연직 성분은 0이다. 포물선 운동을 하는 물체의 속도의 수평 성분은 일정하므로 q에서 A의 속력은 $v\cos60^\circ=\frac{1}{2}v$이고, r에서 B의 속력은 $v\cos30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}v$이다. 따라서 r에서 B의 속력은 q에서 A의 속력의 $\sqrt{3}$배이다.

❷ 물체를 던질 때 물체의 속도의 연직 성분과 최고점 높이의 관계를 알아낸다.

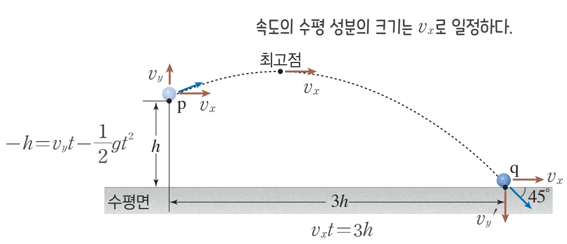
ㄴ. q의 높이는 $\frac{(v\sin60^\circ)^2}{2g}=\frac{3v^2}{8g}$이고, r의 높이는 $\frac{(v\sin30^\circ)^2}{2g}=\frac{v^2}{8g}$이다. 따라서 높이는 q가 r의 3배이다.

❸ 수평면에서 비스듬히 던져진 물체의 수평 도달 거리를 구할 수 있다.

ㄷ. A의 수평 도달 거리는 $\frac{v^2\sin(2\times60^\circ)}{g}=\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$이고, B의 수평 도달 거리는 $\frac{v^2\sin(2\times30^\circ)}{g}=\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}$이다. 따라서 수평 도달 거리는 A와 B가 같다.

다른 풀이 ㄷ. A, B의 수평면에서 발사된 속력이 v로 같고, A와 B의 발사각의 합은 90°이므로 수평 도달 거리는 A와 B가 같다.

04 꼼꼼 문제 분석



• 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, 물체의 변위의 수평 성분은 $3h$이므로 $v_xt=3h$이다.
• 물체는 연직 방향으로 등가속도 운동을 하고, 물체의 변위의 연직 성분은 $-h$이므로 $-h=v_yt-\frac{1}{2}gt^2$이다.

선택지 분석

ㄱ. 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 p에서와 q에서 같다.
ㄴ. p에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 연직 성분의 크기의 3배이다.
ㄷ. 최고점의 높이는 $\frac{9}{8}h$이다.

전략적 풀이 ❶ 물체의 속도의 수평 성분과 연직 성분을 구할 수 있다.

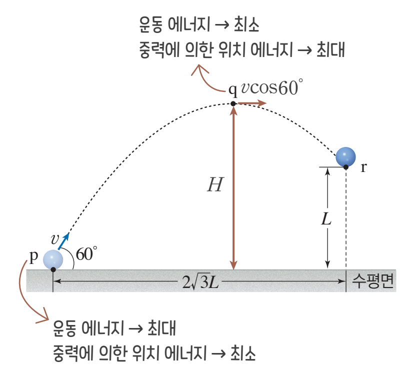
ㄱ. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 p에서와 q에서 같다.

ㄴ. p에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 v_x, 속도의 연직 성분의 크기를 v_y라고 하자. 물체가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 t라고 하면, p에서 q까지 수평 거리는 $3h$이므로 $v_xt=3h$ … ①이다. q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 v_y'라고 하면, $-v_y'=v_y-gt$ … ②이다. p의 높이는 h이므로 $-h=v_yt-\frac{1}{2}gt^2$ … ③이다. q에서 물체의 운동 방향이 수평면과 이루는 각은 45°이므로 $v_x=v_y'$이고, ②에서 $v_x=-v_y+gt$ … ④이다. ④를 ①에 대입하여 정리하면, $3h=-v_yt+gt^2$ … ⑤이다. ③과 ⑤를 정리하면, $2v_yt=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t=\frac{4v_y}{g}$이다. 이를 ④에 대입하여 정리하면, $v_x=-v_y+g\left(\frac{4v_y}{g}\right)$이므로 $v_x=3v_y$이다. 따라서 p에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 연직 성분의 크기의 3배이다.

❷ 수평면에서 비스듬히 던져진 물체의 최고점의 높이를 구할 수 있다.

ㄷ. $t=\frac{4v_y}{g}=\frac{4v_x}{3g}$이고, 이를 ①에 대입하여 정리하면 $v_x\left(\frac{4v_x}{3g}\right)=3h$에서 $h=\frac{4v_x^2}{9g}$이다. $v_y=\frac{1}{3}v_x$이므로 p로부터 최고점까지의 높이를 h'이라고 하면, $h'=\frac{v_y^2}{2g}=\frac{v_x^2}{18g}=\frac{1}{8}h$이다. 따라서 최고점의 높이는 $h+h'=h+\frac{1}{8}h=\frac{9}{8}h$이다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. 물체의 운동 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.
ㄴ. $v=\sqrt{4gL}$이다. $\sqrt{\frac{24}{5}gL}$
ㄷ. q의 높이는 $\frac{9}{5}L$이다.

전략적 풀이 ❶ 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 포물선 운동을 하는 물체의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지 변화를 설명할 수 있다.

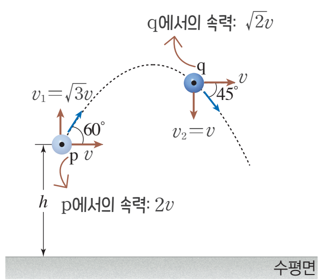
ㄱ. 물체의 역학적 에너지는 p에서와 q에서가 같고, 중력에 의한 위치 에너지는 p에서가 q에서보다 작다. 따라서 운동 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.

❷ 수평 방향의 등속도 운동과 연직 방향의 등가속도 운동을 적용하여 물체의 속력과 최고점의 높이를 구할 수 있다.

ㄴ. p에서 r까지 수평 거리는 $2\sqrt{3}L$이고 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다. 따라서 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $t=\dfrac{2\sqrt{3}L}{v\cos60^\circ}=\dfrac{4\sqrt{3}L}{v}$이다. r의 높이는 L이므로 $L=v\sin60^\circ t-\dfrac{1}{2}gt^2=\dfrac{\sqrt{3}}{2}v\left(4\sqrt{3}\dfrac{L}{v}\right)-\dfrac{1}{2}g\left(4\sqrt{3}\dfrac{L}{v}\right)^2=6L-\dfrac{24gL^2}{v^2}$이다. 이를 정리하면, $v=\sqrt{\dfrac{24}{5}gL}$ 이다.

ㄷ. 최고점의 높이를 H라고 하면, $H=\dfrac{(v\sin60^\circ)^2}{2g}=\dfrac{3v^2}{8g}$이다. $v=\sqrt{\dfrac{24}{5}gL}$ 이므로 $H=\dfrac{9}{5}L$이다.

06 꼼꼼 문제 분석



역학적 에너지는 p에서와 q에서 서로 같다.

선택지 분석

① $\dfrac{1}{4}h$ ② $\dfrac{1}{3}h$ ③ $\dfrac{2}{5}h$

④ $\dfrac{1}{2}h$ ⑤ $\dfrac{2}{3}h$

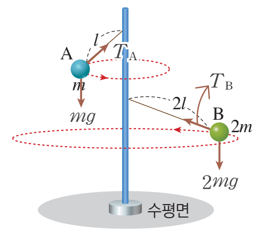
전략적 풀이 ❶ 포물선 운동을 하는 물체의 운동 방향이 수평 방향과 이루는 각을 통해 물체의 속력을 구한다.

p, q에서 물체의 속도의 수평 성분의 크기는 같다. 물체의 속도의 수평 성분의 크기를 v라 하고, p, q에서 물체의 속도의 연직 성분의 크기를 각각 v_1, v_2라고 하자. $\tan60^\circ=\dfrac{v_1}{v}=\sqrt{3}$에서 $v_1=\sqrt{3}v$이고, $\tan45^\circ=\dfrac{v_2}{v}=1$에서 $v_2=v$이다. 따라서 p에서 물체의 속력은 $\sqrt{(\sqrt{3}v)^2+v}=2v$이고 q에서 물체의 속력은 $\sqrt{v^2+v^2}=\sqrt{2}v$이다.

❷ 역학적 에너지 보존 법칙을 적용한다.

물체의 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 질량을 m이라고 하면 $2E_0+mgh=\dfrac{1}{2}m(\sqrt{2}v)^2+3E_0$ ⋯ ①이다. p에서 물체의 운동 에너지는 $2E_0$이므로 $2E_0=\dfrac{1}{2}m(2v)^2=2mv^2$에서 $E_0=mv^2$ ⋯ ②이다. ①, ②를 정리하면, $mgh-mv^2=E_0$에서 $E_0=\dfrac{1}{2}mgh$이다. q에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 $3E_0$이므로 q의 높이는 $\dfrac{3}{2}h$이다. 따라서 p와 q의 높이 차는 $\dfrac{3}{2}h-h=\dfrac{1}{2}h$이다.

07 꼼꼼 문제 분석



• A에 작용하는 중력과 실이 A를 당기는 힘의 합력은 A에 작용하는 구심력이다.
• B에 작용하는 중력과 실이 B를 당기는 힘의 합력은 B에 작용하는 구심력이다.

선택지 분석

ㄱ. 속력은 A가 B보다 작다.
ㄴ. A에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $\sqrt{2}mg$이다.
ㄷ. B에 작용하는 구심력의 크기는 $2\sqrt{5}mg$이다. $2\sqrt{7}mg$

전략적 풀이 ❶ 등속 원운동을 하는 A와 B의 속력을 구할 수 있다.

ㄱ. 원운동의 반지름은 A가 B보다 작고, 각속도의 크기는 A와 B가 같으므로 $v=r\omega$에 의해 속력은 A가 B보다 작다.

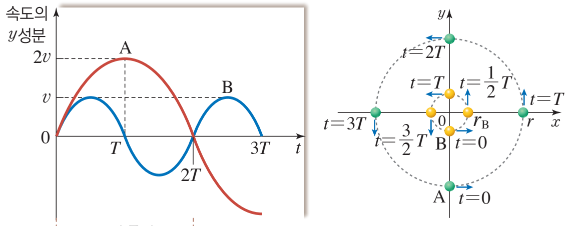
❷ A, B에 작용하는 구심력을 구할 수 있다.

ㄴ. A에 작용하는 구심력의 크기는 mg이고, A에 작용하는 중력의 크기는 mg이다. 따라서 A에 연결된 실이 A를 당기는 힘의 크기를 T_A라고 하면, $T_A=\sqrt{(mg)^2+(mg)^2}=\sqrt{2}mg$이다.

ㄷ. A에 연결된 실이 연직 방향과 이루는 각을 θ라고 하자. A의 각속도의 크기를 ω라고 하면, A에 작용하는 구심력의 크기는 $ml\omega^2\sin\theta$이다. 따라서 $T_A\sin\theta=ml\omega^2\sin\theta$이므로 $T_A=ml\omega^2=\sqrt{2}mg$이다. 각속도의 크기는 A와 B가 같고, B에 연결된 실의 길이는 $2l$이므로 B에 연결된 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T_B라고 하면, $T_B=(2m)(2l)\omega^2=4\sqrt{2}mg$이다. B에 작용하는 구심력의 크기를 F라고 하면, B에 작용하는 중력의 크기는 $2mg$이므로 $T_B{}^2=(2mg)^2+F^2=(4\sqrt{2}mg)^2$이다. 이를

정리하면 $F=2\sqrt{7}mg$이므로, B에 작용하는 구심력의 크기는 $2\sqrt{7}mg$이다.

08 꼼꼼 문제 분석



[A, B의 운동 방향이 모두 시계 반대 방향일 때]

- A의 속도의 y성분이 0일 때, A는 y축상에 위치한다. ➡ A의 반지름을 r이라고 하면, 시간 $t=0$일 때 A의 위치는 $(0, r)$ 또는 $(0, -r)$이다. $t=T$일 때 A의 속도의 x성분은 0이고 A의 운동 방향은 $+y$ 방향이다.
- B의 반지름을 r_B라고 하면, $t=0$일 때 B의 위치는 $(0, r_B)$ 또는 $(0, -r_B)$이다. $t=\frac{1}{2}T$일 때 B의 속도의 x성분은 0이고 B의 운동 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 시간에 따라 A, B의 위치를 xy평면에 나타내면 그림과 같다.

선택지 분석

~~ㄱ~~. 각속도의 크기는 A가 B의 2배이다. $\frac{1}{2}$배

ㄴ. A의 원 궤도 반지름은 $\frac{4vT}{\pi}$이다.

ㄷ. A와 B 사이의 거리는 T일 때가 $2T$일 때보다 작다.

전략적 풀이 ❶ 속도를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 주기와 각속도를 비교할 수 있다.

ㄱ. 주기와 각속도는 서로 반비례한다. 주기는 A가 B의 2배이므로 각속도의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{2}$배이다.

❷ 등속 원운동을 하는 물체의 속력과 주기를 이용하여 원 궤도의 반지름을 구할 수 있다.

ㄴ. A의 주기는 $4T$이고, A의 속력은 $2v$이다. 따라서 A의 원 궤도 반지름은 $\frac{2v(4T)}{2\pi}=\frac{4vT}{\pi}$이다.

❸ 등속 원운동을 하는 물체의 속도의 y성분을 이용하여 시간에 따른 물체의 위치를 설명할 수 있다.

ㄷ. 시간 $t=T$일 때 A의 위치는 $(r, 0)$이고, B의 위치는 $(0, r_B)$이다. $t=2T$일 때 A의 위치는 $(0, r)$이고, B의 위치는 $(0, -r_B)$이다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 T일 때가 $2T$일 때보다 작다. (A와 B 사이의 거리는 A, B의 운동 방향이 시계 방향 또는 시계 반대 방향이어도 관계 없다.)

2 중력의 작용과 등가 원리

01 / 케플러 법칙과 중력

개념 확인 문제 51쪽

❶ 태양 ❷ 면적 속도 일정 법칙 ❸ 빨라 ❹ 느려 ❺ 조화 법칙 ❻ 긴반지름 ❼ 질량 ❽ 제곱 ❾ 중력 ❿ 궤도 반지름 ⓫ 제곱

1 (1) × (2) ○ (3) × **2** (1) $v_a>v_b=v_d>v_c$ (2) $F_a>F_c$
3 $2\sqrt{2}$배 **4** (1) × (2) × (3) ○ **5** (1) 작다 (2) 크다 (3) 크다

1 (1) 케플러 제1법칙에 따르면 모든 행성은 타원 궤도를 따라 태양 주위를 공전한다.
(2) 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따라 태양과 행성을 연결한 선이 일정한 시간 동안 휩쓸고 지나간 면적은 항상 같다.
(3) 케플러 제3법칙(조화 법칙)에 따라 행성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

2 (1) 케플러 제2법칙에 따르면 태양에 가까울수록 행성의 속력이 크다.
(2) 태양으로부터 거리가 가까울수록 행성에 작용하는 중력의 크기는 크다.

3 인공위성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. A, B의 공전 주기를 각각 T_A, T_B라고 하면, $T_A{}^2 : T_B{}^2=a^3 : (2a)^3$이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

4 (1) 중력은 질량을 가진 두 물체 사이에 작용하는 인력이다.
(2) 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례하므로, $F=G\frac{2m^2}{r^2}$이다.
(3) 두 물체 사이의 거리가 2배가 되면, 두 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{1}{4}$배가 된다.

5 (1) $T^2=\frac{4\pi^2}{GM}r^3$이다. 따라서 인공위성 원 궤도의 반지름이 같고, 인공위성의 공전 주기는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 행성의 질량은 A가 B보다 크다.
(2) $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다. 따라서 행성의 질량은 A가 B보다 크므로 인공위성의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

(3) 인공위성의 질량은 같고, 행성의 질량은 A가 B보다 크므로 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

완자쌤 비법특강 52쪽~53쪽

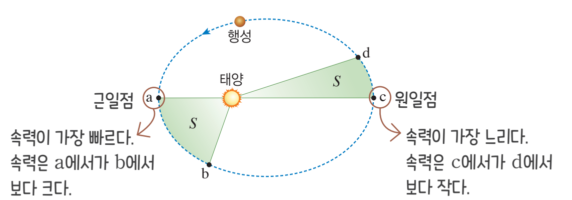
Q1 $2M$

Q1 중력 상수를 G, B의 질량을 M_B, p의 주기를 T라고 하면, $T^2=\dfrac{4\pi^2}{GM}r^3$에서 $M=\dfrac{4\pi^2r^3}{T^2G}$이다. q의 주기는 $2T$이므로 $(2T)^2=\dfrac{4\pi^2}{GM_B}(2r)^3$에서 $M_B=\dfrac{8\pi^2r^3}{T^2G}=2M$이다. 따라서 B의 질량은 $2M$이다.

대표 자료 분석 1 54쪽

1 ㉠ 면적, ㉡ t **2** 2배 **3** $4a$ **4** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

꼼꼼 문제 분석



1 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙)에 따라 일정한 시간 동안 태양과 행성을 연결하는 선분이 만든 면적은 같다. 따라서 면적이 같으면 이동하는 데 걸린 시간도 같다.

2 행성과 태양을 연결한 선분이 지나간 면적이 2배가 되면 걸린 시간도 2배가 된다.

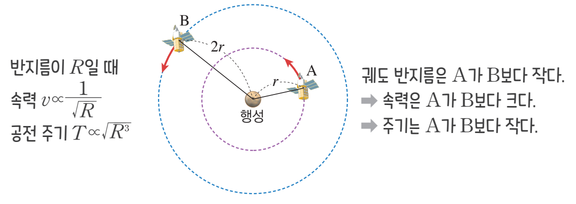
3 케플러 제3법칙에 따라 $T^2\propto a^3$이다. 공전 주기가 $8T$인 행성의 긴반지름을 a'라고 하면 $T^2 : (8T)^2=a^3 : a'^3$이 되어 $a'=4a$이다.

4 (1) 태양에 가까울수록 행성의 속력이 크다. 따라서 태양과 행성 사이의 거리는 a에서 가장 작으므로 속력은 a에서 가장 크다.
(2) 태양에 가까울수록 행성에 작용하는 중력이 크다. 태양과 행성 사이의 거리는 a에서 가장 작으므로 중력의 크기는 a에서 가장 크다.
(3) 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하므로 태양의 위치는 타원 궤도의 두 초점 중 하나이다.
(4) 케플러 법칙은 행성의 운동에 관한 법칙이지만 이후 뉴턴에 의해 중력이 발견되었고, 중력에 의해 운동하는 위성이나 인공위성도 케플러 법칙을 만족한다는 사실을 알게 되었다.
(5) 케플러는 행성들의 운동에 대한 수많은 관측 결과를 분석하여 케플러 법칙을 발표하였을 뿐 행성들이 그러한 운동을 하게 되는 근본 원인에 대해서는 설명할 수 없었다. 이후에 뉴턴이 중력 법칙으로 케플러 법칙을 설명하였다.

대표 자료 분석 2 55쪽

1 ㄱ, ㄹ **2** (1) > (2) < (3) > (4) > **3** $\sqrt{2} : 1$
4 $1 : 2\sqrt{2}$ **5** (1) ○ (2) × (3) ×

꼼꼼 문제 분석



1 행성 주위를 도는 인공위성의 속력 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$이므로 인공위성의 속력(v)에 영향을 주는 요인은 행성의 질량(M)과 행성 중심에서 인공위성까지의 거리(R)이다. 이때 G는 중력 상수로 일정하다.

2 (1) 인공위성의 속력 $v=\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$이므로 $v\propto\dfrac{1}{\sqrt{R}}$이다. 궤도 반지름 R은 A<B이므로 속력 v는 A>B이다.
(2) 인공위성의 공전 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$이므로 $T\propto\sqrt{R^3}$이다. 궤도 반지름 R은 A<B이므로 공전 주기 T는 A<B이다.
(3) 중력 $F=G\dfrac{Mm}{R^2}$이므로 $F\propto\dfrac{1}{R^2}$이다. 궤도 반지름 R은 A<B이므로 중력 F의 크기는 A>B이다.
(4) 가속도의 크기 $a=\dfrac{F}{m}$인데 인공위성 A, B의 질량이 같으므로 $a\propto F$이다. 따라서 중력 F의 크기는 A>B이므로 가속도의 크기는 A>B이다.

3 인공위성의 속력 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$이므로 $v \propto \frac{1}{\sqrt{R}}$이다. 따라서 $v_{\mathrm{A}} : v_{\mathrm{B}} = \frac{1}{\sqrt{r}} : \frac{1}{\sqrt{2r}} = \sqrt{2} : 1$이다.

4 공전 주기 T의 제곱은 궤도 반지름 R의 세제곱에 비례한다. $T^2 \propto R^3$이므로 $T_{\mathrm{A}} : T_{\mathrm{B}} = \sqrt{r^3} : \sqrt{(2r)^3} = 1 : 2\sqrt{2}$이다.

5 (1) 인공위성의 속력 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$이므로 궤도 반지름이 클수록 인공위성의 속력은 느리다.
(2) 인공위성의 속력은 궤도 반지름의 제곱근에 반비례하므로 궤도 반지름이 4배이면 속력은 $\frac{1}{2}$배가 된다.
(3) 인공위성은 행성의 중력에 의해 운동하므로 뉴턴 운동 제2법칙($F=ma$)을 적용하면 $G\frac{Mm}{R^2}=ma$에 의해 $a=G\frac{M}{R^2}$이 된다. 따라서 가속도의 크기 a는 인공위성의 질량 m과는 관계가 없다.

내신 만점 문제

56쪽~58쪽

01 ②	02 ②	03 ③	04 ③	05 ①	
06 해설 참조		07 ⑤	08 ⑤	09 ③	10 ⑤
11 ①	12 해설 참조		13 ⑤	14 ③	

01 ㄴ. 행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 태양으로부터의 거리가 먼 행성일수록 공전 주기가 크다.
바로알기 ㄱ. 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.
ㄷ. 태양과 행성을 연결하는 선분이 같은 시간 동안 휩쓸고 지나간 면적은 일정하다. 따라서 태양과 행성 사이의 거리가 가까울수록 행성의 속력은 빠르다.

02 ㄴ. 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 태양으로부터 거리가 먼 행성일수록 타원 궤도의 긴반지름이 크므로 공전 주기도 크다.
바로알기 ㄱ. 행성들은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하므로 행성들이 공전하는 동안 행성의 속력은 일정하지 않다.
ㄷ. 타원 궤도의 긴반지름이 1 AU인 지구의 공전 주기는 1년이다. 소행성의 긴반지름이 10 AU이므로 소행성의 공전 주기는 $10\sqrt{10}$년이다.

03 ③ 케플러 제3법칙에 따라 행성의 공전 주기(T)의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름(r)의 세제곱에 비례하므로 $T^2 \propto r^3$이다. 따라서 r이 4배가 되면 $T'^2 = k(4r)^3 = (8T)^2$이므로 $T' = 8T$로 8배가 된다.

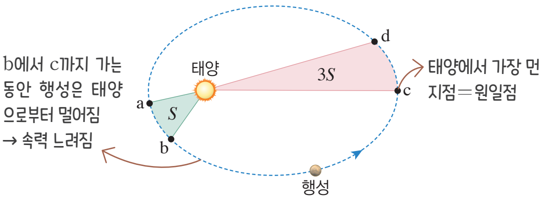
04 ㄷ. 행성의 긴반지름은 태양에 가까운 금성이 지구보다 작으므로 공전 주기는 금성이 지구보다 작다.
바로알기 ㄱ. 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전하므로 태양과 행성 사이의 거리는 일정하지 않다.
ㄴ. 태양으로부터 거리가 멀수록 행성의 가속도의 크기는 작고, 거리가 가까울수록 가속도의 크기는 크다.

05 ㄱ. 태양과 행성 사이의 거리가 가까울수록 행성에 작용하는 중력의 크기는 크다. 따라서 행성에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 q에서보다 크다.
바로알기 ㄴ. 같은 시간 동안 태양과 행성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 같다. 행성이 p에서 q까지와 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 같으므로 S_1과 S_2는 같다.
ㄷ. p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $2T$이므로 행성의 공전 주기는 $4T$이다.

06 모범 답안 $t=\frac{3}{2}T$일 때 행성은 c를 지난다. $t=\frac{7}{4}T$는 행성이 c를 지난 순간으로부터 $\frac{1}{4}T$만큼의 시간이 지난 것이다. 행성이 c에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간은 d에서 a까지 이동하는 데 걸린 시간보다 크다. 따라서 $t=\frac{7}{4}T$일 때 행성의 위치는 c와 d 사이이다.

채점 기준	배점
행성의 위치를 주기를 이용하여 옳게 서술한 경우	100 %
행성의 위치만 옳게 쓴 경우	30 %

07 꼼꼼 문제 분석



행성이 c에서 d까지 이동하는 동안 행성과 태양을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 행성이 a에서 b까지 이동하는 동안 행성과 태양을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적의 3배이다.
➡ 행성이 c에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간은 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간의 3배이다.

ㄱ. 태양과 행성 사이의 거리가 작을수록 행성의 가속도의 크기는 크다. 태양과 행성 사이의 거리는 a에서가 c에서보다 작으므로 행성의 가속도의 크기는 a에서가 c에서보다 크다.
ㄴ. 태양으로부터의 거리는 c에서가 b에서보다 크므로 b에서 c까지 운동하는 동안 행성의 속력은 느려진다.
ㄷ. 같은 시간 동안 태양과 행성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 일정하다. 따라서 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간의 $\frac{1}{3}$배이다.

08 ㄱ. 행성으로부터의 거리는 p에서가 r에서보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 p에서가 r에서보다 크다.
ㄴ. 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 위성이 q에서 r까지 운동할 때와 r에서 s까지 운동할 때가 같다. 따라서 위성이 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $4t_0$이므로 위성의 공전 주기는 $8t_0$이다.
ㄷ. 행성에서 위성까지의 거리는 q에서와 s에서가 같다. 따라서 위성의 속력은 q에서와 s에서가 같다.

09 ㄱ, ㄴ. 태양이 행성에 작용하는 중력과 행성이 태양에 작용하는 중력은 작용 반작용의 관계이므로, 두 힘의 크기는 같고 방향은 서로 반대이다.
바로알기 ㄷ. 태양과 행성 사이의 거리가 작을수록 행성에 작용하는 중력의 크기는 크다. 따라서 태양과 행성 사이의 거리가 r보다 작으면, 행성에 작용하는 중력의 크기는 F보다 크다.

10 ㄴ. 행성과 태양 사이의 거리가 가까울수록 행성의 가속도의 크기는 크다. 행성과 태양 사이의 거리의 최솟값은 A가 B보다 크므로 가속도의 최댓값은 A가 B보다 작다.
ㄷ. 행성의 타원 궤도의 긴반지름은 A가 B보다 크므로 공전 주기는 A가 B보다 크다.
바로알기 ㄱ. A가 공전하는 태양과 A를 연결한 선분이 같은 시간 동안 휩쓸고 지나간 면적은 일정하다. 따라서 A와 태양 사이의 거리가 멀어질수록 A의 속력은 감소하고, A와 태양 사이의 거리가 가까워질수록 A의 속력은 증가하므로 A의 속력은 일정하지 않다.

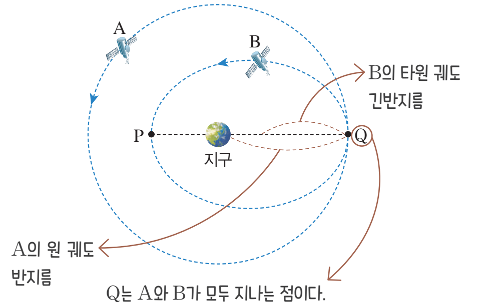
11 ㄱ. 인공위성에 작용하는 알짜힘의 크기는 인공위성에 작용하는 중력의 크기와 같다. 지구와 인공위성 사이의 거리는 일정하므로 인공위성에 작용하는 알짜힘의 크기는 일정하다.
바로알기 ㄴ. 인공위성의 공전 주기는 T이므로 인공위성의 속력은 $\frac{2\pi r}{T}$이다.
ㄷ. 인공위성의 가속도 방향은 지구의 중심을 향하는 방향이므로, 인공위성이 운동하는 동안 인공위성의 가속도 방향은 계속 변한다.

12 모범 답안 지구의 질량을 M, 중력 상수를 G라고 하자. A에 작용하는 구심력의 크기는 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{m{v_A}^2}{r}$에서 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $G\frac{M(2m)}{(4r)^2}=\frac{2m{v_B}^2}{4r}$에서 $v_B=\sqrt{\frac{GM}{4r}}$이다. 따라서 $v_A : v_B=2:1$이다.

채점 기준	배점
속력의 비를 구심력의 크기를 이용하여 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
속력의 비만 옳게 쓴 경우	30 %

13 ⑤ 지구의 질량을 M, 중력 상수를 G라고 하자. A에 작용하는 구심력의 크기는 $2F=G\frac{Mm_A}{r^2}$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $F=G\frac{Mm_B}{4r^2}$이다. 이를 정리하면 $m_A : m_B=1:2$이다. 궤도 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다. 따라서 $T_A : T_B=1:2\sqrt{2}$이다.

14 꼼꼼 문제 분석



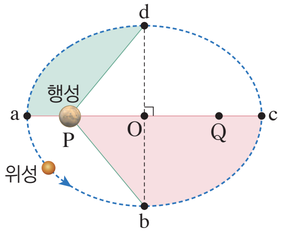
Q는 A와 B가 모두 지나는 점이다.
➡ 지구로부터 Q까지의 거리는 A와 B가 같다.
➡ Q에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례한다.
➡ Q에서 위성의 가속도의 크기는 위성의 질량에 관계없이 같다.

ㄱ. A의 원 궤도 반지름은 B의 타원 궤도의 긴반지름보다 크다. 따라서 공전 주기는 A가 B보다 크다.
ㄴ. 지구로부터의 거리는 P에서가 Q에서보다 작으므로 B의 속력은 P에서가 Q에서보다 크다.
바로알기 ㄷ. Q에서 지구까지의 거리는 A와 B가 같으므로 Q에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

실력 UP 문제 59쪽

01 ② 02 ⑤ 03 ⑤ 04 ①

01 꼼꼼 문제 분석



- 위성의 속력은 b에서가 c에서보다 빠르다.
  ➡ 행성으로부터의 거리는 b가 c보다 작다. 따라서 행성의 위치는 P이다.
- 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 위성이 b에서 c까지 운동할 때가 d에서 a까지 운동할 때보다 크다.
  ➡ 위성이 b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은 d에서 a까지 운동하는 데 걸린 시간보다 크다.

ㄴ. 행성의 위치는 P이므로 위성이 a에서 b까지 이동하는 동안 행성으로부터의 거리는 증가하므로 위성의 가속도의 크기는 감소한다.

바로알기 ㄱ. 케플러 제2법칙에 따라 행성으로부터의 거리가 작을수록 위성의 속력은 빠르다. 위성의 속력은 b에서가 c에서보다 빠르므로 행성으로부터의 거리는 b에서가 c에서보다 작다. 따라서 행성의 위치는 P이다.

ㄷ. 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 위성이 b에서 c까지 운동할 때가 d에서 a까지 운동할 때보다 크다. 따라서 위성이 b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은 d에서 a까지 운동하는 데 걸린 시간보다 크다.

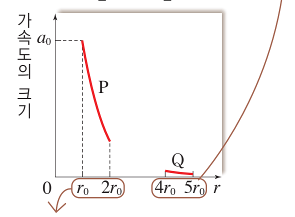
02 ㄱ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고 행성으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. a에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 P가 Q의 2배이므로 질량은 P가 Q의 2배이다.

ㄷ. 공전 주기는 Q가 P의 $2\sqrt{2}$배이므로 타원 궤도의 긴반지름은 Q가 P의 2배이다. P의 공전 궤도의 긴반지름은 $\frac{3}{2}d$이므로 Q의 타원 궤도의 긴반지름은 $3d$이다. a와 c 사이의 거리는 $6d$이므로 b와 c 사이의 거리는 $3d$이다.

바로알기 ㄴ. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다. 행성으로부터의 거리는 b가 a의 2배이므로 P의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 4배이다.

03 꼼꼼 문제 분석

행성의 중심으로부터 Q의 중심까지 가장 가까운 거리는 $4r_0$, 가장 먼 거리는 $5r_0$
➡ Q의 타원 궤도의 긴반지름$=\frac{4r_0+5r_0}{2}=\frac{9}{2}r_0$



행성의 중심으로부터 P의 중심까지 가장 가까운 거리는 r_0, 가장 먼 거리는 $2r_0$
➡ P의 타원 궤도의 긴반지름$=\frac{r+2r_0}{2}=\frac{3}{2}r_0$

ㄴ. 행성에 작용하는 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고 행성으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. P, Q의 질량을 각각 m_1, m_2라고 하면 $2F=k\frac{m_1}{4r_0^2}$이고, $F=k\frac{m_2}{16r_0^2}$이므로 $m_2=2m_1$이다. 따라서 질량은 Q가 P의 2배이다.

ㄷ. P의 타원 궤도의 긴반지름은 $\frac{r_0+2r_0}{2}=\frac{3}{2}r_0$이고, Q의 타원 궤도의 긴반지름은 $\frac{4r_0+5r_0}{2}=\frac{9}{2}r_0$이므로, 타원 궤도의 긴반지름은 Q가 P의 3배이다. 따라서 공전 주기는 Q가 P의 $3\sqrt{3}$배이다.

바로알기 ㄱ. r이 작을수록 위성의 속력은 크다. 따라서 P의 속력은 $r=r_0$일 때가 $r=2r_0$일 때보다 크다.

04 ㄱ. 지구의 질량을 M, 중력 상수를 G라고 하자. 인공위성에 작용하는 중력이 구심력 역할을 하므로 A에 작용하는 구심력의 크기는 $G\frac{Mm}{r^2}$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $G\frac{M(2m)}{9r^2}$이다. 따라서 인공위성에 작용하는 구심력의 크기는 A가 B의 $\frac{9}{2}$배이다.

바로알기 ㄴ. A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하자. A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv_A^2}{r}=G\frac{Mm}{r^2}$에서 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{2mv_B^2}{3r}=G\frac{M(2m)}{9r^2}$에서 $v_B=\sqrt{\frac{GM}{3r}}$이다. 따라서 인공위성의 속력은 A가 B의 $\sqrt{3}$배이다.

ㄷ. 공전 주기의 제곱은 원 궤도 반지름의 세제곱에 비례한다. 원 궤도의 반지름은 B가 A의 3배이므로 공전 주기는 B가 A의 $3\sqrt{3}$배이다.

02 / 탈출 속도

개념 확인 문제 62쪽

❶ 크다 ❷ 탈출 속도 ❸ 질량 ❹ 반지름 ❺ ≥ ❻ 온도
❼ 질량 ❽ 지구 ❾ 목성 ❿ 큰 ⓫ 외력 ⓬ 크다

1 (1) ◯ (2) ◯ (3) × **2** ㉠ $G\frac{Mm}{R}$, ㉡ $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ **3** $\frac{\sqrt{3}}{3}$배
4 ㉠ C, ㉡ A **5** C, D

1 (1), (2) 물체에 중력만 작용하면 역학적 에너지가 보존되므로, 물체의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지의 합인 역학적 에너지가 일정하다. 따라서 물체가 행성으로부터 임의의 위치에서 일정한 거리를 유지하며 운동을 하면 중력에 의한 위치 에너지가 일정하므로 물체의 운동 에너지도 일정하다.
(3) 행성의 중심으로부터 거리가 멀수록 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 크다. 따라서 행성의 중심으로부터 떨어진 거리가 멀어질수록 중력에 의한 위치 에너지는 커진다.

2 행성의 표면에서 탈출 속도로 발사된 물체의 역학적 에너지는 0이므로 $\frac{1}{2}mv^2-G\frac{Mm}{R}=0$에서 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다.

3 질량 M, 반지름 R인 행성에서의 탈출 속도 $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이므로, A의 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{2GM}{3R}}$이고, B의 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. 따라서 A의 탈출 속도는 B의 탈출 속도의 $\frac{\sqrt{3}}{3}$배이다.

4 행성의 반지름이 같을 때 행성의 질량이 클수록 탈출 속도가 크므로 질량이 가장 큰 행성은 C이다. 표면 온도가 높고 탈출 속도가 작은 A에서 질량이 작은 수소 기체가 가장 적게 존재한다.

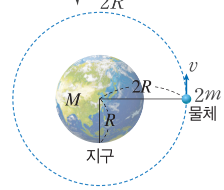
5 기체 분자의 평균 속도가 행성의 탈출 속도보다 작으면 행성의 대기에 존재할 수 있다. 따라서 평균 속도가 20 km/s인 기체 분자가 대기에 포함될 수 있는 행성은 C, D이다.

대표 자료 분석 63쪽

1 $-\frac{3}{4}E_0$ **2** E_0 **3** (1) 같다 (2) 증가 **4** (1) ◯ (2) ◯ (3) ×

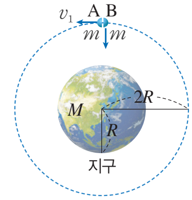
꼼꼼 문제 분석

중력=구심력
$G\frac{M(2m)}{4R^2}=\frac{2mv^2}{2R}$
➡ $v=\sqrt{\frac{GM}{2R}}$



(가)

운동량 보존 법칙에 따라
$2mv=mv_1+0$
➡ $v_1=2v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$



(나)

1 중력 상수를 G, 물체의 질량을 $2m$이라고 하자. 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 $-E_0$이므로 $-E_0=-G\frac{M(2m)}{2R}$이다. 물체의 속력을 v라고 하면, 물체에 작용하는 중력은 구심력과 같으므로 $G\frac{M(2m)}{4R^2}=\frac{2mv^2}{2R}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{2R}}$이다. 따라서 (가)에서 물체의 역학적 에너지는 $-G\frac{M(2m)}{2R}+\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2R}\right)$ $=-G\frac{3Mm}{4R}=-\frac{3}{4}E_0$이다.

2 (가)에서 물체의 질량을 $2m$, 속력을 v, (나)에서 A의 속력을 v_1이라고 하자. 물체가 A, B로 분리되는 순간 운동량 보존 법칙을 적용하면, $2mv=mv_1+0$에서 $v_1=2v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. 따라서 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{2GM}{R}\right)=G\frac{Mm}{R}$ $=E_0$이다.

3 (1) (가)에서 물체는 등속 원운동을 하므로 물체에 작용하는 중력의 크기는 구심력의 크기와 같다.
(2) B가 낙하하는 동안, 지구 중심으로부터의 거리는 감소하므로 B에 작용하는 중력의 크기는 증가한다.

4 (1) 물체가 지구 중심으로부터 $3R$인 곳에서 등속 원운동을 하면 물체에 작용하는 중력은 구심력과 같으므로 $G\frac{M(2m)}{9R^2}$ $=\frac{2mv^2}{3R}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{3R}}$이다.
(2) 지구의 탈출 속도를 v_0이라고 하면 $\frac{1}{2}mv_0^2=G\frac{Mm}{R}$에서 $v_0=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. (나)에서 A의 속력은 $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이므로 A는 지구로부터 매우 먼 지점까지 도달할 수 있다.

(3) B가 지표면에 도달하는 순간 B의 운동 에너지를 E_B라고 하면, B의 역학적 에너지는 보존되므로 $-G\frac{Mm}{2R}=-G\frac{Mm}{R}+E_B$에서 $E_B=G\frac{Mm}{2R}=\frac{1}{2}E_0$이다.

내신 만점 문제 64쪽~66쪽

01 ④	02 ③	03 ④	04 ③	05 ⑤	06 $\sqrt{3}v_0$
07 ④	08 해설 참조		09 ⑤	10 ②	
11 해설 참조		12 ③	13 ①		

01 지구의 질량을 M, 인공위성의 질량을 m이라고 하면, 인공위성의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{r}=-E_0$이다. 인공위성이 원 궤도를 따라 등속 원운동을 할 때 인공위성에 작용하는 중력은 구심력과 같으므로 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 $\frac{1}{2}mv^2=G\frac{Mm}{2r}=\frac{1}{2}E_0$이다.

02 ㄱ. 물체에 작용하는 중력은 행성의 중심을 향하는 방향이므로, 물체가 행성의 표면에서 p에 도달하는 동안 물체에 작용하는 중력의 방향은 물체의 운동 방향과 반대이다.
ㄴ. 물체의 질량을 m이라고 하자. 물체가 행성의 표면에서 발사된 순간부터 p에 도달할 때까지 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}mv^2-G\frac{Mm}{R}=-G\frac{Mm}{2R}$이다. 따라서 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$이다.
바로알기 ㄷ. 행성의 중심으로부터 거리가 멀수록 물체의 중력에 의한 위치 에너지가 크다. 따라서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 행성의 표면에서가 p에서보다 작다.

03 행성의 질량을 M, 중력 상수를 G라 할 때, p에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{4R}=-E_0$에서 $\frac{GM}{R}=\frac{4E_0}{m}$이다. q에서 물체의 속력을 v라고 하면, 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $-G\frac{Mm}{4R}=-G\frac{Mm}{2R}+\frac{1}{2}mv^2$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{2R}}=\sqrt{\frac{2E_0}{m}}$이다.

04 ㄱ. A의 가속도 방향은 행성의 중심을 향한다. 따라서 A의 가속도 방향은 p에서와 q에서가 같다.
ㄴ. A가 행성을 향해 운동하는 동안 A의 역학적 에너지는 보존된다. 중력 상수를 G, 행성의 질량을 M, A, B의 질량을 m이라고 하자. p에서 A의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{3r}$이고, q에서 A의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{r}+\frac{1}{2}mv^2$이다. 이를 정리하면 $-G\frac{Mm}{3r}=-G\frac{Mm}{r}+\frac{1}{2}mv^2$에서 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{2GMm}{3r}$이다.
B의 속력을 v_B라고 할 때, B에 작용하는 중력은 구심력과 같으므로 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv_B^2}{r}$에서 $v_B=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다. 따라서 B의 운동 에너지는 $\frac{GMm}{2r}$이므로 B의 운동 에너지는 q에서 A의 운동 에너지의 $\frac{3}{4}$배이다.
바로알기 ㄷ. p에서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-E_0=-G\frac{Mm}{3r}$이므로, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv_B^2-G\frac{Mm}{r}=-G\frac{Mm}{2r}=-\frac{3}{2}E_0$이다.

05 ㄱ. 위성에 작용하는 중력은 구심력과 같다. 중력 상수를 G, (가), (나)에서 위성의 속력을 각각 $v_{(가)}$, $v_{(나)}$라고 하자. (가)에서 $G\frac{(2M)m}{R^2}=\frac{mv_{(가)}^2}{R}$이므로 $v_{(가)}=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이고, (나)에서 $G\frac{M(2m)}{4R^2}=\frac{2mv_{(나)}^2}{2R}$이므로 $v_{(나)}=\sqrt{\frac{GM}{2R}}$이다. 따라서 위성의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄴ. (가)에서 위성의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{2GM}{R}\right)=G\frac{Mm}{R}$이고, (나)에서 위성의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}(2m)\left(\frac{GM}{2R}\right)=G\frac{Mm}{2R}$이다. 따라서 운동 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
ㄷ. (가), (나)에서 행성의 탈출 속도를 각각 v_1, v_2, 행성의 반지름을 r이라고 하자. (가)에서 $-G\frac{(2M)m}{r}+\frac{1}{2}mv_1^2=0$에서 $v_1=\sqrt{\frac{4GM}{r}}$이고, (나)에서 $-G\frac{M(2m)}{r}+\frac{1}{2}(2m)v_2^2=0$에서 $v_2=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다. 따라서 행성의 탈출 속도는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

06 중력 상수를 G, 행성의 질량을 M, A, B의 질량을 m, A가 행성의 표면에서 발사된 속력을 v라고 하면, A의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}mv^2-G\frac{Mm}{R}=\frac{1}{2}mv_0^2-G\frac{Mm}{2R}$ … ①이다. B는 등속 원운동을 하므로 B에 작용하는 중력은 구심력과 같다. $G\frac{Mm}{4R^2}=\frac{mv_0^2}{2R}$에서 $v_0=\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ … ②이다. 식 ②를

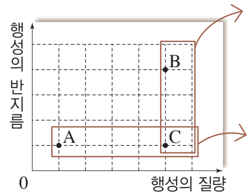
①에 대입하여 정리하면 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2R}\right)+G\frac{Mm}{R}-G\frac{Mm}{2R}=\frac{3GMm}{4R}$이므로 $v=\sqrt{\frac{3GM}{2R}}=\sqrt{3}v_0$이다.

07 ㄱ. P의 탈출 속도는 10 km/s보다 크다. P의 표면에서 연직 위로 5 km/s의 속력으로 발사된 물체는 P로 다시 떨어진다.
ㄷ. 질량은 P와 Q가 같고, 탈출 속도는 P가 Q보다 크다. 따라서 행성의 반지름은 P가 Q보다 작다.
바로알기 ㄴ. 어떤 기체의 평균 속도가 행성의 탈출 속도보다 작으면, 그 기체는 행성의 대기 성분에 존재한다. 따라서 P의 대기에 존재하는 기체는 B와 C이고, Q의 대기에 존재하는 기체는 C이다.

08 모범 답안 탈출 속도는 A가 B보다 작다. 같은 높이에서 동일한 물체를 떨어뜨렸을 때 행성 표면에서의 속력은 A에서가 B에서보다 작으므로 행성의 표면에서 물체의 운동 에너지는 A에서가 B에서보다 작고, 물체를 가만히 놓은 지점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지도 (가)에서가 (나)에서보다 작다. 행성의 표면으로부터 물체를 가만히 놓은 지점의 높이는 (가)에서와 (나)에서가 같으므로 $\sqrt{\frac{\text{행성의 질량}}{\text{행성의 반지름}}}$은 (가)에서가 (나)에서보다 작다. 행성의 탈출 속도는 $\sqrt{\frac{\text{행성의 질량}}{\text{행성의 반지름}}}$에 비례하므로 탈출 속도는 A가 B보다 작다.

채점 기준	배점
행성의 질량과 반지름을 이용하여 탈출 속도를 옳게 비교한 경우	100 %
탈출 속도의 비교만 옳은 경우	30 %

09 꼼꼼 문제 분석



탈출 속도 $\propto \frac{\text{행성의 질량}}{\text{행성의 반지름}}$이므로 행성의 질량이 같으면 탈출 속도는 행성의 반지름이 클수록 작다.
➡ 탈출 속도: B<C

중력의 크기 $\propto \frac{\text{행성의 질량}}{(\text{행성의 반지름})^2}$이므로 행성의 반지름이 같으면 중력의 크기는 행성의 질량이 클수록 크다. ➡ 중력의 크기: A<C

ㄴ. 행성의 중심으로부터 물체까지의 거리가 클수록 물체의 중력에 의한 위치 에너지가 크다. 동일한 물체가 행성의 표면으로부터 같은 높이를 지나는 순간, 행성의 중심으로부터 물체까지의 거리는 B에서가 C에서보다 크다. 따라서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 B에서가 C에서보다 크다.
ㄷ. 행성의 반지름은 B가 C보다 크고 질량은 B와 C가 같으므로 탈출 속도는 B가 C보다 작다.
바로알기 ㄱ. 행성의 표면에 정지해 있는 동일한 물체에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{\text{행성의 질량}}{(\text{행성의 반지름})^2}$에 비례한다. 행성의 반지름은 A와 C가 같고 질량은 A가 C보다 작으므로, 물체에 작용하는 중력의 크기는 A에서가 C에서보다 작다.

10 로켓에 대해 $\frac{1}{2}v_0$의 속력으로 연료가 분출되므로 운동량 보존 법칙을 적용하면 $(m+M)v_0=3Mv_0+m\left(v_0-\frac{1}{2}v_0\right)$이다. 이를 정리하면 $M=\frac{1}{4}m$이므로 $\frac{M}{m}=\frac{1}{4}$이다.

11 모범 답안 A와 B의 운동량의 총합은 (가)에서와 (나)에서가 같다. $(m+2m)v_1=-mv_2+2m(2v_2)$에서 $v_1=v_2$이다. 따라서 $v_1 : v_2=1:1$이다.

채점 기준	배점
속력의 비를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
속력의 비만 옳게 쓴 경우	30 %

12 추진제를 배출한 후 우주선의 속력을 v_1이라고 하면, 우주선의 운동량은 보존되므로 $0=-mv+3mv_1$이다. 따라서 $v_1=\frac{1}{3}v$이다.

13 ㄱ. 로켓의 추진력은 로켓에서 방출된 연료가 로켓을 미는 힘이다. 따라서 로켓의 추진력과 로켓이 연료를 방출하는 힘은 작용 반작용 관계이다.
바로알기 ㄴ. 연료를 방출하기 전 로켓의 운동량은 연료의 운동량과 방출된 연료만큼 질량이 감소한 로켓의 운동량의 합과 같다. 따라서 로켓의 운동량 크기는 연료를 방출한 후가 방출하기 전보다 크므로, 연료를 방출하는 동안 로켓의 운동량 크기는 증가한다.
ㄷ. 지구의 탈출 속도는 로켓의 질량과 관계없다. 행성의 질량이 크고 행성의 반지름이 작을수록 행성의 탈출 속도는 크다.

실력 UP 문제

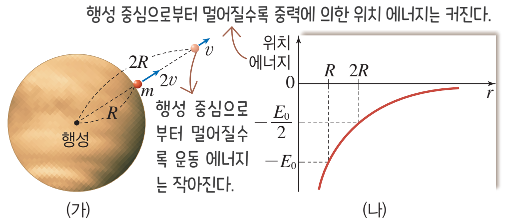
67쪽

01 ⑤ **02** ③ **03** ⑤ **04** ④

01 ㄴ. 중력 가속도 $g=\frac{GM}{R^2}$이다. 따라서 행성으로부터의 거리는 B가 A의 2배이므로, 가속도의 크기는 A가 B의 4배이다.
ㄷ. A의 운동 에너지는 $E_0=\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{r}\right)$이다. B의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{2r}+\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2r}\right)=-G\frac{Mm}{4r}=-\frac{1}{2}E_0$이다.

바로알기 ㄱ. 중력 상수를 G, 행성의 질량을 M, A, B의 질량을 m, A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면, 물체에 작용하는 중력과 구심력은 같으므로 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv_A{}^2}{r}$에서 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이고, $G\frac{Mm}{4r^2}=\frac{mv_B{}^2}{2r}$에서 $v_B=\sqrt{\frac{GM}{2r}}$이다. 따라서 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

02 꼼꼼 문제 분석



역학적 에너지가 보존되므로

행성 중심으로부터 R인 곳에서의 역학적 에너지$\left(\frac{1}{2}m(2v)^2-E_0\right)$

=행성 중심으로부터 $2R$인 곳에서의 역학적 에너지$\left(\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}E_0\right)$

③ 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}m(2v)^2-E_0=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}E_0$에서 $v=\sqrt{\frac{E_0}{3m}}$이다. 행성의 탈출 속도를 v_0이라고 하면, $\frac{1}{2}mv_0{}^2-E_0=0$에서 $v_0=\sqrt{\frac{2E_0}{m}}=\sqrt{6}v$이다.

03 ㄱ. A는 등속 원운동을 하므로 행성의 중심으로부터 A까지의 거리는 일정하다. 따라서 A의 가속도 크기는 일정하다.
ㄴ. A의 속력은 v_0이고, p에서 B의 속력은 v_0보다 작다. 질량은 A가 B보다 크므로 운동 에너지는 A가 B보다 크다.
ㄷ. A는 v_0의 속력으로 등속 원운동을 하므로 A는 행성에서 탈출할 수 없다. 행성의 표면에서 v_0의 속력으로 발사된 물체가 A의 원 궤도를 통과할 때의 속력은 v_0보다 작으므로 B 또한 탈출할 수 없다. 따라서 행성의 탈출 속도는 v_0보다 크다.

04 (가)에서 로켓의 운동량 크기는 $3mv$이다. (나)에서 로켓과 1단 로켓의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면, 1단 로켓에 대해 로켓이 v의 속력으로 운동하므로 $v_A-v_B=v$에서 $v_B=v_A-v$이다. (나)에서 로켓과 1단 로켓의 운동 방향은 같으므로 운동량 보존 법칙을 적용하면, $3mv=mv_B+2mv_A$에서 $3mv=mv_A-mv+2mv_A$이다. 따라서 $v_A=\frac{4}{3}v$이다.

03 / 일반 상대성 이론

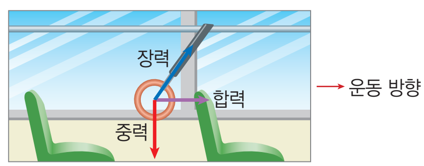
개념 확인 문제 70쪽

❶ 가속 좌표계 ❷ 관성력 ❸ 관성 ❹ 원심력 ❺ 반대 ❻ 등가 원리 ❼ 중력

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○
2 (1) B (2) A (3) A (4) B
3 (1) ㄱ, ㅂ (2) ㄷ, ㄹ (3) ㄴ, ㅁ
4 (1) ○ (2) ○ (3) ○

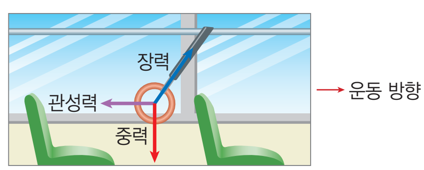
1 (1) 관성력은 가속 좌표계의 가속도 방향과 반대 방향으로 나타난다.
(2) 가속도가 $\vec{a}$인 가속 좌표계에 있는 질량이 m인 물체에 나타나는 관성력의 크기는 가속도의 크기와 질량에 비례하고, 방향은 가속도의 방향과 반대 방향이므로 관성력은 $-m\vec{a}$이다.
(3) 구심력은 관성 좌표계 안에서 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 힘이다.
(4) 원심력은 가속 좌표계 안에서 등속 원운동을 하는 관찰자가 느끼는 관성력이다.

2 (1), (4) 지면에 정지해 있는 관찰자가 가속도 운동하는 버스를 관찰하면, 버스 안의 손잡이에는 중력과 줄의 장력이 작용하여 오른쪽 방향으로 가속도 운동을 하는 것으로 보인다.



지면에 정지한 관찰자가 볼 때

(2), (3) 버스 안의 관찰자가 볼 때, 버스 안의 손잡이에는 중력과 줄의 장력, 가속 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하여 손잡이가 정지해 있는 것으로 보인다.



버스 안의 관찰자가 볼 때

3 관성력은 가속 좌표계에서 작용하며, 가속 좌표계의 가속도 방향과 반대 방향으로 나타난다.
(1) 엘리베이터를 탄 사람에게 중력과 같은 방향으로 관성력이 작용할 때 몸무게가 증가하여 측정된다. 따라서 가속도의 방향은 연직 위 방향이므로 엘리베이터가 위로 출발할 때와 아래로 내려가다 멈출 때가 해당한다.

(2) 엘리베이터를 탄 사람에게 중력과 반대 방향으로 관성력이 작용할 때 몸무게가 감소하여 측정된다. 따라서 가속도의 방향은 연직 아래 방향이므로 엘리베이터가 위로 올라가다 멈출 때와 아래로 출발할 때가 해당한다.
(3) 관성력이 작용하지 않을 때 엘리베이터를 탄 사람의 몸무게가 동일하게 측정된다. 따라서 엘리베이터가 정지해 있거나 등속도 운동할 때 엘리베이터를 탄 사람의 몸무게가 동일하게 측정된다.

4 (1) 등가 원리에 따라 중력과 관성력은 구별할 수 없다.
(2) 등가 원리에 따라 중력과 관성력은 구별할 수 없으므로 중력 질량과 관성 질량은 서로 같다.
(3) 중력장에서 자유 낙하를 하는 엘리베이터에 탄 사람은 중력과 같은 크기의 관성력이 중력과 반대 방향으로 작용하므로 중력을 느끼지 못한다.

개념 확인 문제 73쪽

❶ 중력 ❷ 중력 렌즈 ❸ 볼록 ❹ 느리게 ❺ 블랙홀

1 중력이 작용하는 경우, 우주선이 위로 가속 운동하는 경우
2 (1) ◯ (2) ◯ (3) ◯ **3** (1) × (2) ◯ (3) × **4** E **5** ㉠ 빛, ㉡ 느리게 **6** (1) ◯ (2) ×

1 중력이 작용하는 경우 중력에 의해 공간이 휘어져 (나)와 같이 빛의 경로가 관찰될 수 있다. 또한 중력이 작용하지 않는 공간에서 우주선이 위로 가속 운동하는 경우 관성력이 아래로 작용하여 등가 원리에 따라 (나)와 같이 빛의 경로가 관찰될 수 있다.

2 (1) 무거운 천체 주변은 중력에 의해 공간이 휘어져 있다. 따라서 무거운 천체 주변을 지나는 빛은 시공간의 휘어짐에 따라 휘어서 진행한다.
(2) 중력이 렌즈처럼 빛을 휘게 하여 여러 개의 상을 만드는 것을 중력 렌즈 효과라고 한다.
(3) 은하의 질량이 클수록 은하 주변에 작용하는 중력이 커지므로 빛이 휘어지는 정도가 커진다. 따라서 관찰된 별의 위치와 실제 위치의 거리 차이가 더 많이 난다.

3 (1) 중력이 클수록 시공간이 많이 휘어지므로 시간이 느리게 흐른다.
(2) 행성에 가까워질수록 중력이 증가하므로 시간이 느리게 흐른다.
(3) 등가 원리에 따라 관성력에 의해서도 빛이 휘어질 수 있다.

4 지구에서 가장 가까운 천체는 중력 렌즈 역할을 한 사진 중앙의 은하단인 E이다.

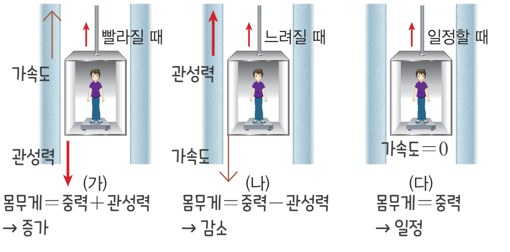
5 중력이 매우 커서 시공간이 극단적으로 휘어져 탈출 속도가 빛의 속도보다 큰 천체를 블랙홀이라고 한다. 블랙홀에 가까이 갈수록 중력이 커지므로 시간이 느리게 가며, 블랙홀의 탈출 속도가 빛의 속도보다 크므로 블랙홀에서는 빛조차 빠져나가지 못한다.

6 (1) 중력이 큰 곳일수록 빛이 더 많이 휘어지므로 중력에 의한 시간 지연이 더 크게 나타난다.
(2) 시계에 작용하는 중력이 지표면에서가 인공위성에서보다 크므로 일반 상대성 이론에 따라 시간은 지표면에서가 인공위성에서보다 느리게 흐른다.

대표 자료 분석 1 74쪽

1 (가) 증가한다. (나) 감소한다. (다) 변하지 않는다. **2** 증가한다.
3 변하지 않는다. **4** (1) 가속 좌표계 (2) 비례한다 (3) 비례한다
5 (1) × (2) × (3) × (4) ◯ (5) ◯

꼼꼼 문제 분석



1 • (가)에서 엘리베이터는 위로 가속하므로 관성력이 중력과 같은 방향으로 작용한다. 따라서 (가)의 엘리베이터 안에서 측정한 철수의 몸무게는 중력과 관성력의 합이므로 증가한다.
• (나)에서 엘리베이터는 아래로 가속하므로 관성력이 중력과 반대 방향으로 작용한다. 따라서 (나)의 엘리베이터 안에서 측정한 철수의 몸무게는 중력과 관성력의 차이이므로 감소한다.
• (다)에서 엘리베이터의 가속도가 0이므로 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 (다)의 엘리베이터 안에서 측정한 철수의 몸무게는 변하지 않는다.

2 (가)에서 엘리베이터의 가속도가 증가하면 관성력이 증가하므로 철수의 몸무게는 증가한다.

3 (다)에서 엘리베이터의 속력이 증가하여도 가속도는 0이므로 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 철수의 몸무게는 변하지 않는다.

4 (1) 관성력은 가속 좌표계에서 관찰자가 느끼는 가상적인 힘이다.
(2), (3) 관성력의 크기는 가속 좌표계의 가속도의 크기와 물체의 질량에 비례한다.

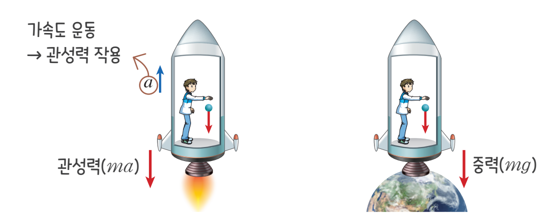
5 (1) 관성력은 가속 좌표계에서 작용하는 가상적인 힘이다.
(2), (3) 관성력은 가속도의 방향과 반대 방향으로 작용하므로 중력과 항상 반대 방향인 것은 아니다.
(4) (가)에서 엘리베이터가 가속 운동하므로 철수에 작용하는 힘은 중력과 관성력이다.
(5) (다)에서 엘리베이터가 등속도 운동을 하므로 (다)의 엘리베이터는 관성 좌표계이다.

대표 자료 분석 2

75쪽

1 등가 원리 **2** (가) 관성력, (나) 중력 **3** 감소한다. **4** 감소한다. **5** (1) 비례한다 (2) 없다 (3) 일반 상대성 이론 **6** (1) ◯ (2) ◯ (3) × (4) ◯

꼼꼼 문제 분석



(가) (나) 정지

1 (가), (나)에서 공은 동일하게 아래로 낙하한다. 따라서 등가 원리에 따라 우주선 안의 사람은 (가), (나)를 구별할 수 없다.

2 (가)에서는 가속도의 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하므로 공이 관성력을 받아 낙하한다. (나)에서 우주선은 지표면에 있으므로 중력에 의해 물체가 낙하한다.

3 (가)에서 우주선의 가속도의 크기가 증가하면 공에 작용하는 관성력의 크기가 증가하므로 공의 낙하 시간은 감소한다.

4 (나)에서 행성의 중력이 증가하면 공의 낙하 시간은 감소한다.

5 (1) 관성력의 크기는 가속 좌표계의 가속도의 크기에 비례한다.
(2) 등가 원리에 따라 가속 좌표계에서 나타나는 관성력을 중력과 구별할 수 없다.
(3) 아인슈타인은 관성력과 중력을 구별할 수 없는 등가 원리를 바탕으로 일반 상대성 이론을 발전시켰다.

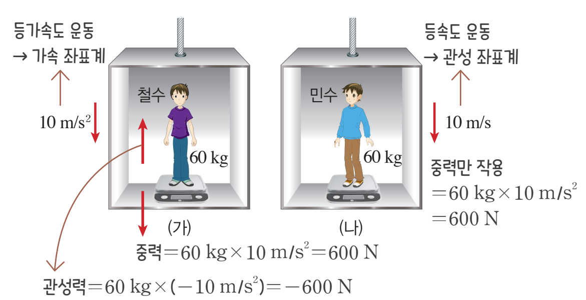
6 (1) 등가 원리에 따라 우주선 안의 사람은 관성력과 중력을 구별할 수 없다.
(2) $a=g$일 때, 공에 작용하는 관성력과 중력이 같으므로 같은 높이에서 공이 낙하하는 데 걸리는 시간은 (가)에서와 (나)에서가 같다.
(3) (가)에서 우주선 안의 사람이 볼 때 공은 관성력을 받아 가속도 운동을 한다.
(4) $a=g$일 때, 관성력과 중력이 같으므로 사람이 우주선 바닥을 누르는 힘은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

내신 만점 문제

76쪽~78쪽

01 ② **02** 해설 참조 **03** ⑤ **04** ① **05** (가) $2w$, (나) w, (다) w **06** ⑤ **07** ③ **08** ⑤ **09** ⑤ **10** ③ **11** ③ **12** ② **13** ⑤ **14** ⑤

01 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. (가)에서 엘리베이터가 아래로 가속하므로 철수에 작용하는 관성력은 중력과 반대 방향으로 600 N이다. 따라서 (가)에서 철수에 작용하는 합력이 0이므로 체중계의 눈금은 0을 나타낸다.

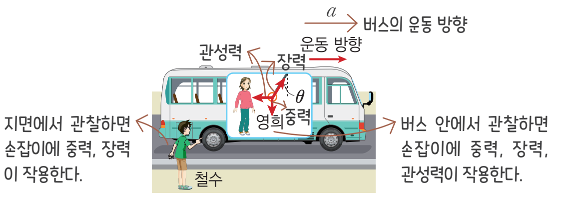
바로알기 ㄱ. (가)에서 철수에 작용하는 관성력의 크기는 600 N이고, (나)에서 민수에 작용하는 관성력의 크기는 0이므로 철수에 작용하는 관성력의 크기가 크다.
ㄷ. 일정한 속도로 운동하는 좌표계에서는 관성력이 작용하지 않으므로 체중계에 측정되는 민수의 몸무게는 변하지 않는다.

02 정지한 엘리베이터가 위로 올라가려면 가속도의 방향은 연직 위 방향이다. 따라서 관성력은 가속도의 방향과 반대 방향인 연직 아래 방향으로 작용한다.

모범 답안 엘리베이터 안의 추에는 가속도의 방향과 반대 방향인 연직 아래 방향으로 관성력이 작용한다. 따라서 추에는 관성력과 중력이 연직 아래 방향으로 작용하므로 용수철의 길이는 엘리베이터가 정지했을 때보다 늘어난다.

채점 기준	배점
관성력과 중력을 이용하여 용수철의 길이가 정지했을 때보다 늘어남을 옳게 서술한 경우	100 %
용수철의 길이가 정지했을 때보다 늘어남만을 서술한 경우	50 %

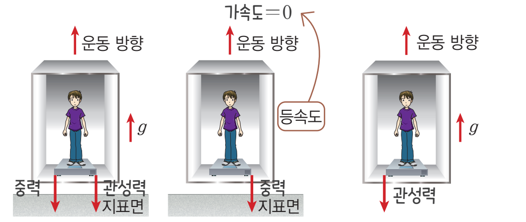
03 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 영희가 관찰할 때, 버스의 손잡이는 일정한 각도로 기울어져 있으므로 손잡이에 작용하는 알짜힘은 0이다.
ㄴ. 영희가 관찰할 때, 장력과 중력의 합력의 방향이 오른쪽이므로 손잡이에 작용하는 관성력의 방향은 왼쪽이다.
ㄷ. 철수가 관찰할 때, 손잡이에 작용하는 힘은 장력과 중력이고, 버스 손잡이가 일정한 각도로 기울어져 있으므로 합력의 크기는 일정하다. 따라서 철수가 관찰할 때, 버스의 속력은 증가한다.

04 ㄱ. 버스의 손잡이가 왼쪽으로 더 크게 기울어지려면 왼쪽으로 작용하는 힘이 증가하여야 한다. 버스의 가속도의 크기가 증가하면 관성력의 크기가 증가하므로 버스의 손잡이는 왼쪽으로 더 크게 기울어진다.
바로알기 ㄴ. 버스의 가속도의 방향이 왼쪽이면, 버스 안의 손잡이에 작용하는 관성력의 방향은 오른쪽이다. 따라서 버스의 손잡이가 오른쪽으로 기울어진다.
ㄷ. 관성력은 가속 좌표계에서만 작용하므로 버스가 등속도 운동을 하면 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 더 빠른 속력으로 등속도 운동을 하여도 버스의 손잡이는 기울어지지 않는다.

05 꼼꼼 문제 분석



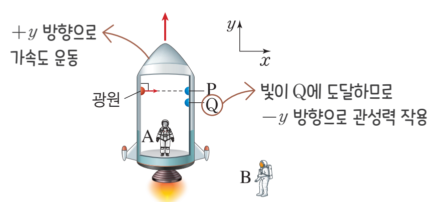
(가) 지표면에서 가속도 g로 올라갈 때
몸무게$=$중력$+$관성력 $=w+w=2w$

(나) 지표면에서 등속도로 올라갈 때
몸무게$=$중력 $=w$

(다) 중력이 작용하지 않는 공간에서 가속도 g로 운동할 때
몸무게$=$관성력 $=w$

• (가) 중력에 의한 철수의 몸무게가 w이고, 관성력의 크기와 중력의 크기가 같으므로 관성력은 w의 크기로 아래 방향으로 작용한다. 따라서 철수의 몸무게는 $2w$로 측정된다.
• (나) 지표면에서 등속도로 운동하므로 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 철수에게는 중력만 작용하므로 철수의 몸무게는 w로 측정된다.
• (다) 중력이 작용하지 않는 공간이므로 관성력만 작용하고, 운동 방향으로 가속하므로 관성력은 w의 크기로 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다. 따라서 철수의 몸무게는 w로 측정된다.

06 꼼꼼 문제 분석



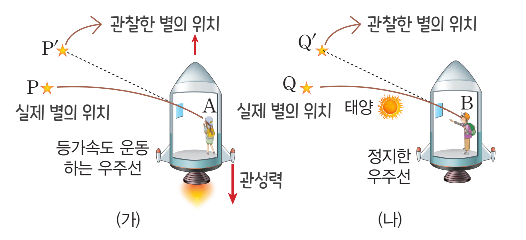
ㄱ. A가 관찰할 때, P를 향해 발사된 빛이 Q에 도달하므로 A에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$ 방향이다.
ㄴ. A에 작용하는 관성력의 방향이 $-y$ 방향이므로, B가 관찰할 때 우주선의 가속도의 방향은 $+y$ 방향이다. 따라서 B가 관찰할 때, 우주선의 속력은 증가한다.
ㄷ. 등가 원리에 따라 A가 관찰할 때, 빛이 휘어지는 까닭이 중력 때문인지 관성력 때문인지 구별할 수 없다.

07 ㄱ. (나)에서 우주선은 운동 방향으로 가속도 운동을 하므로 우주선 안의 물에 작용하는 관성력의 방향은 운동 방향과 반대 방향이다.
ㄴ. 등가 원리에 따라 (나)의 우주선 안에 있는 사람은 물이 떨어지는 까닭이 중력 때문인지 관성력 때문인지 구별할 수 없다.
바로알기 ㄷ. 등가 원리에 따라 우주선 안에서는 관성력과 중력을 구별할 수 없고, (나)에서 우주선의 가속도가 g이므로 (가)에서

중력의 크기와 (나)에서 관성력의 크기가 같다. 따라서 우주선 안에서의 시간은 (가)에서와 (나)에서가 동일하게 흐른다.

08 ㄱ. 천체의 질량이 클수록 중력이 크므로 공간이 더 크게 휘어진다.
ㄴ. 천체에 가까울수록 중력이 크므로 공간이 더 크게 휘어진다.
ㄷ. 천체의 중력에 의한 공간의 휘어짐은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

09 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 우주선의 가속도가 증가하면 관성력의 크기도 증가한다. 따라서 (가)에서 우주선의 가속도가 증가하면 P와 P′의 거리 차이가 증가한다.
ㄴ. 태양의 중력에 의해 태양 주변의 공간의 휘어지므로 (나)에서 태양의 중력은 Q에서 오는 별빛을 휘어지게 한다.
ㄷ. (나)에서 태양의 질량이 증가하면 태양 주변의 공간이 더 크게 휘어진다. 따라서 Q와 Q′의 거리 차이도 증가한다.

10 ㄱ. 태양 주변의 공간은 중력에 의해 휘어져 있다.
ㄴ. 태양보다 질량이 큰 천체의 주변에 작용하는 중력의 크기는 태양 주변보다 크다. 따라서 태양보다 질량이 큰 천체의 주변을 지날 때, 별빛은 더 많이 휘어진다.
바로알기 ㄷ. 태양보다 질량이 작은 천체 주변에 작용하는 중력의 크기는 태양 주변보다 작다. 따라서 태양보다 질량이 작은 천체 주변을 지날 때 별빛은 태양 주변에 비해 조금 휘어져 진행하고, 직진하지 않는다.

11 ㄱ. 질량이 큰 천체 주변의 공간은 중력에 의해 휘어진다. 따라서 질량이 큰 천체 근처에서 빛이 휘어진다.
ㄴ. 천체 근처에서 빛이 휘어지므로 지구에서 볼 때 별은 별의 실제 위치와는 다른 A에 있는 것처럼 보인다.
바로알기 ㄷ. 천체의 질량이 증가하면 천체 주변의 공간에 작용하는 중력의 크기가 증가한다. 따라서 천체 주변에서 빛이 더 많이 휘어지므로 천체의 질량이 증가할수록 별과 A 사이의 거리는 증가한다.

12 ①, ④ 블랙홀에 접근할수록 중력이 커지므로 시공간의 휘어짐이 증가하고, 시간이 더 느리게 흐른다.
③ 질량이 매우 큰 별이 붕괴하여 중력에 의해 수축하면서 블랙홀이 형성된다.
⑤ 블랙홀에 가까이 있는 물질이 블랙홀로 빨려 들어갈 때 방출하는 빛을 통해 간접적으로 블랙홀의 위치를 확인할 수 있다.
바로알기 ② 블랙홀 내부의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크다.

13 ㄱ. 블랙홀에 가까워질수록 거리가 감소하므로 중력이 증가한다.
ㄴ, ㄷ. 블랙홀에 가까워질수록 중력이 증가하므로 시공간이 더 많이 휘어지고, 시간이 더 느리게 흐른다.

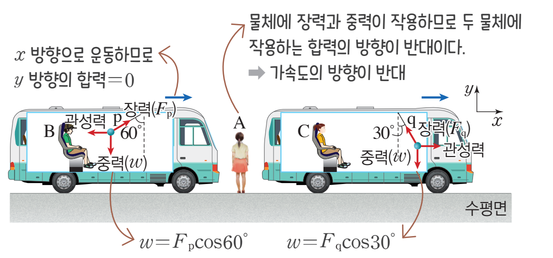
14 ㄱ. 블랙홀의 질량이 클수록 블랙홀이 주변에 작용하는 중력이 커지므로 블랙홀 주변의 시공간이 더 많이 휘어진다.
ㄴ. 블랙홀의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크므로 블랙홀 내부에서는 빛조차 벗어날 수 없다.
ㄷ. 중력파는 중력이 큰 물체들이 서로 상호작용하여 움직이면 그 주위의 시공간의 휘어짐에 변화가 생겨 시공간의 변화가 사방으로 퍼져나가는 현상이다. 따라서 중력이 큰 블랙홀끼리 충돌하면 질량의 공간적 분포에 큰 변화가 생겨 중력파가 발생하여 주위 시공간의 변화가 일어날 수 있다.

실력 UP 문제

79쪽

01 ⑤ **02** ⑤ **03** ③ **04** ①

01 꼼꼼 문제 분석

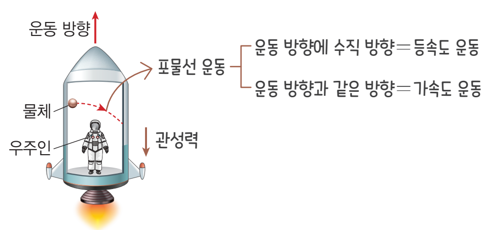


ㄱ. B가 탄 버스에서는 물체가 $-x$ 방향으로 기울어져 있고, C가 탄 버스에서는 물체가 $+x$ 방향으로 기울어져 있다. 따라서 A가 관찰할 때, B, C가 탄 버스의 가속도의 방향은 서로 반대 방향이다.

ㄴ. C가 탄 버스에서 물체가 $+x$ 방향으로 기울어져 있으므로 C가 관찰할 때, q에 매달린 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$ 방향이다.
ㄷ. A가 관찰할 때 버스는 x 방향으로만 운동하므로 물체에 y 방향으로 작용하는 합력은 0이다. 따라서 물체의 무게를 w라 하면, p에서 $w=F_p\cos60°$, q에서 $w=F_q\cos30°$가 성립한다. 이를 정리하면 $F_p\cos60°=F_q\cos30°$에서 $F_p=\sqrt{3}F_q$이다.

02 꼼꼼 문제 분석

우주선 밖을 볼 수 없다면 중력과 관성력을 구분할 수 없다. ➡ 등가 원리



ㄱ. 물체가 포물선 운동을 하므로 물체는 우주선의 운동 방향에 수직 방향으로는 등속도 운동을, 우주선의 운동 방향으로는 가속도 운동을 한다. 따라서 (가)는 가속도이다.
ㄴ. 등가 원리에 따라 관성력과 중력을 구별할 수 없으므로 (나)는 등가 원리이다.
ㄷ. 가속 좌표계에서 작용하는 관성력의 크기는 가속도의 크기와 물체의 질량에 각각 비례한다.

03 ㄱ. 중력 렌즈 효과에 의해 별들의 상대적인 위치가 밤일 때와 일식이 일어날 때가 다르게 보인다.
ㄴ. 일반 상대성 이론으로 시공간이 극단적으로 휘어져 있는 블랙홀을 설명할 수 있다.
바로알기 ㄷ. 태양의 질량만이 증가하면 태양 주변에 작용하는 중력이 커지므로 시공간이 더 많이 휘어진다. 따라서 밤일 때와 일식이 일어날 때의 별들의 거리 차이가 증가한다.

04 ㄴ. 행성이 작용하는 중력의 크기는 A가 B보다 크므로 행성에 의한 시공간의 휘어짐은 A에서가 B에서보다 크다.
바로알기 ㄱ. 케플러 제3법칙에 따라 같은 행성을 공전하는 위성의 거리가 클수록 공전 주기가 증가한다. 따라서 위성의 공전 주기는 A가 B보다 작다.
ㄷ. 위성에 작용하는 중력이 클수록 시간이 느리게 흐른다. 따라서 행성에서 관찰할 때, 행성에 더 가까이 있는 A의 시간이 B의 시간보다 느리게 흐른다.

중단원 핵심 정리 80쪽~81쪽

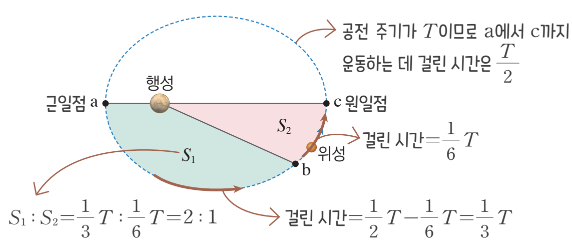
❶ 태양 ❷ 빨라 ❸ 느려 ❹ 긴반지름 ❺ 반비례 ❻ $\frac{2\pi r}{T}$
❼ 구심력 ❽ 세제곱 ❾ 탈출 속도 ❿ 작으면 ⓫ 지구형
⓬ 목성형 ⓭ 클수록 ⓮ 빠를수록 ⓯ 여러 단 ⓰ 가속도
⓱ 반대 ⓲ 관성력 ⓳ 중력 ⓴ 느리게

중단원 마무리 문제 82쪽~85쪽

01 ①	02 ③	03 ②	04 ③	05 ③	06 ①
07 ③	08 ②	09 ③	10 ③	11 ⑤	12 ⑤
13 ①	14 ⑤	15 해설 참조		16 해설 참조	
17 해설 참조					

01 ㄱ. 케플러 제1법칙에 따라 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.
바로알기 ㄴ. 태양으로부터 거리가 멀수록 행성의 속력은 작다. 따라서 지구의 속력은 원일점에서가 근일점에서보다 작다.
ㄷ. 행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 ㉢은 제곱이고, ㉣은 세제곱이다.

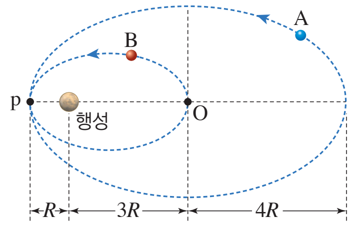
02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 위성이 타원 궤도를 한 바퀴 공전하는 동안 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적을 S라고 하면, 위성이 a에서 c까지 운동하는 동안 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 $\frac{1}{2}S$이다. 위성의 공전 주기는 T이므로 위성이 a에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T$이다.
ㄴ. 위성이 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T-\frac{1}{6}T=\frac{1}{3}T$이다. b에서 c까지 위성이 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{6}T$이므로 위성이 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다. 따라서 $S_1=2S_2$이다.
바로알기 ㄷ. 행성으로부터의 거리는 a에서가 c에서보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 c에서보다 크다.

03 ㄴ. p에서 행성으로부터의 거리는 A와 B가 같다. 따라서 p에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

바로알기 ㄱ. p에서 행성까지의 거리를 R이라고 하면, p에서 B에 작용하는 중력의 크기는 최대이고, O에서 B에 작용하는 중력의 크기는 최소이다. B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이므로 행성에서 O까지의 거리는 $3R$이다. A가 행성으로부터 가장 먼 지점까지의 거리는 $7R$이므로 A에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 49배이다.



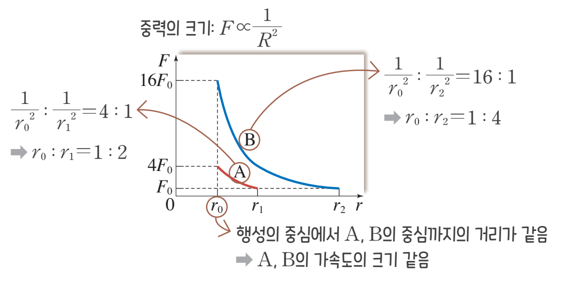
ㄷ. A의 공전 궤도의 긴반지름은 $4R$이고, B의 공전 궤도의 긴반지름은 $2R$이다. 공전 궤도의 긴반지름은 A가 B의 2배이므로 공전 주기는 A가 B의 $2\sqrt{2}$배이다.

04 ㄱ. 운동 에너지는 A가 B의 4배이다. 질량은 A가 B의 2배이므로 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

ㄴ. A, B의 속력을 각각 v_A, v_B라 하면, A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{(2m)v_A{}^2}{r_A}=G\frac{M(2m)}{r_A{}^2}$에서 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{r_A}}$이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv_B{}^2}{r_B}=G\frac{Mm}{r_B{}^2}$에서 $v_B=\sqrt{\frac{GM}{r_B}}$이다. 인공위성의 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 $\sqrt{\frac{GM}{r_A}}=\sqrt{\frac{2GM}{r_B}}$에서 $r_B=2r_A$이다. 따라서 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 8배이다.

바로알기 ㄷ. 공전 주기의 제곱은 원 궤도 반지름의 세제곱에 비례한다. 원 궤도의 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. $r=r_0$에서 행성으로부터 거리는 A와 B가 같으므로 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

ㄴ. A에 작용하는 중력의 최댓값은 최솟값의 4배이므로 $r_1=2r_0$이다. B에 작용하는 중력의 최댓값은 최솟값의 16배이므로 $r_2=4r_0$이다. 따라서 $r_2=2r_1$이다.

바로알기 ㄷ. $r=r_0$에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 B가 A의 4배이므로 질량은 B가 A의 4배이다.

06 ㄱ. 인공위성에 작용하는 중력은 구심력과 같다. 지구의 질량을 M, A의 속력을 v라고 하면 $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다. B의 원 궤도 반지름은 $4r$이므로 B의 속력은 $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{GM}{r}}=\frac{1}{2}v$이다. 따라서 속력은 A가 B의 2배이다.

바로알기 ㄴ. A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{r}$이고, B의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{M\left(\frac{m}{2}\right)}{4r}$이다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A보다 $\frac{7GMm}{8r}$만큼 크다.

ㄷ. A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{r}\right)-G\frac{Mm}{r}=-G\frac{Mm}{2r}$이고, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}\left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{GM}{4r}\right)-G\frac{M\left(\frac{m}{2}\right)}{4r}=-G\frac{Mm}{16r}$이다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 $\frac{7GMm}{16r}$만큼 크다.

07 ㄱ. 인공위성에 작용하는 지구에 의한 중력은 인공위성에 작용하는 구심력과 같다. 지구의 질량을 M, A의 속력을 v라고 하면, $G\frac{Mm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$이다. 즉, 원 궤도의 반지름이 클수록 속력은 작다. 원 궤도의 반지름은 A가 B보다 작으므로 속력은 A가 B보다 크다.

ㄴ. 지구 중심으로부터 거리가 멀어질수록 중력에 의한 위치 에너지가 크다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다 작다.

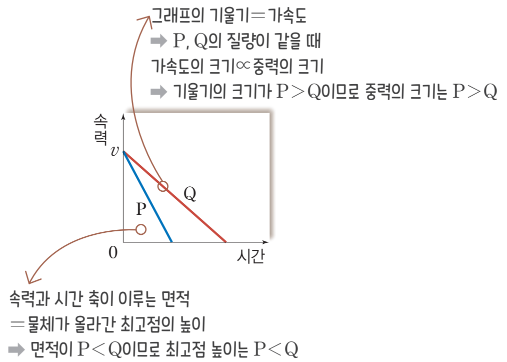
바로알기 ㄷ. A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{R}\right)-G\frac{Mm}{R}=-G\frac{Mm}{2R}$이고, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{3R}\right)-G\frac{Mm}{3R}=-G\frac{Mm}{6R}$이다. 따라서 역학적 에너지는 A가 B보다 $G\frac{Mm}{3R}$만큼 작다.

08 ㄴ. 위성의 역학적 에너지는 보존된다. 위성의 중력에 의한 위치 에너지는 p에서가 q에서보다 작으므로, 위성의 운동 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. 위성의 가속도 방향은 위성에 작용하는 중력의 방향과 같다. 위성에 작용하는 중력의 방향은 행성의 중심을 향하는 방향이므로 위성의 가속도 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.

ㄷ. 중력 상수를 G, 행성의 질량을 M, 위성의 질량을 m이라고 하면 $E_0=G\dfrac{Mm}{r_0}$이다. 따라서 q에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 $G\dfrac{Mm}{4{r_0}^2}=\dfrac{E_0}{4r_0}$이다.

09 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 최고점에서 물체의 속력은 0이다. P, Q의 속력이 0이 될 때까지 속력과 시간 축이 이루는 면적은 행성의 표면에서부터 물체가 올라간 최고점의 높이이다. 따라서 행성의 표면에서부터 물체가 올라가는 최고점까지의 높이는 A에서가 B에서보다 작다.

ㄴ. 물체가 올라가는 동안 물체의 가속도의 크기는 P가 Q보다 크다. 물체에는 행성에 의한 중력만 작용하므로 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 P가 Q보다 크다.

바로알기 ㄷ. 질량은 P와 Q가 같고, 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 P가 Q보다 크므로 행성의 질량은 A가 B보다 크다. 반지름은 A와 B가 같으므로 탈출 속도는 A가 B보다 크다.

10 ㄷ. 질량은 A와 B가 같고, 반지름은 A가 B보다 작으므로 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 A에서가 B에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 물체는 A로 되돌아왔으므로 v는 A의 탈출 속도보다 작다.

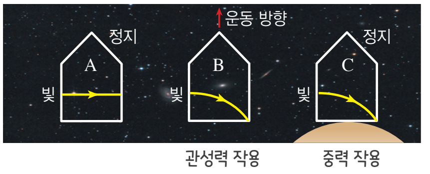
ㄴ. B에서 물체는 먼 우주로 날아갔으므로 v는 B의 탈출 속도보다 크다. 따라서 탈출 속도는 A가 B보다 크다. 질량은 A와 B가 같으므로 행성의 반지름은 A가 B보다 작다.

11 ㄱ. 엘리베이터가 연직 위 방향으로 움직일 때, 관성력은 연직 아래 방향으로 작용한다. 따라서 철수에게 작용하는 관성력은 연직 아래 방향으로 60 N이므로 저울의 눈금은 600+60=660(N)을 가리킨다.

ㄴ. 관성력은 가속 좌표계에서만 작용하므로 일정한 속도로 움직일 때는 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 저울의 눈금은 600 N을 가리킨다.

ㄷ. 엘리베이터가 자유 낙하를 하는 경우, 관성력은 연직 위 방향으로 600 N이 작용한다. 따라서 철수에 작용하는 관성력과 중력의 크기가 같고 방향이 반대이므로 저울의 눈금은 0을 가리킨다.

12 꼼꼼 문제 분석



- B에서는 운동 방향과 같은 방향으로 가속도 운동을 하므로 관성력은 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다. 따라서 빛이 우주선의 운동 방향과 반대 방향으로 휘어진다.
- C에서는 중력이 작용하므로 중력에 의해 시공간이 휘어진다. 따라서 빛이 휘어진 공간을 따라 움직이므로 빛이 휘어진다.

ㄱ. 중력이 작용하지 않는 공간에서는 시공간이 휘어지지 않고, 등속도 운동을 하는 경우 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 중력이 작용하지 않는 공간에서 등속도 운동을 할 경우 빛은 직진한다.

ㄴ. B에서는 운동 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하므로 빛이 우주선의 운동 방향과 반대 방향으로 휘어진다.

ㄷ. 등가 원리에 따라 우주선 내부의 우주인은 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

13 ㄱ. A가 관찰한 (가)의 빛과 C가 관찰한 (다)의 빛의 경로가 같으므로 A의 중력의 크기와 C의 관성력의 크기가 같다. 따라서 $2a=g$이므로 a의 크기는 g의 크기보다 작다.

바로알기 ㄴ. $2a=g$이고 (나)에서 우주선의 가속도는 a이므로 (나)에서 B에 작용하는 관성력의 크기는 (가)에서 A에 작용하는 중력의 크기보다 작다. 따라서 저울에 측정된 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

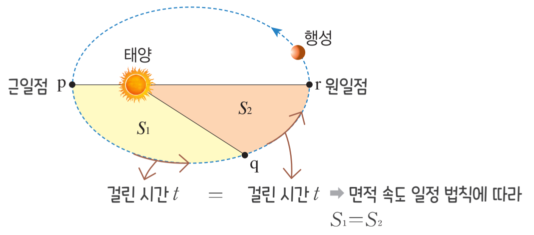
ㄷ. (나)와 (다)에서 우주선에 작용하는 가속도의 방향은 같고, 가속도의 크기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다. 등가 원리에 따라 관성력의 크기가 클수록 빛이 많이 휘어지므로 C가 관찰한 (다)의 빛이 더 많이 휘어진다.

14 ㄱ. 질량이 매우 크고 지름이 매우 작아 중력이 매우 커서 탈출 속도가 빛의 속도보다 큰 천체를 블랙홀이라고 한다.

ㄴ. 천체 주변은 중력에 의해 시공간이 휘어 있으므로 별에서 나온 빛이 천체 주변을 지나면 빛이 휘어져 별이 여러 개의 상으로 보일 수 있다. 이러한 현상을 중력 렌즈 효과라고 한다.

ㄷ. 블랙홀과 중력 렌즈 효과는 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

15 꼼꼼 문제 분석



(1) p에서 q까지, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 같으므로 면적 속도 일정 법칙에 따라 태양과 행성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 같다.

(2) 공전 주기는 행성이 근일점 p에서 원일점 r까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

모범 답안 (1) $S_1=S_2$

(2) 근일점 p에서 원일점 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 $2t$이므로 공전 주기는 $4t$이다.

채점 기준		배점
(1)	크기를 옳게 비교한 경우	30 %
(2)	풀이 과정과 함께 답을 옳게 구한 경우	70 %
	답만 옳게 쓴 경우	30 %

16 질량이 있는 천체 주변에는 중력이 작용하고, 중력에 의해 시공간이 휘어진다.

모범 답안 태양의 질량에 의해 태양 주변에 중력이 작용하고, 중력에 의해 태양 주변의 시공간이 휘어진다. 따라서 태양 주변을 지나는 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행하므로 빛이 휘어진다.

채점 기준	배점
별빛이 휘어지는 까닭을 중력에 의한 빛의 휘어짐으로 옳게 서술한 경우	100 %
태양의 중력 때문이라고만 서술한 경우	50 %

17 블랙홀은 중력이 매우 커서 시공간이 극단적으로 휘어져 있어 빛조차도 탈출할 수 없다.

모범 답안 블랙홀이 주변의 물질을 흡수하는 과정에서 방출하는 빛을 관찰하거나, 블랙홀 주변에서 휘어지는 빛을 관찰하여 존재를 확인할 수 있다.

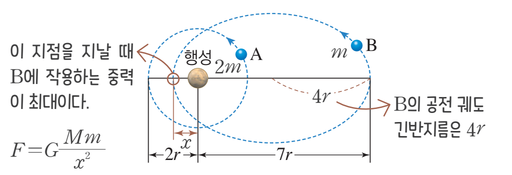
채점 기준	배점
블랙홀을 확인할 수 있는 방법 두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
블랙홀을 확인할 수 있는 방법 한 가지를 옳게 서술한 경우	50 %

중단원 고난도 문제

86쪽~87쪽

01 ① **02** ④ **03** ⑤ **04** ③ **05** ⑤ **06** ④ **07** ④ **08** ③

01 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

~~ㄱ. A의 가속도의 방향은 일정하다.~~ 변한다

ㄴ. B의 가속도 크기의 최댓값은 A의 가속도 크기의 4배이다.

~~ㄷ. B의 공전 주기는 $8\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$이다.~~ $16\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

전략적 풀이 ❶ 원 궤도를 따라 운동하는 위성의 가속도를 비교할 수 있다.

ㄱ. A는 등속 원운동을 하므로 A의 가속도의 방향은 행성의 중심을 향하는 방향이다. 따라서 A의 가속도의 방향은 계속 변한다.

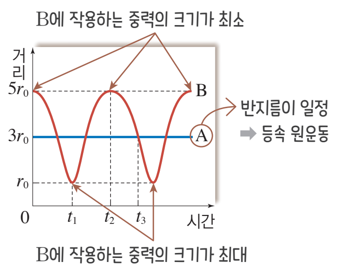
❷ 행성에 작용하는 중력의 크기를 구하여 가속도의 크기를 비교할 수 있다.

ㄴ. 행성으로부터 B의 최소 거리를 x라 하고, A의 질량을 $2m$이라고 하면, B의 질량은 m이다. A에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{M(2m)}{4r^2}$이고, B에 작용하는 중력의 최댓값은 $G\frac{Mm}{x^2}$이다. B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 A에 작용하는 중력 크기의 2배이므로 $G\frac{Mm}{x^2}=2\times G\frac{Mm}{2r^2}$에서 $x=r$이다. A의 가속도의 크기는 $\frac{GM}{4r^2}$이고, B의 가속도 크기의 최댓값은 $\frac{GM}{r^2}$이다. 따라서 B의 가속도 크기의 최댓값은 A의 가속도 크기의 4배이다.

❸ 케플러 법칙을 적용하여 A와 B의 주기의 관계를 구할 수 있다.

ㄷ. A의 공전 주기를 T_A라고 하자. 따라서 A에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{Mm}{(2r)^2}=m(2r)\left(\frac{2\pi}{T_A}\right)^2$이므로 $T_A=4\pi\sqrt{\frac{2r^3}{GM}}$이다. B의 공전 궤도의 긴반지름은 $4r$이고 A의 원 궤도 반지름은 $2r$이므로 공전 궤도는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다. 따라서 B의 공전 주기는 $2\sqrt{2}T_A=2\sqrt{2}\times4\pi\sqrt{\frac{2r^3}{GM}}=16\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$이다.

02 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. B의 속력은 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.

~~ㄴ~~. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$배이다. 같다

ㄷ. t_3일 때, 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

전략적 풀이 ❶ 행성으로부터 떨어진 거리에 따라 위성의 속력 변화를 설명할 수 있다.

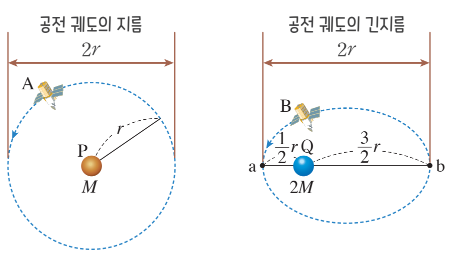
ㄱ. P로부터의 거리가 작을수록 B의 속력이 크다. 따라서 B의 속력은 t_1일 때가 t_2일 때보다 크다.

❷ 그래프를 분석하여 A와 B의 궤도의 특징을 알아낼 수 있다.

ㄴ. A의 원 궤도의 반지름은 $3r_0$이다. B의 타원 궤도의 긴반지름은 $\frac{r_0+5r_0}{2}=3r_0$이다. 따라서 B의 타원 궤도의 긴반지름은 A의 원 궤도의 반지름과 같으므로 공전 주기는 A와 B가 같다.

ㄷ. t_3일 때, P로부터의 거리는 A와 B가 같다. 따라서 t_3일 때, 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

03 꼼꼼 문제 분석



• A의 원 궤도의 반지름과 B의 타원 궤도의 긴반지름은 r으로 같다.
➡ 공전 주기는 행성의 질량이 작을수록 크다.

선택지 분석

ㄱ. B의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.

ㄴ. B의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 9배이다.

ㄷ. 공전 주기는 A가 B보다 크다.

전략적 풀이 ❶ 행성으로부터의 거리에 따라 행성의 속력 변화와 가속도의 크기를 구할 수 있다.

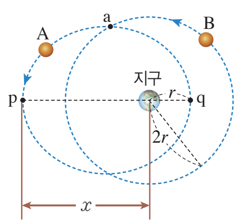
ㄱ. Q로부터의 거리는 a에서가 b에서보다 작으므로 B의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.

ㄴ. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. Q로부터의 거리는 b에서가 a에서의 3배이므로 B의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 9배이다.

❷ 케플러 법칙을 적용하여 행성의 공전 주기를 비교할 수 있다.

ㄷ. A의 원 궤도의 반지름과 B의 타원 궤도의 긴반지름은 r으로 같다. 행성의 질량은 P가 Q보다 작으므로 공전 주기는 A가 B보다 크다.

04 꼼꼼 문제 분석



• 공전 주기는 A와 B가 같다.
➡ A의 타원 궤도의 긴반지름과 B의 원 궤도 반지름은 같다.
➡ p에서 지구까지의 거리를 x라고 하면 $\frac{x+r}{2}=2r$에서 $x=3r$이다.

선택지 분석

ㄱ. a에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

ㄴ. p, q에서 A의 운동 에너지의 차이는 $\frac{2}{3}E_0$이다.

~~ㄷ~~. B의 역학적 에너지는 $-\frac{3}{8}E_0$이다. $-\frac{1}{4}E_0$

전략적 풀이 ❶ 행성으로부터 떨어진 거리에 따라 위성에 작용하는 중력의 크기와 가속도의 크기를 구할 수 있다.

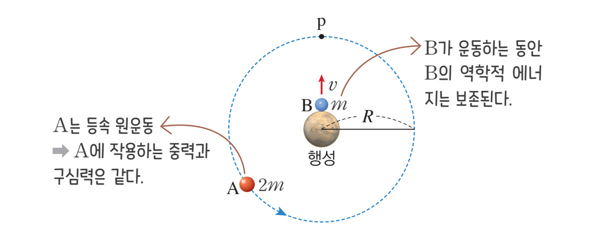
ㄱ. a에서 지구로부터의 거리는 A와 B가 같으므로 a에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

❷ 위성의 중력에 의한 위치 에너지, 운동 에너지, 역학적 에너지를 구할 수 있다.

ㄴ. 주기는 A와 B가 같으므로 A의 타원 궤도의 긴반지름은 $2r$이다. 따라서 지구에서 p까지의 거리는 $3r$이다. 중력 상수를 G, 지구의 질량을 M, A의 질량을 m이라고 하면, q에서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{r}=-E_0$이다. p, q에서 A의 운동 에너지를 각각 K_p, K_q라고 하면 A의 역학적 에너지는 보존되므로 $K_p-G\frac{Mm}{3r}=K_q-G\frac{Mm}{r}$이다. 따라서 $K_q-K_p=\frac{2GMm}{3r}=\frac{2}{3}E_0$이다.

ㄷ. 질량은 A와 B가 같으므로 B의 질량을 m, B의 속력을 v라고 하면, B는 원 궤도의 반지름이 $2r$인 등속 원운동을 하므로 $G\frac{Mm}{4r^2}=\frac{mv^2}{2r}$에서 $v=\sqrt{\frac{GM}{2r}}$이다. 따라서 B의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{2r}+\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2r}\right)=-G\frac{Mm}{4r}=-\frac{1}{4}E_0$이다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{E_0}{R}$이다.

ㄴ. B의 역학적 에너지는 $-\frac{2}{5}E_0$이다. $-\frac{3}{8}E_0$

ㄷ. v는 행성의 탈출 속도보다 작다.

전략적 풀이 ❶ 행성의 중심으로부터 떨어진 거리에 따라 물체에 작용하는 중력의 크기를 구할 수 있다.

ㄱ. 중력 상수를 G, 행성의 질량을 M이라고 하자. A의 질량을 $2m$이라고 하면 B의 질량은 m이다. A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{M(2m)}{R}=-E_0$이므로 $E_0=\frac{2GMm}{R}$이다. A에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{M(2m)}{R^2}=\frac{E_0}{R}$이다.

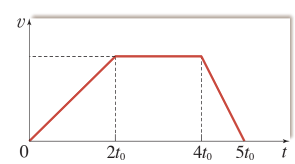
❷ 중력에 의한 위치 에너지를 통해 역학적 에너지를 구할 수 있다.

ㄴ. A의 속력을 v_A라고 하면, $G\frac{M(2m)}{R^2}=\frac{(2m)v_A^2}{R}$에서 $v_A=\sqrt{\frac{GM}{R}}$이다. p에서 B의 속력을 v_B라고 하면, B가 p를 지나는 순간의 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$배이므로 $v_B=\frac{1}{\sqrt{2}}v_A=\sqrt{\frac{GM}{2R}}$이다. p에서 B의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{R}$이고, B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2R}\right)=G\frac{Mm}{4R}$이다. 따라서 p에서 B의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{R}+G\frac{Mm}{4R}=-\frac{3GMm}{4R}=-\frac{3}{8}E_0$이다. B가 행성의 표면에서 발사된 이후 B의 역학적 에너지는 보존되므로 B의 역학적 에너지는 $-\frac{3}{8}E_0$이다.

❸ 행성의 탈출 속도의 의미를 이해할 수 있다.

ㄷ. B의 역학적 에너지는 0보다 작으므로 행성에 의한 중력에 구속되어 있다. 즉, 행성의 표면에서 속력 v로 발사된 B는 행성의 중력을 벗어날 수가 없다. 따라서 v는 행성의 탈출 속도보다 작다.

06 꼼꼼 문제 분석



• 단위 시간당 속도의 변화량의 크기가 $0\sim2t_0$일 때가 $4t_0\sim5t_0$일 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 가속도의 크기도 $0\sim2t_0$일 때가 $4t_0\sim5t_0$일 때의 $\frac{1}{2}$배이다. 따라서 관성력의 크기는 $0\sim2t_0$일 때가 $4t_0\sim5t_0$의 $\frac{1}{2}$배이다.

• $0\sim2t_0$일 때는 연직 위 방향으로 속도가 증가하므로 관성력의 방향은 연직 아래 방향이고, $4t_0\sim5t_0$일 때는 연직 위 방향으로 속도가 감소하므로 관성력의 방향은 연직 위 방향이다.

선택지 분석

ㄱ. 관성력의 크기는 $t=3t_0$일 때 최대이다. 0이다.

ㄴ. 관성력의 크기는 $t=t_0$일 때가 $t=4.5t_0$일 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. 관성력의 방향은 $t=t_0$일 때와 $t=4.5t_0$일 때가 서로 반대 방향이다.

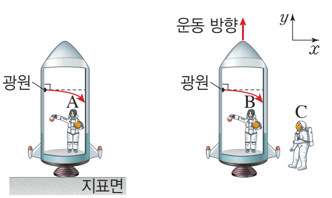
전략적 풀이 ❶ (나)에서 단위 시간당 속도의 변화량 또는 그래프의 기울기를 이용하여 가속도의 크기 및 방향을 이해하여 관성력을 구할 수 있다.

ㄱ. $t=3t_0$일 때, 엘리베이터는 등속도 운동을 하므로 관성력이 작용하지 않는다.

ㄴ. 관성력의 크기는 가속도의 크기에 비례하고, 가속도의 크기가 $t=t_0$일 때가 $t=4.5t_0$일 때의 $\frac{1}{2}$배이므로 관성력의 크기는 $t=t_0$일 때가 $t=4.5t_0$일 때의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. $0\sim2t_0$일 때는 속도가 증가하고, $4t_0\sim5t_0$일 때는 속도가 감소하므로 가속도의 방향은 서로 반대 방향이다. 따라서 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대 방향이므로 $t=t_0$일 때와 $t=4.5t_0$일 때가 서로 반대 방향이다.

07 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

- (가)에서는 우주선이 지표면에 정지해 있으므로 빛은 중력에 의해 휘어진 시공간을 따라 아래로 휘어진다.
- (나)에서는 우주선이 $+y$ 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 빛은 관성력에 의해 $-y$ 방향으로 휘어진다.
- 빛의 휘어진 정도는 A가 관찰할 때가 B가 관찰할 때보다 크므로 (나)에서 작용하는 관성력의 크기는 (가)의 중력의 크기보다 작다.

선택지 분석

ㄱ. 우주선 안의 관찰자는 관성력과 중력을 구별할 수 없다.

~~ㄴ~~. B가 관찰할 때, 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$ 방향이다. $-y$ 방향

ㄷ. (나)의 우주선의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

전략적 풀이 ❶ 등가 원리에 따라 관성력과 중력을 구별할 수 없음을 이용한다.

ㄱ. 등가 원리에 따라 우주선 안의 관찰자는 관성력과 중력을 구별할 수 없다.

❷ 물체의 가속도의 방향을 이용하여 관성력의 방향을 알아낼 수 있다.

ㄴ. (나)에서 우주선은 $+y$ 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 B가 관찰할 때 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$ 방향이다.

❸ 빛의 휘어진 정도를 이용하여 관성력과 중력의 크기를 비교할 수 있다.

ㄷ. 빛의 휘어진 정도가 A가 관찰할 때가 B가 관찰할 때보다 크므로 (가)에서 중력의 크기는 (나)에서 관성력의 크기보다 크다. 따라서 (나)에서 우주선의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

08 꼼꼼 문제 분석

크게

중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체이다.

중력이 $\boxed{\text{(가)}}$ 작용하는 $\boxed{\text{블랙홀}}$끼리의 충돌과 같이 질량의 공간적 분포에 큰 변화가 생기면 주위 시공간의 변화가 퍼져 나가는데, 이것을 중력파라고 한다. 이 파동은 아인슈타인의 $\boxed{\text{(나)}}$ 이론으로 설명할 수 있다.

일반 상대성

선택지 분석

ㄱ. (가)는 '크게'이다.

ㄴ. (나)는 '일반 상대성'이다.

~~ㄷ~~. 블랙홀 주위에서 방출되는 빛으로 블랙홀을 직접적으로 관찰할 수 있다. 간접적으로

전략적 풀이 ❶ 블랙홀은 중력이 크게 작용하는 천체이며, 2개의 블랙홀이 합쳐질 때 중력파가 발생함을 이해할 수 있다.

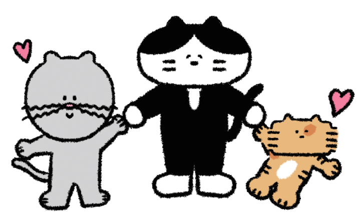
ㄱ. 블랙홀과 같이 중력이 큰 물체들 사이의 상호작용으로 질량의 공간적 분포에 큰 변화가 생겨 주위의 시공간에 변화가 퍼져 나가는 현상을 중력파라고 한다.

❷ 아인슈타인이 일반 상대성 이론을 발표하여 시공간에 대한 새로운 개념을 확립하였음을 안다.

ㄴ. 중력파는 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

❸ 블랙홀에서는 빛도 빠져나오지 못하므로 직접 관찰할 수 없음을 이해할 수 있다.

ㄷ. 블랙홀의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크므로 빛도 빠져나올 수 없다. 따라서 블랙홀은 주변의 물질을 흡수하는 과정에서 방출하는 빛을 관찰하거나, 블랙홀 주변에서 휘어지는 빛을 관찰하는 간접적인 방법으로 확인할 수 있다.



Ⅱ 열과 에너지

1 열과 일

01 / 단열과 열팽창

개념 확인 문제 92쪽

❶ 전도 ❷ 대류 ❸ 복사 ❹ 두껍게 ❺ 열팽창 ❻ 바이메탈

1 (가) 대류 (나) 복사 (다) 전도 **2** 열전도율 **3** (1) ○ (2) × (3) × **4** 공기 **5** ㄱ, ㄴ **6** ㉠ 다른, ㉡ 작은

1 (가) 유체에서 물질의 입자가 직접 열을 이동하는 열전달 방식은 대류이다.
(나) 전자기파 형태로 에너지를 방출하는 열전달 방식은 복사이다.
(다) 이웃한 입자들 사이에 에너지가 전달되면서 열이 온도가 높은 쪽에서 온도가 낮은 쪽으로 이동하는 열전달 방식은 전도이다.

2 열전도율은 물질이 열을 얼마나 잘 전도하는지를 나타내는 물리량으로, 물질에 따라 다르다. 단위는 W/m·K, W/m·°C를 사용한다.

3 (1) 공기는 열전도율이 낮아 단열재로 좋은 물질로 뽁뽁이, 이중창 등에 활용한다.
(2) 열전도율이 낮아야 열이 전달되기 어려우므로 단열재는 열전도율이 낮아야 한다.
(3) 물체에 열에너지가 공급되면 입자들의 운동이 활발해져 입자들 사이의 거리가 늘어나면서 물체의 길이가 팽창한다.

4 솜이나 뽁뽁이에는 열전도율이 낮은 공기가 많이 들어 있어 단열 효과가 좋아 보온이나 보냉이 잘된다.

5 ㄱ. 전도에 의한 열 전달은 금속 막대 양 끝의 온도 차이가 클수록 잘 일어난다.
ㄴ. 열의 이동을 차단하는 것을 단열이라고 한다.
ㄷ. 금속 막대를 가열할 때 금속 막대의 온도 변화가 클수록 늘어난 길이도 크므로 비례 관계이다.

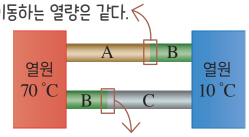
6 바이메탈이 열을 받으면 열팽창 정도가 작은 금속 쪽으로 휘어져 회로의 연결을 끊거나 이어지게 한다.

대표 자료 분석 93쪽

1 $\frac{15k_AA}{L}$ **2** $\frac{30kA}{L}$ **3** 2 : 1 **4** 2 : 1 **5** 58 °C
6 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

꼼꼼 문제 분석

A와 B의 경계면에서 온도가 일정하므로 A, B를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다.



B와 C의 경계면에서 온도가 일정하므로 B, C를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다.

1 A의 길이는 $2L$, A 양 끝의 온도차는 30 °C이므로 A를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은
$Q=k\frac{A(T_1-T_2)}{l}t$에 따라 $\frac{Q_A}{t}=k_A\frac{30A}{2L}=\frac{15k_AA}{L}$이다.

2 B의 길이는 L이고, B 양 끝의 온도차는 30 °C이므로 B를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 $\frac{Q_B}{t}=k\frac{30A}{L}=\frac{30kA}{L}$이다.

3 A와 B의 경계면에서 온도가 일정하므로 A와 B를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다. 따라서 $\frac{15k_AA}{L}=\frac{30kA}{L}$에서 $k_A : k=2 : 1$이다.

4 B와 C의 경계면에서 온도가 일정하므로 B와 C를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다. 따라서 $\frac{(70-58)kA}{L}=\frac{(58-10)k_CA}{2L}$에서 $k=2k_C$이므로 $k : k_C=2 : 1$이다.

5 A와 C를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같으므로 접촉 부분의 온도를 T라고 하면 $k_A\frac{(70-T)A}{2L}=k_C\frac{(T-10)A}{2L}$이다. $k_A : k_C=4 : 1$이므로 $T=58$ °C이다.

6 (1) 막대를 구성하는 이웃한 분자들의 상호작용으로 열이 전달되므로 전도에 의해 열이 이동한다.

(2) 열전도율은 A가 B의 2배이고 B가 C의 2배이므로 A의 열전도율은 C의 4배이다.
(3) 전도로 전달되는 열량은 열원의 온도차에 비례하므로 열원의 온도차가 클수록 전달되는 열량이 크다.
(4) 막대를 통해 전달되는 열은 막대의 단면적에 비례한다. 따라서 막대의 단면적이 작아지면 막대를 통해 전달되는 열량은 작아진다.

내신 만점 문제

94쪽~96쪽

01 ④	**02** 해설 참조	**03** ③	**04** ①	**05** ②
06 ①	**07** 해설 참조	**08** ①	**09** ①	
10 해설 참조	**11** ⑤	**12** 해설 참조		**13** ②
14 ⑤	**15** ③			

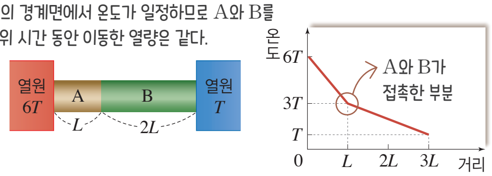
01 ㄴ. $Q=k\dfrac{A(T_1-T_2)}{l}t$에서 열전도율($k$)이 클수록 전도에 의해 단위 시간당 이동하는 열의 양(Q)은 많다.
ㄷ. 단위 시간당 이동하는 열의 양은 접촉한 물체들의 온도차에 비례하므로 열의 이동을 줄이려면 온도차가 작아야 한다.
바로알기 ㄱ. 금속 막대에서 전도에 의해 이동하는 열량은 금속 막대 양 끝의 온도차에 비례하고, 금속 막대의 길이에는 반비례한다.

02 금속 의자와 나무 의자의 온도는 같다. 하지만 물질의 열전도율에 따라 사람이 느끼는 차가운 정도는 다르다.
모범 답안 열전도율은 금속이 나무보다 크므로 손으로 만졌을 때 금속 의자가 나무 의자보다 손의 열을 더 빨리 빼앗아 가기 때문이다.

채점 기준	배점
두 물체의 열전도율을 비교하여 까닭을 옳게 설명한 경우	100 %
열의 이동만 언급하여 까닭을 서술한 경우	50 %

03 꼼꼼 문제 분석

A와 B의 경계면에서 온도가 일정하므로 A와 B를 통해 단위 시간 동안 이동한 열량은 같다.



(가) (나)

A와 B를 통해 단위 시간 동안 이동한 열량은 같다. A와 B의 단면적을 A라고 하면 $k_A\dfrac{A(6T-3T)}{L}=k_B\dfrac{A(3T-T)}{2L}$에서 $3k_A=k_B$이다. 따라서 $k_A : k_B=1 : 3$이다.

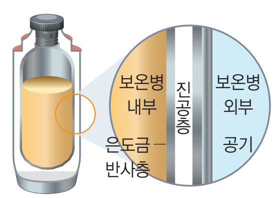
04 금속 막대를 통해 전도되는 열량 $Q=k\dfrac{A(T_1-T_2)}{L}t$에서 두 금속 막대의 온도차와 길이가 같으므로 단위 시간 동안 전도되는 열량은 금속 막대의 열전도율과 단면적의 곱에 비례한다. 따라서 $Q_A\propto kS$, $Q_B\propto 0.5k\times 2S=kS$이므로 단위 시간 동안 전도되는 열량은 서로 같다.

05 ㄷ. 지구 내부의 열이 방출되면서 맨틀의 대류가 일어나 판을 이동시킨다.
바로알기 ㄱ. 전기난로는 복사의 방식으로 적외선 복사열을 방출한다. 따라서 열을 전달하는 물질이 없어도 금방 따뜻함을 느낄 수 있다.
ㄴ. 이중창 사이에는 열전도율이 낮은 공기가 있어 전도가 잘되지 않으므로 겨울철에 건물의 열 손실을 줄일 수 있다.

06 ㄱ. 적외선 온도계는 물체가 적외선의 형태로 복사 에너지를 방출하는 것을 이용해 온도를 잰다.
바로알기 ㄴ. 감자를 구울 때 금속을 꽂아 놓으면 전도를 통해 전달된 열로 감자의 속까지 잘 구울 수 있다.
ㄷ. 난방기를 방 한쪽에 설치하면 따뜻한 공기가 위로 올라가고 위쪽의 차가운 공기가 내려오면서 대류를 통해 방 전체의 온도를 높일 수 있다.

07 꼼꼼 문제 분석

보온병 내부에 들어 있는 내용물의 온도를 일정하게 유지하려면 전도, 대류, 복사에 의해 열이 전달되는 것을 막아야 한다.



- 복사: 보온병의 은도금 처리는 내용물에서 나오는 복사 에너지를 반사시켜 복사에 의한 열의 전달을 막아 준다.
- 전도, 대류: 유리 사이의 진공층에는 분자가 거의 존재하지 않아 근처에 있는 분자와의 충돌을 통해 열을 전달할 수도 없고, 분자가 직접 이동해 열을 전달할 수도 없으므로 전도와 대류에 의한 열의 이동을 막아 준다.

모범 답안 보온병의 내부에 들어 있는 내용물에서 나오는 복사 에너지를 반사시켜 복사에 의한 열의 전달을 막기 위해서이다.

채점 기준	배점
은으로 도금한 까닭을 복사와 관련지어 옳게 서술한 경우	100 %
은으로 도금한 까닭을 복사를 막기 위해서라고만 서술한 경우	40 %

08 ㄱ. 단열재가 두꺼울수록 열전달이 잘되지 않는다. 따라서 벽면 사이에 들어가는 단열재의 두께를 두껍게 하면 건물의 단열 성능을 높일 수 있다.

바로알기 ㄴ. 유리창은 일반적으로 단열재가 들어 있는 벽면보다 단열 성능이 떨어지므로 건축물의 단열 성능을 높이기 위해서는 유리창의 크기를 줄이는 것이 좋다.

ㄷ. 열전도율이 낮아야 열이 전달되기 어려우므로 보온과 보냉에 효과적이다. 따라서 건축물의 단열 성능을 높이기 위해서는 열전도율이 낮은 단열재를 사용하는 것이 좋다.

09 ㄱ. 스타이로폼에는 열전도율이 낮은 공기가 들어 있어 금속보다 열을 잘 전달하지 못한다.

바로알기 ㄴ. 진공에서는 전도나 대류가 일어나지 못하지만 복사의 방식으로는 열을 전달할 수 있다.

ㄷ. (가)의 스타이로폼은 전도에 의해 열이 이동하는 것을 막고, (나)의 은도금 반사층은 복사에 의해 열이 이동하는 것을 막는다.

10 온도 변화가 천천히 일어날수록 좋은 단열재이다.

모범 답안 C, (나)의 그래프에서 A는 시간에 따른 온도 변화가 가장 크고, C는 시간에 따른 온도 변화가 가장 작다. 따라서 온도 변화가 천천히 일어나는 C가 가장 좋은 단열재이다.

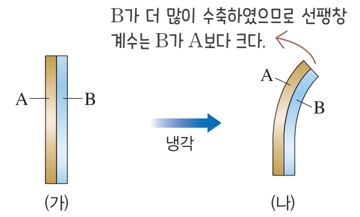
채점 기준	배점
단열재로 가장 좋은 것을 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
단열재로 가장 좋은 것만 옳게 고른 경우	50 %

11 두 막대 A와 B의 길이가 같아져야 하므로 온도차를 $\varDelta T$라고 하면 $80(1+3\alpha\varDelta T)=90(1+\alpha\varDelta T)$에서 $\varDelta T=\dfrac{1}{15\alpha}$이다. 따라서 막대의 길이가 같아질 때의 온도를 T라고 하면 $T-15=\dfrac{1}{15\alpha}$이므로 $T=\left(\dfrac{1}{15\alpha}+15\right)$°C이다.

12 모범 답안 철로의 늘어난 길이를 $\varDelta l$, 선팽창 계수를 α, 처음 길이를 l_0, 온도차를 $\varDelta T$라고 하면, $\varDelta l=\alpha l_0\varDelta T$이므로 $\varDelta l=(12\times10^{-6})\times500\times30=180\times10^{-3}=0.18$(m)이다.

채점 기준	배점
철로의 늘어난 길이를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
철로의 늘어난 길이만 옳게 쓴 경우	50 %

13 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 바이메탈을 가열하면 선팽창 계수가 큰 B가 더 많이 늘어나므로 왼쪽으로 휜다.

바로알기 ㄱ. 바이메탈은 열팽창 정도가 다른 두 금속을 이용한 장치이다.

ㄴ. 냉각시켰을 때 오른쪽으로 휜 것으로 보아 B가 A보다 많이 수축하였다. 따라서 선팽창 계수는 B가 A보다 크다.

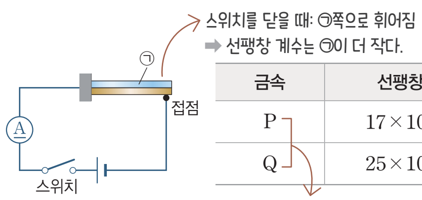
14 ㄱ. 선팽창 계수를 α, 물질의 처음 길이를 l_0, 길이 변화량을 $\varDelta l$, 온도차를 $\varDelta T$라고 하면 $\alpha=\dfrac{\varDelta l}{l_0\varDelta T}$이므로 α는 온도가 1 °C 변할 때 단위 길이당 일어나는 길이 변화를 나타내는 값이다.

ㄴ. 유리의 선팽창 계수는 9×10^{-6}/°C, 처음 길이는 1 m, 온도차는 80 °C이므로 팽창된 길이는

$\varDelta l=\alpha l_0\varDelta T=(9\times10^{-6})\times1\times80=0.72\times10^{-3}$ m에서 0.72 mm이다.

ㄷ. 알루미늄의 선팽창 계수가 가장 크므로 처음 길이와 온도 변화량이 같을 때 가장 많이 팽창한다.

15 꼼꼼 문제 분석



금속	선팽창 계수
P	17×10^{-6}/°C
Q	25×10^{-6}/°C

선팽창 계수: P<Q

ㄱ. P와 Q는 금속이므로 스위치를 닫으면 전류가 흐른다. 이때 전기 저항으로 열이 발생해 온도가 상승한다.

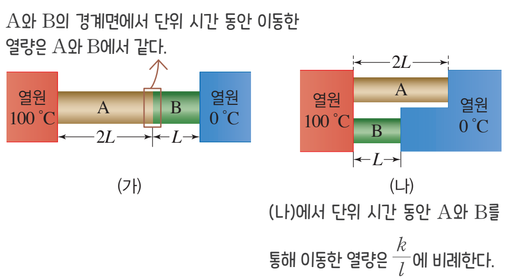
ㄷ. 바이메탈을 온도 조절이 필요한 전기 회로에 사용하면 회로의 온도가 상승할 때 전류를 차단해 제품이 과열되지 않게 해 준다.

바로알기 ㄴ. 전류가 흘렀을 때 바이메탈이 접점에서 떨어졌으므로 ㉠은 적게 늘어난 금속이다. 따라서 선팽창 계수가 작은 P가 ㉠이다.

실력 UP 문제 97쪽

01 ① 02 ⑤ 03 ④ 04 ⑤

01 꼼꼼 문제 분석

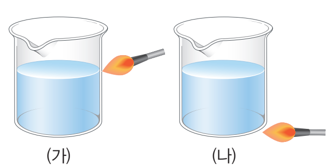


ㄱ. A와 B의 접촉면의 온도가 유지된다는 것은 접촉면에서 A로부터 받는 열량과 접촉면에서 B로 주는 열량이 같다는 것을 의미한다. 즉, 온도가 유지된다는 것은 모든 지점에서 받는 열량과 주는 열량이 같다는 것을 의미한다. 따라서 단위 시간 동안 이동한 열량은 A와 B가 같다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 단위 시간 동안 이동한 열량이 같으므로 단면적을 A라고 하면
$k_A\frac{A(100-25)}{2L}=k_B\frac{A(25-0)}{L}$에서 $3k_A=2k_B$이다. 즉, $k_A : k_B=2:3$이므로 열전도율은 A가 B의 $\frac{2}{3}$배이다.

ㄷ. (나)에서 같은 시간 동안 이동한 열량은 $\frac{Q}{t}=k\frac{A(T_1-T_2)}{l}$에서 단면적 A, 고열원과 저열원의 온도차 T_1-T_2가 같으므로 $\frac{k}{l}$에 비례한다. $k_A : k_B=2:3$이고 $l_A : l_B=2:1$이므로 이동한 열량의 비는 $\frac{k_A}{l_A}:\frac{k_B}{l_B}=1:3$이다. 따라서 B를 통해 이동한 열량이 A의 3배이다.

02 꼼꼼 문제 분석



• (가) 위쪽의 온도가 아래쪽의 온도보다 높으므로 대류가 아래쪽까지 일어나지 않는다. ➡ 전도에 의해 물이 거의 데워진다.
• (나) 아래쪽의 온도가 위쪽의 온도보다 높으므로 대류가 일어난다. ➡ 대류에 의해 물이 데워진다.

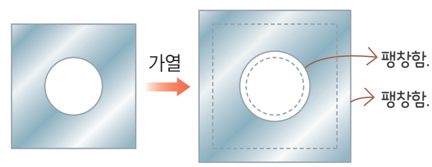
ㄱ. (가)와 같이 비커의 위쪽을 토치로 3분 동안 가열했을 때 물의 대류가 아래쪽까지 일어나지 않으므로 (가)에서는 주로 전도에 의해 열이 이동한다는 것을 알 수 있다. 이때 (가)의 온도 변화가 (나)보다 작으므로 (나)에 비해 열의 이동이 잘 이루어지지 않는다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. (나)와 같이 비커의 아래쪽을 3분 동안 가열했을 때 물의 온도 변화가 더 큰 것으로부터, 물과 같이 분자의 이동이 자유로운 유체는 주로 분자들이 직접 다른 부분으로 이동하는 대류에 의해 열을 전달하는 것을 알 수 있다.

ㄷ. 열은 온도가 높은 토치에서 온도가 낮은 물로 이동하므로 비커에 담긴 물의 온도가 상승한다.

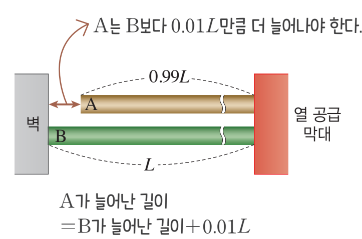
03 ㄱ. 금속공을 가열하면 팽창하므로 공이 고리를 빠져나갈 수 없다.

ㄴ. 금속 고리를 가열하면 금속 고리의 바깥쪽이 팽창한다. 또한 그림과 같이 구멍이 뚫린 금속판이 팽창할 때 구멍 주위 분자들 사이의 거리도 멀어져 금속판의 구멍이 넓어지는 것과 마찬가지로 고리의 안쪽도 팽창하게 되어 금속공이 고리를 빠져나가기 쉬워진다.



바로알기 ㄷ. 고리를 가열하면 팽창한다는 것은 고리의 모든 부분이 커지는 것을 의미한다. 따라서 금속 고리의 구멍뿐만 아니라 한 부분을 자른 틈의 간격도 커지게 된다.

04 꼼꼼 문제 분석



A가 팽창하여 벽에 닿으려면 온도 상승에 의해 A가 늘어난 길이가 B가 늘어난 길이보다 0.01L만큼 커야 한다. 늘어난 길이 $\Delta l=\alpha l_0\Delta T$이므로 A가 벽에 닿을 때의 온도를 T라고 하면 $(3\times10^{-5})\times0.99L\times T=(1\times10^{-5})\times L\times T+0.01L$이다. 따라서 $T=\frac{1000}{1.97}\fallingdotseq508$ °C이다.

02 / 이상 기체 법칙

개념 확인 문제 100쪽

❶ 비열 ❷ 잠열 ❸ 온도 ❹ 흡수 ❺ 보일 ❻ 비례 ❼ 게이뤼삭
❽ $\frac{PV}{T}$

1 (1) ○ (2) × (3) × **2** $\frac{a}{2}$ **3** ㉠ 1, ㉡ 상태 **4** 80 kcal/kg
5 ㄴ, ㄷ

1 (1) 물질의 상태가 기체에서 액체로 변할 때는 열에너지를 방출하고, 액체에서 기체로 변할 때는 열에너지를 흡수한다.
(2) 물질의 상태가 변하는 동안에는 물질의 온도가 변하지 않는다.
(3) $Q=cm\varDelta T$에서 비열(c)이 작으면 물질의 온도를 1 ℃ 높이는 데 필요한 열량이 작다.

2 질량이 2배로 증가하면 $Q=cm\varDelta T$에서 열량(Q), 비열(c)이 같으므로 온도 변화($\varDelta T$)는 $\frac{1}{2}$배가 된다. 따라서 시간에 따른 온도 변화 그래프의 기울기는 $\frac{1}{2}$배가 되므로 기울기는 $\frac{a}{2}$이다.

3 비열 $c=\frac{Q}{m\varDelta T}$로 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 ℃만큼 변화시키는 데 필요한 열량이고, 잠열은 물질의 상태 변화에 사용되는 열량이다.

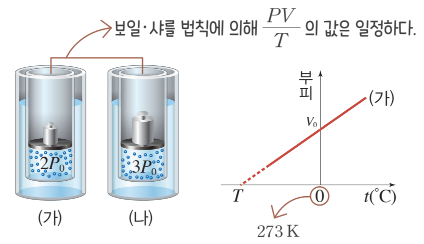
4 융해열은 얼음이 물이 되는 데 공급되는 에너지이다. A는 얼음이 물로 상태가 변하는 구간이므로 얼음의 융해열은 80 kcal/kg이다.

5 ㄱ. 물의 기화열은 융해열보다 크다.
ㄴ. 보일 법칙에 따라 기체의 온도가 일정할 때, 부피와 압력은 반비례한다.
ㄷ. 샤를 법칙에 따라 기체의 압력이 일정할 때, 절대 온도와 부피는 비례한다.

대표 자료 분석 101쪽

1 ㄱ, ㄷ **2** ① **3** ⑤ **4** (1) ○ (2) ○ (3) ×

꼼꼼 문제 분석



1 ㄱ. 그래프를 통해 (가)에서 0 ℃, 즉 273 K일 때 부피는 V_0임을 알 수 있다.
ㄴ. 보일·샤를 법칙에 의해 $\frac{PV}{T}$의 값은 일정하다. 따라서 $\frac{2P_0V_0}{273\text{ K}}=\frac{3P_0V_0}{t}$이므로 (나)에서 이상 기체의 부피가 V_0일 때 절대 온도 $t=409.5$ K이다.
ㄷ. 이상 기체는 기체 분자의 크기와 기체 분자 사이의 상호작용을 무시할 수 있다.

2 (가)에서 $\frac{2P_0V}{t+273\text{ K}}$의 값은 일정하므로 이 값을 C라고 하면 $\frac{2P_0V}{t+273\text{ K}}=C$에서 $V=\frac{C}{2P_0}(t+273\text{ K})$이다. 또한 (나)에서 $\frac{3P_0V}{t+273\text{ K}}=C$이므로 $V=\frac{C}{3P_0}(t+273\text{ K})$이다. 따라서 (가), (나)에서 $t=-273$ ℃일 때 부피가 0이 되고, 기울기는 (나)가 (가)의 $\frac{2}{3}$배가 되는 그래프, 즉 ①의 그래프가 가장 적절하다.

3 온도가 273 ℃, 즉 546 K일 때 보일·샤를 법칙에 의해 $\frac{2P_0V_0}{273\text{ K}}=\frac{PV}{546\text{ K}}$에서 압력과 부피의 곱 $PV=4P_0V_0$으로 일정하다. 따라서 압력과 부피의 곱이 항상 $4P_0V_0$으로 일정한 ⑤의 그래프가 가장 적절하다.

4 (1) T는 이상 기체의 부피가 0이 되는 온도이므로, 절대 온도로 0 K이다.
(2) 압력이 $2P_0$으로 일정하므로 샤를 법칙에 의해 부피는 절대 온도에 비례한다. 0 ℃, 즉 273 K일 때의 부피가 V_0이므로 부피가 $2V_0$일 때의 절대 온도는 2배인 $273\times2=546$(K)$=273$(℃)이다.
(3) 온도가 0 ℃로 같을 때 보일 법칙에 의해 압력과 부피는 반비례 관계이다. 즉, $2P_0V_0=3P_0V$에서 (나)의 부피 $V=\frac{2}{3}V_0$이다.

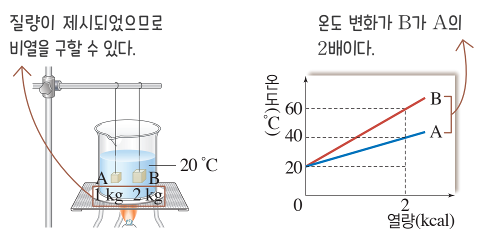
내신 만점 문제

102쪽~104쪽

01 ②	02 ⑤	03 해설 참조		04 해설 참조	
05 ②	06 ③	07 ③	08 ③	09 ④	10 ⑤
11 ③	12 ②	13 ④	14 ⑤		

01 물체가 흡수한 열량을 Q, 물체의 비열, 질량, 온도 변화량을 각각 c, m, ΔT라고 하면 $Q=cm\Delta T$에서 $\Delta T=\dfrac{Q}{cm}$이므로 온도 변화량은 물체의 비열과 질량의 곱에 반비례한다. A, B, C의 비열×질량을 비교하면 0.1 : 2 : 1.4이므로 온도 변화량은 A가 가장 크고, B가 가장 작다. 따라서 $T_A > T_C > T_B$이다.

02 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

A와 B가 2 kcal의 열량을 흡수했을 때 A, B의 온도 변화량이 각각 20 °C, 40 °C이므로 A와 B가 얻은 열량은 $Q=cm\Delta T$에서 $Q_A=c_A \times 1\ \text{kg} \times 20\ °\text{C}$, $Q_B=c_B \times 2\ \text{kg} \times 40\ °\text{C}$이다. A, B가 흡수한 열량은 같으므로 $Q_A=Q_B$에서 $c_A : c_B = 4 : 1$이다.

03 두 개의 금속으로 이루어진 합금의 비열은 각 금속의 비열과 질량에 의해 결정된다.

모범 답안 고체 상태의 합금 5 kg의 온도를 1 °C 높이면 구리 2 kg과 알루미늄 3 kg의 온도가 1 °C 높아진다. 따라서 합금의 비열을 c라고 하면, 합금이 얻은 열량=구리가 얻은 열량+알루미늄이 얻은 열량이므로 $c \times 5 \times 1 = (0.09 \times 2 \times 1) + (0.2 \times 3 \times 1)$에서 $c=0.156\ \text{kcal/kg}\cdot°\text{C}$이다.

채점 기준	배점
합금을 이루고 있는 금속의 질량비를 고려하여 합금의 비열을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
합금의 비열만 옳게 쓴 경우	50 %

04 비열은 물질의 열적 특성을 나타내는 척도이므로 비열을 통해 물질을 구별할 수 있다.

모범 답안 A와 C, $Q=cm\Delta T$에서 물질이 받은 열량 Q가 같으므로 질량과 온도 변화량의 곱 $m\Delta T$가 같으면 비열 c가 같으므로 서로 같은 종류의 물질로 볼 수 있다. 질량과 온도 변화량의 곱은 A가 $0.1 \times (30-10)=2$, B가 $0.15 \times (35-15)=3$, C가 $0.2 \times (20-10)=2$, D가 $0.3 \times (30-15)=4.5$이므로 A와 C의 비열이 같다.

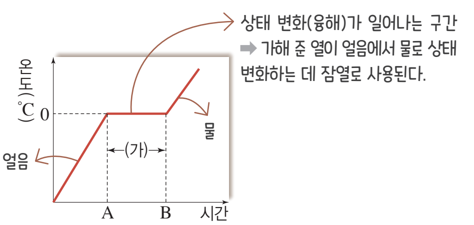
채점 기준	배점
비열이 같은 것을 옳게 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
비열이 같은 것만 옳게 고른 경우	40 %

05 A, B, C를 같은 열원으로 가열하였으므로 걸린 시간이 같으면 A, B, C에 공급된 열량도 같다.
A가 20 °C에서 50 °C가 되는 동안 공급된 열량
=B가 20 °C에서 40 °C가 되는 동안 공급된 열량
=C가 20 °C에서 30 °C가 되는 동안 공급된 열량
열용량은 $C=\dfrac{Q}{\Delta T}$이므로 $C_A : C_B : C_C = \dfrac{Q}{\Delta T_A} : \dfrac{Q}{\Delta T_B} : \dfrac{Q}{\Delta T_C} = \dfrac{1}{30\ °\text{C}} : \dfrac{1}{20\ °\text{C}} : \dfrac{1}{10\ °\text{C}} = 2 : 3 : 6$이다.

06 ㄱ. 낮에는 비열이 작은 육지의 온도가 더 빨리 올라가고 밤에는 육지의 온도가 더 빨리 낮아져 바다와 육지 사이에 온도 차가 생긴다.
ㄴ. 우리 몸의 70 % 정도는 물로 되어 있다. 물은 비열이 커서 외부 온도에 따른 몸의 온도 변화가 적으므로 체온을 유지하기가 쉽다.
바로알기 ㄷ. 상태 변화가 일어나는 동안 온도가 변하지 않는 까닭은 흡수 또는 방출된 열이 상태 변화를 일으키는 데 사용되기 때문이다. 이것은 기화열이나 융해열과 관계가 있으며 비열과 직접적인 관계는 없다.

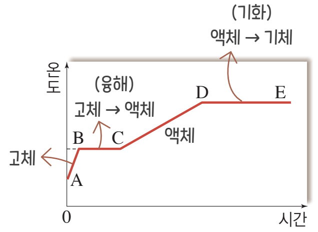
07 꼼꼼 문제 분석

• 얼음을 가열하면 열이 상태 변화에 사용되어 온도가 변하지 않는 구간이 생긴다.
• 물질의 상태 변화에 사용되는 열을 잠열 또는 숨은열이라고 한다.



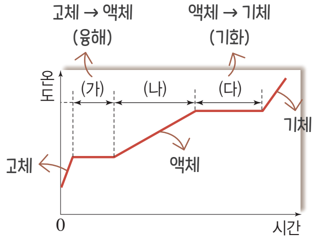
ㄷ. 상태 변화에 필요한 에너지 $Q=mL$에서 얼음의 양을 증가시키면 얼음의 질량 m이 증가하여 Q가 증가하므로 상태 변화에 필요한 열의 양이 많아진다. 따라서 상태 변화가 일어나는 시간, 즉 (가) 구간의 길이가 길어진다.
바로알기 ㄱ, ㄴ. (가) 구간은 상태 변화가 일어나는 구간으로, 흡수된 열이 상태 변화를 일으키는 데 사용된다. 따라서 열의 이동이 없는 열평형 상태가 아니다.

08 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 온도 변화가 AB 구간(고체 상태)이 CD 구간(액체 상태)보다 더 잘 일어나므로 비열은 액체 상태가 고체 상태보다 크다.
ㄴ. BC 구간(융해 구간)에 걸린 시간보다 DE 구간(기화 구간)에 걸린 시간이 길므로 기화열이 융해열보다 크다.
바로알기 ㄷ. DE 구간은 상태가 액체에서 기체로 변하는 구간이다.

09 꼼꼼 문제 분석



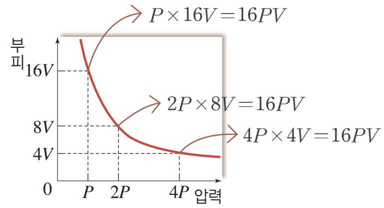
ㄴ. (가) 구간은 융해가 일어나는 구간이므로 (나) 구간은 액체 상태이다.
ㄷ. (다) 구간은 기화가 일어나는 구간으로 물체가 흡수한 열량은 액체에서 기체로 상태 변화하는 데 사용되어 온도 변화가 없다.
바로알기 ㄱ. (가) 구간에서 흡수한 열량을 질량으로 나눈 값은 융해열이다.

10 ㄱ. 냉장고에서는 냉매가 기화할 때 잠열을 흡수하는 것을 이용하여 온도를 낮춘다.
ㄴ. 무더운 여름에 도로나 기차 선로에 물을 뿌리면 물이 기화하면서 잠열을 흡수하여 열기를 식힌다.
ㄷ. 노트북 컴퓨터와 같이 좁은 공간에서 열이 많이 발생하는 전자 기기는 잠열을 이용한 냉각 시스템의 원리를 활용하여 중앙 처리 장치에서 발생하는 열을 효과적으로 방출한다.

11 ㄱ, ㄴ. 이상 기체는 분자의 크기가 무시할 정도로 작고, 분자 간의 인력이 없는 기체이다.
바로알기 ㄷ. $-273\,^{\circ}\mathrm{C}$에서 부피가 0이 되어야 샤를 법칙을 만족한다.

12 보일 법칙에 의해 온도가 일정할 때 부피(V)는 압력(P)에 반비례하므로 $V \propto \frac{1}{P}$이다. 이때 실린더의 단면적을 A라고 하면, 이상 기체의 부피 $V=Ah$에서 V는 h에 비례한다. 또한 대기압은 무시하므로, 올려놓은 추의 개수를 n, 중력 가속도를 g라고 하면 이상 기체의 압력은 $P=\frac{n\times 1\,\mathrm{kg}\times g}{A}$이다. 이때 피스톤의 단면적 A는 일정하므로, P는 추의 개수 n에 비례한다. 따라서 $V \propto \frac{1}{P}$로부터 $h \propto \frac{1}{n}$이 성립한다. 즉, h와 $\frac{1}{\text{추의 개수}}$이 비례 관계가 되어야 한다(①, ②). 또한 샤를 법칙에 의해 압력이 같을 때 부피는 온도에 비례한다. 실린더를 올려놓은 물체의 온도는 [실험 Ⅱ]에서가 [실험 Ⅰ]에서보다 높으므로 이상 기체의 온도는 [실험 Ⅱ]에서가 [실험 Ⅰ]에서보다 높다. 따라서 같은 압력일 때 이상 기체의 부피는 [실험 Ⅱ]에서가 [실험 Ⅰ]에서보다 커야 한다(②, ③). 따라서 모든 조건을 만족하는 ②의 그래프가 가장 적절하다.

13 꼼꼼 문제 분석



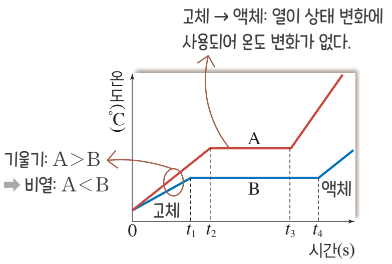
부피와 압력의 곱이 항상 $16PV$로 일정 ➡ 보일 법칙

ㄴ. 부피와 압력의 곱이 항상 $16PV$로 일정하므로, 압력이 $3P$일 때 부피$=\frac{16PV}{3P}=\frac{16V}{3}$이다.
ㄷ. 비행기가 하늘 높이 올라가면 기압이 낮아지므로 비행기 안의 과자 봉지가 부풀어 오른다. 이것은 보일 법칙과 관련이 있다.
바로알기 ㄱ. 부피와 압력의 곱이 항상 $16PV$로 일정하므로, 이는 보일 법칙을 나타낸 그래프이다. 샤를 법칙은 기체의 양과 압력이 일정할 때, 기체의 절대 온도와 부피는 서로 비례한다는 법칙이다.

14 ㄱ. 그래프의 기울기가 일정하므로 압력이 일정할 때 기체의 부피는 절대 온도에 비례한다.
ㄴ. 압력과 온도가 같을 때 A의 부피가 B의 2배이므로 $PV=nRT$에서 n(몰수)도 A가 B의 2배이다.
ㄷ. 열기구 내부의 공기는 아래쪽에서 열을 가하면 팽창하여 부력이 중력보다 커지므로 위로 떠오른다. 이것은 샤를 법칙과 관련이 있다.

01 ② 02 ④ 03 ④ 04 ⑤

01 꼼꼼 문제 분석

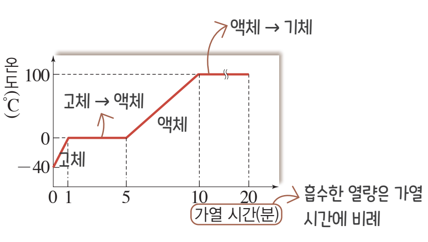


ㄴ. $Q=cm\varDelta T$에서 $\varDelta T=\dfrac{Q}{cm}$이므로 같은 열량($Q$)을 가할 때, 비열($c$)이 클수록 온도 변화량($\varDelta T$)가 작다. 따라서 고체일 때의 비열은 기울기가 작은 B가 A보다 크다.

바로알기 ㄱ. 융해열은 질량 1 kg인 물질이 고체에서 액체가 될 때 필요한 열량이다. 한편 고체에서 액체로 상태가 변할 때는 온도가 변하지 않으므로 A의 t_2~t_3, B의 t_1~t_4 구간이 융해열이 사용된 구간이다. 따라서 A의 경우 t_2~t_3 동안 가해 준 열량을 A의 질량으로 나눈 값이 융해열이고, B의 경우 t_1~t_4 동안 가해 준 열량을 B의 질량으로 나눈 값이 융해열이다. 가해 준 열량은 시간에 비례하므로 t_2~t_3 동안 A에 가해 준 열량이 t_1~t_4 동안 B에 가해 준 열량보다 작다. 즉, A와 B의 질량은 같고, 가해 준 열량은 A가 B보다 작으므로 융해열은 A가 B보다 작다.

ㄷ. 고체 상태의 두 물질 A와 B를 동일한 열원으로 동시에 가열하였으므로 A와 B가 받은 열량은 시간에 비례한다. 따라서 시간 0초부터 t_2초까지 받은 열량은 A와 B가 서로 같다.

02 꼼꼼 문제 분석



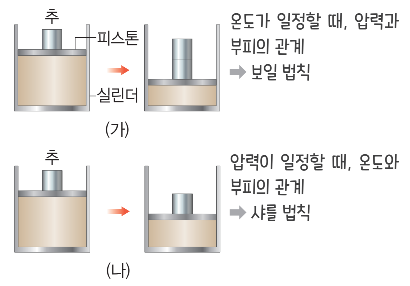
ㄴ. 고체가 단위 시간 동안 흡수한 열량이 같으므로 1분부터 5분까지 흡수한 열량은 0분부터 1분까지 흡수한 열량인 4 kcal의 4배인 16 kcal이다. 고체의 질량이 0.2 kg이므로 융해열$=\dfrac{16\text{ kcal}}{0.2\text{ kg}}=80\text{ kcal/kg}$이다.

ㄷ. 액체 상태에서 온도가 0 ℃에서 100 ℃까지 변하는 동안 흡수한 열량은 4 kcal의 5배인 20 kcal이고 질량이 0.2 kg이므로 비열은 $\dfrac{20\text{ kcal}}{0.2\text{ kg}\times 100\text{ ℃}}=1\text{ kcal/kg}\cdot\text{℃}$이다.

바로알기 ㄱ. 0~1분까지 흡수한 열량은 $Q=cm\varDelta T$에서 $0.5\text{ kcal/kg}\cdot\text{℃}\times 0.2\text{ kg}\times 40\text{ ℃}=4\text{ kcal}$이다.

03 꼼꼼 문제 분석

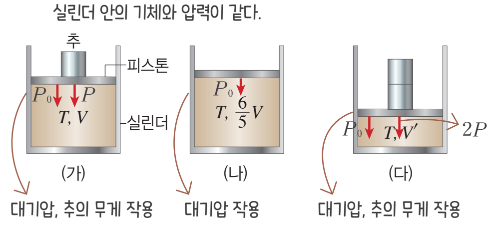
압력(P), 부피(V), 온도(T) 사이에는 '$\dfrac{PV}{T}=$일정'이 성립한다.



기체의 부피 V, 압력 P, 절대 온도 T 사이에는 $\dfrac{PV}{T}=\dfrac{P'V'}{T'}$의 관계가 성립하고 기체가 빠져나가거나 새로 들어오지 않으면 몰수가 변하지 않으므로 이 값은 일정하게 유지된다. 따라서 실험 과정에서 일정한 값을 갖는 것은 $\dfrac{\text{압력}\times\text{부피}}{\text{절대 온도}}$이다.

04 꼼꼼 문제 분석

피스톤에는 대기압과 추의 무게가 작용하는 압력이 작용하며,
실린더 안의 기체와 압력이 같다.



대기압을 P_0, 추 1개의 무게가 피스톤에 작용하는 압력을 P라고 하면 (가)와 (나)에서 $(P_0+P)V=P_0\times\dfrac{6}{5}V$가 성립하고, (가)와 (다)에서 $(P_0+P)V=(P_0+2P)V'$가 성립한다. 따라서 두 식으로부터 $P=\dfrac{1}{5}P_0$이고, $V'=\dfrac{6}{7}V$이다.

중단원 핵심 정리 106쪽~107쪽

① 전도 ② 비례 ③ 직접 ④ 전자기파 ⑤ 단열
⑥ 두껍게 ⑦ 낮은 ⑧ 증가 ⑨ 선팽창 계수 ⑩ 바이메탈
⑪ 비열 ⑫ 잠열 ⑬ 온도 ⑭ 액체 ⑮ 반비례 ⑯ 비례
⑰ 게이뤼삭 ⑱ 수 ⑲ 이상 기체 법칙 ⑳ 샤를

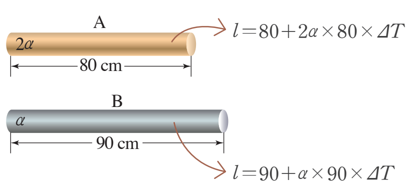
중단원 마무리 문제 108쪽~111쪽

01 ③ **02** ④ **03** ⑤ **04** ① **05** ④ **06** ②
07 ① **08** ① **09** ① **10** ③ **11** ② **12** ①
13 ① **14** 해설 참조 **15** 해설 참조
16 해설 참조

01 ㄱ. 모닥불 위에 있는 냄비는 전도에 의해 손잡이까지 열이 전달된다. 따라서 장갑을 끼고 뜨거운 손잡이를 잡는 것은 전도에 의한 열전달을 차단하기 위한 것이다.
ㄷ. 모닥불에서 나오는 빛이나 열은 다른 물질의 도움 없이 직접 손으로 열이 전달된다. 이것은 한 물체에서 다른 물체로 열을 전달하는 복사 형태로 열전달이 일어나는 것이다.
바로알기 ㄴ. 물이 수증기로 상태 변화가 일어날 때는 열이 상태 변화에 사용되므로 온도가 상승하지 않는다.

02 꼼꼼 문제 분석

나중 길이 $l=l_0+\alpha l_0 \Delta T$이다.

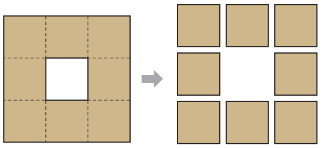


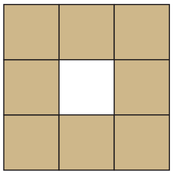
금속 막대의 처음 길이를 l_0, 늘어난 길이를 Δl, 최종 길이를 l이라고 하면 $l=l_0+\Delta l$이고, $\Delta l=\alpha l_0\Delta T$이다. 이때 α는 선팽창 계수, ΔT는 온도 변화량이다. 따라서 최종 길이는 $l=l_0+\alpha l_0\Delta T$이고, 두 금속 막대의 최종 길이가 같으므로 $l=80+2\alpha\times80\times\Delta T=90+\alpha\times90\times\Delta T$에서 $7\alpha\Delta T=1$이다. 두 막대의 나중 온도를 x라고 하면, $\Delta T=x-20$이므로 $\frac{1}{7\alpha}=x-20$에서 $x=\left(20+\frac{1}{7\alpha}\right)$℃이다.

03 ㄱ. 뜨거운 물을 담았을 때와 차가운 물을 담았을 때 모두 빨대로 감싼 경우가 온도 변화가 가장 적으므로 단열 효과가 가장 좋은 단열재는 빨대이다.
ㄴ. 빨대, 솜, 뽁뽁이, 신문지 순으로 온도 변화가 적고, 온도 변화가 적을수록 단열 효과가 좋다. 빨대, 솜, 뽁뽁이에는 공기가 많이 들어 있으므로 공기가 많이 들어 있으면 단열 효과가 좋다는 것을 알 수 있다.
ㄷ. 실험 결과를 통해 뜨거운 물을 담았을 때 온도 변화가 적은 경우는 차가운 물을 담았을 때도 온도 변화가 적으므로 보온에 효과가 좋은 단열재는 보냉에서도 효과가 좋다는 것을 알 수 있다.

04 꼼꼼 문제 분석

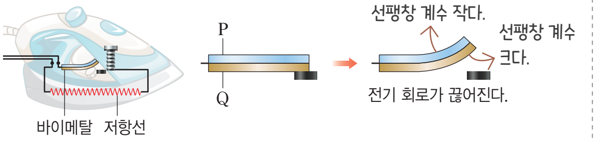
물체에 열을 가하면 길이 팽창과 부피 팽창이 일어난다. 그림 (가)와 같이 둥근 고리를 펴서 사각 고리의 조각으로 생각해 보자. 여기에 열을 가하면 각각의 조각들이 팽창하게 되어 테두리 부분의 지름이 커지고 그림 (나)와 같이 안쪽 부분의 지름도 커지는 것을 알 수 있다.


(가)


(나)

금속 고리에 열을 가하면 바깥쪽 부분의 지름 a도 커지고, 안쪽 지름 b도 커지게 된다. 이와 같은 원리로 금속의 병뚜껑이 잘 열리지 않을 때 뚜껑을 뜨거운 물에 담가 열을 가하면 뚜껑의 안쪽 지름도 증가하여 쉽게 병뚜껑을 열 수 있다.

05 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

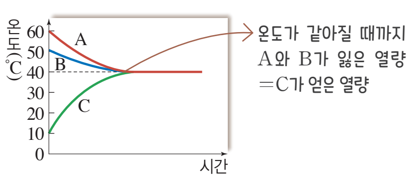
P	A	C	B	C
Q	B	D	D	A
선팽창 계수 비교:	A<B	C<D	B<D	C<A

ㄴ. 표와 같이 P와 Q에 사용하는 금속을 바꾸었을 때 전기 회로가 모두 끊어졌으므로 선팽창 계수를 비교해 보면 A<B, C<D, B<D, C<A이다. 따라서 선팽창 계수는 C<A<B<D이므로 P에는 C를, Q에는 D를 사용하면 가장 빨리 전기 회로를 끊어지게 할 수 있다.
ㄷ. 바이메탈은 전기 다리미, 전기 주전자, 온도계 등의 자동 온도 조절 장치에 쓰인다.
바로알기 ㄱ. P를 A로, Q를 B로 하였을 때, 전기 회로가 끊어지므로 B가 A보다 잘 늘어난다. 따라서 선팽창 계수는 A가 B보다 작다.

06 ㄷ. 얼음에 물을 뿌리면 얼음에 닿은 물이 얼면서 열을 방출하므로 이글루 안을 따뜻하게 만들 수 있다.
바로알기 ㄱ. 열이 날 때 물을 몸에 바르면 체온을 낮출 수 있는 것은 물이 기화되면서 열을 흡수하기 때문이다.
ㄴ. 더운 여름날 도로에 물을 뿌리면 주변이 시원해지는 것은 물이 기화되면서 열을 흡수하기 때문이다.

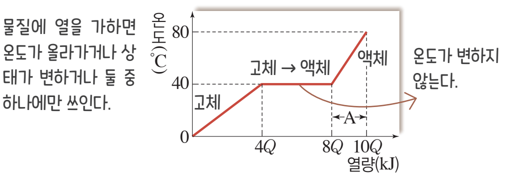
07 ㄱ. 두 액체에 같은 열량을 가했으므로 온도 변화량은 $\varDelta T=\dfrac{Q}{C}$에서 열용량(C)에 반비례한다. (나)에서 온도 변화량은 B가 A보다 크므로 열용량은 A가 B보다 크다는 것을 알 수 있다.
바로알기 ㄴ, ㄷ. 주어진 실험 결과로는 열용량의 대소 관계만을 알 수 있을 뿐이며, 질량의 대소 관계는 알 수 없으므로 비열의 대소 관계도 알 수가 없다.

08 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 열용량 C는 $C=cm$이므로 비열 c와 질량 m의 곱이다. 열용량은 B가 A의 2배이고, 질량은 A가 B의 2배이므로 비열은 B가 A의 4배이다.
바로알기 ㄱ. A, B가 잃은 열량은 같으므로 $Q=C\varDelta T$에서 열용량 C와 온도 변화량 $\varDelta T$는 반비례한다. 온도 변화량은 A가 B의 2배이므로 열용량은 A가 B의 $\dfrac{1}{2}$배이다.
ㄷ. C가 얻은 열량 Q_C는 A와 B가 잃은 열량의 합 Q_A+Q_B와 같으므로 $Q_C=Q_A+Q_B$이다. A, B, C의 비열을 각각 c, $4c$, c_C라고 하면, $Q=cm\varDelta T$에 따라 $c_C\times4m\times30=c\times2m\times20+4c\times m\times10$에서 $c_C=\dfrac{2}{3}c$이므로 C의 비열은 B의 $\dfrac{1}{6}$배이다.

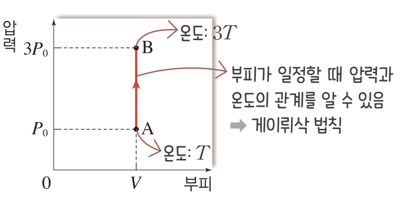
09 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 물체가 흡수한 열량을 Q, 물체의 열용량을 C, 물체의 온도 변화량을 $\varDelta T$라고 할때, $Q=C\varDelta T$에서 열용량 $C=\dfrac{Q}{\varDelta T}$이다. 고체일 때와 액체일 때 온도 변화량은 40 ℃로 같고, 흡수한 열량은 고체일 때가 액체일 때보다 크다. 따라서 열용량은 고체일 때가 액체일 때보다 크다.
바로알기 ㄱ. $0\sim4Q$일 때는 고체 상태, $4Q\sim8Q$일 때는 고체가 액체로 변하는 상태, $8Q\sim10Q$인 A 구간에서는 액체 상태이다.
ㄷ. 응고열은 액체가 고체가 되는 데 방출한 열량이므로 온도 변화가 없는 구간에서 단위 질량당 방출한 열량을 구하면 된다. 따라서 응고열은 $\dfrac{4Q\ \mathrm{kJ}}{0.2\ \mathrm{kg}}=20Q\ \mathrm{kJ/kg}$이다.

10 얼음의 질량을 m이라고 하면, 3분부터 12분까지 가한 열이 얼음을 모두 녹이므로 9분 동안 얼음에 공급한 열량은 $336\times m$(kJ)이다. 따라서 3분 동안 가해지는 열량은 $112\times m$(kJ)이며, 얼음 상태에서 3분 동안 온도가 54 ℃ 상승하였으므로 얼음의 비열 c는 $c=\dfrac{Q}{m\varDelta T}=\dfrac{112\times m}{m\times54}\fallingdotseq2.07$(kJ/kg·℃)이다.

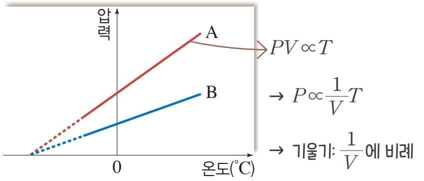
11 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 부피가 일정하므로 기체의 온도는 압력에 비례한다. 따라서 온도는 B에서가 A에서의 3배이다.
바로알기 ㄱ. 부피가 일정할 때, 온도와 압력의 관계는 게이뤼삭 법칙과 관련이 있다.
ㄷ. 열기구 내부의 공기는 열을 가하면 팽창하여 위로 떠오른다. 이것은 샤를 법칙과 관련이 있다.

12 꼼꼼 문제 분석

기체의 부피가 일정할 때 압력(P)과 온도(T)는 비례 ➡ 게이뤼삭 법칙



ㄴ. 압력 P, 부피 V, 절대 온도 T의 관계는 $PV \propto T$이다. 따라서 그래프의 기울기는 $\frac{1}{V}$에 비례한다. 0 ℃로 온도가 같은 경우 압력과 부피는 반비례하므로 부피는 압력이 작은 B가 A보다 크다.

바로알기 ㄱ. 그래프에서 기체의 압력과 온도가 비례하므로 A의 부피는 일정하다.

ㄷ. 이상 기체의 부피가 일정할 때 기체의 압력과 절대 온도가 비례하는 법칙은 게이뤼삭 법칙이다.

13 ㄱ. 20 ℃는 절대 온도로 20 ℃+273=293 K이다.

바로알기 ㄴ. 40 ℃는 절대 온도로 313 K이다. 40 ℃일 때의 A의 부피를 V_1이라고 하면 압력이 일정할 때 부피는 절대 온도에 비례한다. $\frac{V}{T}=\frac{V'}{T'}$에 따라 $\frac{300}{293}=\frac{V_1}{313}$이므로 $V_1 \fallingdotseq 320$ mL이다.

ㄷ. 40 ℃일 때의 B의 부피를 V_2라고 하면 $\frac{V}{T}=\frac{V'}{T'}$에 따라 $\frac{500}{293}=\frac{V_2}{313}$이므로 $V_2 \fallingdotseq 534$ mL이다. 따라서 A, B의 온도가 40 ℃가 되면 A와 B의 부피의 차이는 534−320=214(mL)이므로 300 mL보다 작다.

14 물질을 구성하는 입자들의 직접적인 이동 없이 물질 내에서 이웃한 분자들 간의 충돌에 의해 열이 전달되는 현상은 전도이다.

모범 답안 나무의 열전도율은 매우 낮아 나무에서는 열의 이동이 많지 않아 피부가 직접 닿아도 화상을 입을 가능성이 낮다. 이것은 금속 냄비의 손잡이를 나무로 하면 냄비는 매우 뜨겁지만 손잡이를 잡으면 뜨거움을 덜 느끼는 것과 같은 원리이다.

채점 기준	배점
나무 의자가 뜨겁지 않다고 느끼는 까닭과 생활 속의 사례를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
나무 의자가 뜨겁지 않다고 느끼는 까닭과 생활 속의 사례 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

15 모범 답안 바다 표면 기압이 1기압이므로 수심이 60 m인 곳에서는 7기압이고, 절대 온도는 7 ℃+273=280 K이다. 바다 표면에서 절대 온도는 17 ℃+273=290 K이고, 보일·샤를 법칙 $\frac{PV}{T}=\frac{P'V'}{T'}$에서 바다 표면에 닿기 직전 공기 방울의 부피를 V'라고 하면

$\frac{7\text{기압}\times 1\,\text{cm}^3}{280\text{ K}}=\frac{1\text{기압}\times V'}{290\text{ K}}$이므로 $V'=\frac{29}{4}$ cm³이다.

채점 기준	배점
수심 60 m인 곳의 기압이 7기압임을 설명하고, 풀이 과정과 함께 답을 옳게 구한 경우	100 %
공기 방울의 부피만 옳게 쓴 경우	50 %

16 기체의 종류에 관계없이 모든 기체는 동일한 온도와 압력에서 같은 부피 속에 같은 수의 분자를 포함한다.

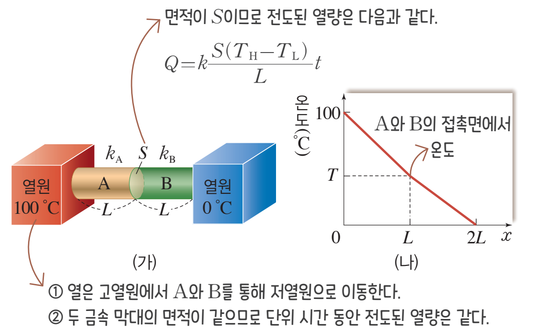
모범 답안 0 ℃, 1기압에서 1몰의 기체가 차지하는 부피는 기체의 종류에 관계없이 22.4 L이다. 기체의 분자수가 N개일 때 압력이 2기압이므로 이 기체는 2몰이며 기체의 분자수는 아보가드로수의 2배이다. 따라서 아보가드로수 N_0은 $N=2N_0$에서 $N_0=\frac{N}{2}$이다.

채점 기준	배점
아보가드로수의 정의를 문제에 적용하여 분자수와 아보가드로수의 관계를 정확히 서술한 경우	100 %
분자수를 바탕으로 아보가드로수만 옳게 쓴 경우	50 %

중단원 고난도 문제 112쪽~113쪽

01 ④ **02** ③ **03** ⑤ **04** ① **05** ② **06** ③
07 ④ **08** ③

01 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

① 10 ℃ ② 20 ℃ ③ 30 ℃ ④ 40 ℃ ⑤ 50 ℃

전략적 풀이 ❶ 고열원과 저열원이 단면적이 같은 금속 막대로 연결되어 있는 경우 단위 시간 동안 두 금속 막대를 통해 전도되는 열량이 같다는 것을 이해한다.

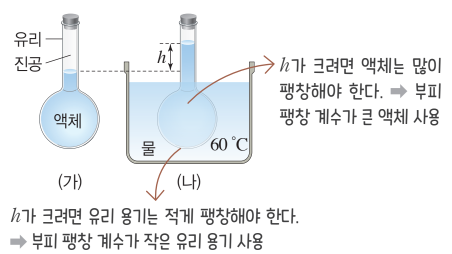
두 금속 막대의 단면적이 같으므로 같은 시간 동안 이동한 열량 $\frac{Q}{t}$는 같다.

❷ 문제에서 제시된 물리량을 이용하여 A와 B에 전도된 열량을 구한다.

A와 B에 전도된 열량은 같고, 금속 막대의 단면적이 S이므로 전도된 열량은 $Q=k\frac{S(T_{\mathrm{H}}-T_{\mathrm{L}})}{L}t$이다. 따라서 $2\times\frac{S(100-T)}{L}=3\times\frac{S(T-0)}{L}$에서 $200-2T=3T$이고 $T=40\ ^\circ\mathrm{C}$이다.

02

꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

	용기	액체
①	소다 라임 유리	부탄올
②	소다 라임 유리	옥탄올
③	석영 유리	부탄올
④	석영 유리	옥탄올
⑤	파이렉스 유리	톨루엔

전략적 풀이 ❶ 문제에 제시된 자료를 바탕으로 부피 팽창 계수를 비교한다.

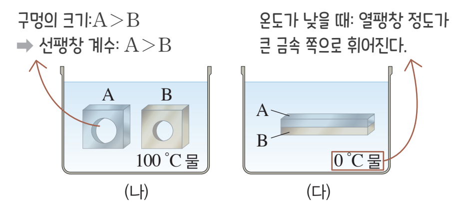
유리의 경우 소다 라임 유리의 부피 팽창 계수가 가장 크고, 석영 유리의 부피 팽창 계수가 가장 작다. 또, 액체의 경우 부탄올의 부피 팽창 계수가 가장 크고 옥탄올의 부피 팽창 계수가 가장 작다.

❷ h가 크려면 액체는 많이 팽창하고, 유리 용기는 적게 팽창해야 한다는 것을 알아야 한다.

용기의 부피 팽창 계수는 작아야 하고, 액체의 부피 팽창 계수는 커야 한다. 따라서 용기는 석영 유리를 사용하고, 액체는 부탄올을 사용한다.

03

꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. 선팽창 계수는 A가 B보다 크다.

ㄴ. B의 구멍의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. (다)에서 두 금속 막대는 A쪽으로 휜다.

전략적 풀이 ❶ 금속이 열을 받으면 금속이 팽창하고, 이때 구멍의 크기도 커진다는 것을 파악한다.

ㄱ. (나)에서 구멍의 크기가 A가 B보다 크므로 선팽창 계수는 A가 B보다 크다.

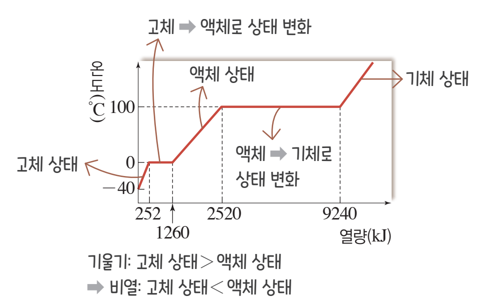
ㄴ. B의 온도가 증가하면 B의 구멍은 커지므로 B의 구멍의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

❷ 바이메탈이 팽창될 때는 선팽창 계수가 작은 쪽으로 휘어지지만 바이메탈이 축소될 때는 선팽창 계수가 큰 쪽으로 휘어짐을 파악한다.

ㄷ. (다)에서 $0\ ^\circ\mathrm{C}$의 물에 담가 두면 두 막대는 축소한다. 이때 선팽창 계수가 큰 A가 B보다 많이 축소하므로 두 금속 막대는 A 쪽으로 휜다.

04

꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. 비열은 물질이 고체일 때가 액체일 때보다 크다. 작다

ㄴ. 물질의 응고열은 $\frac{1008}{m}$ kJ/ kg이다.

ㄷ. 물질의 기화열은 융해열보다 작다. 크다

전략적 풀이 ❶ 그래프의 기울기는 물질의 비열의 역수임을 파악한다.

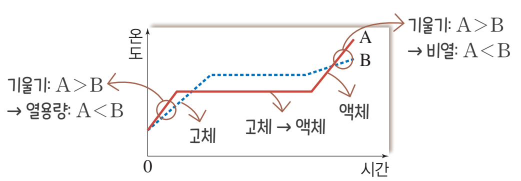
ㄱ. 열량 $Q=cm\Delta T$에서 비열 $c=\frac{Q}{m\Delta T}$이다. 고체 상태의 비열은 $\frac{252}{m\times 40}=\frac{6.3}{m}$ kJ/kg·°C, 액체 상태의 비열은 $\frac{2520-1260}{m\times 100}=\frac{12.6}{m}$ kJ/kg·°C이므로 비열은 액체일 때가 고체일 때보다 크다.

❷ 융해열과 기화열은 물질의 상태가 변할 때 필요한 에너지이다. 즉 잠열이다. 잠열을 구하기 위해서는 물질의 상태가 변하는 단계에서 찾는다.

ㄴ. 응고열은 융해열과 크기가 같으므로 물질 1 kg을 고체에서 액체로 변화시키는 데 필요한 융해열은 $\frac{1260-252}{m}=\frac{1008}{m}$ kJ/kg이다.

ㄷ. 기화열은 $\frac{9240-2520}{m}=\frac{6720}{m}$ kJ/kg, 융해열은 $\frac{1008}{m}$ kJ/kg이므로 기화열이 융해열보다 크다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. 고체 상태에서 열용량은 A가 B보다 크다. 작다

ㄴ. 융해열은 B가 A보다 크다. 작다

ㄷ. 액체 상태에서 비열은 B가 A보다 크다.

전략적 풀이 ❶ 그래프의 기울기로 열용량과 비열을 구할 수 있다.

ㄱ. 열량을 Q, 열용량을 C, 온도 변화량을 ΔT라고 할 때, $Q=C\Delta t$이고 $C=\frac{Q}{\Delta t}$이다. 그래프에서 기울기는 온도 변화량을 나타내고 고체 상태에서 기울기는 A가 B보다 크므로 고체 상태에서 열용량은 B가 A보다 크다.

ㄷ. 질량이 같으므로 열용량이 클수록 비열도 크다. 따라서 액체 상태일 때 그래프의 기울기가 작은 경우가 비열이 크므로 액체 상태에서 비열은 B가 A보다 크다.

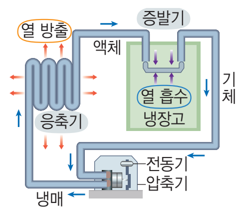
❷ 온도 변화가 없는 구간은 물질의 상태가 변하는 구간임을 이해한다.

ㄴ. 그래프에서 온도가 변하지 않는 구간이 고체에서 액체로의 상태 변화가 일어나고 있는 구간이다. A가 B보다 오랜 시간 동안 온도가 변하지 않으므로 융해열은 A가 B보다 크다.

06 꼼꼼 문제 분석

잠열

일상생활에서 (㉠)을 활용하는 대표적인 예로 냉장고가 있다. 냉장고의 압축기가 기체 상태의 냉매를 갑자기 압축시키면 냉매의 압력이 증가하여 고압이 된다. 이 고압의 냉매를 응축기로 보내면 ㉡ 냉매는 기체에서 액체로 상태가 변하는 과정을 거쳐 증발기로 흘러 들어간다. 액체 상태의 냉매가 증발기에서 (㉢)하면서 냉장고 내부로부터 열을 흡수해 냉장고 안의 온도를 낮춘다.



기체에서 액체로 상태가 변하는 과정에서는 열을 방출한다.

선택지 분석

ㄱ. ㉠에는 '잠열'이 적절하다.

ㄴ. ㉡ 과정에서 응축기는 열을 흡수한다. 방출

ㄷ. ㉢에는 '기화'가 적절하다.

전략적 풀이 ❶ 조사한 내용이 잠열의 이용과 관련된 내용임을 파악할 수 있어야 한다.

ㄱ. 냉장고는 냉매를 이용한 상태 변화로 열을 흡수하거나 방출하므로 잠열을 이용한다.

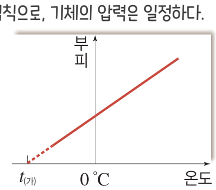
❷ 물질의 상태가 변할 때는 열을 흡수하거나 방출한다는 것을 이해한다.

ㄴ. 응축기에서는 냉매를 기체 상태에서 액체 상태로 변화시키면서 열을 방출한다.

ㄷ. 증발기에서는 냉매를 액체에서 기체로 기화시켜 냉장고 안의 열을 흡수하므로 냉장고 내부가 시원해진다.

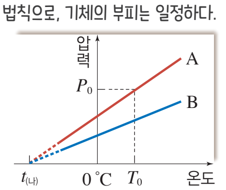
07 꼼꼼 문제 분석

온도에 따른 부피 변화의 관계는 샤를 법칙으로, 기체의 압력은 일정하다.



(가)

온도에 따른 압력 변화의 관계는 게이뤼삭 법칙으로, 기체의 부피는 일정하다.



(나)

선택지 분석

ㄱ. $t_{(가)}=t_{(나)}$이다.

ㄴ. (나)에서 A의 온도가 T_0보다 클 때, A의 부피는 V_0보다 크다. 이다.

ㄷ. (나)에서 B의 온도가 T_0일 때, B의 부피는 V_0보다 크다.

전략적 풀이 ❶ 이상 기체의 부피가 0이고, 압력이 0인 상태는 절대 온도 0 K 상태임을 이해한다.

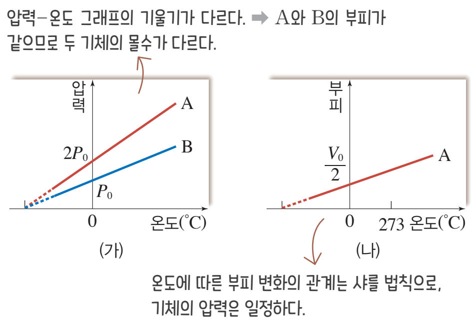
ㄱ. 이상 기체의 부피와 압력이 0이 되는 온도는 절대 온도 0 K으로 같다.

❷ 압력, 부피, 온도의 관계를 구하기 위해서는 일정한 물리량이 무엇인지 파악한다.

ㄴ. (나)에서 A의 부피는 일정하다. 따라서 A의 온도가 T_0보다 클 때에도 A의 부피는 V_0이다.

ㄷ. $PV \propto T$에서 $P \propto \frac{1}{V}T$이므로 압력-온도 그래프에서 기울기는 $\frac{1}{\text{부피}}$에 비례한다. 따라서 기울기가 작을수록 부피가 크므로 B의 부피는 온도에 관계없이 항상 V_0보다 크다.

08 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. (가)에서 몰수는 A가 B의 2배이다.

ㄴ. (나)에서 0 °C일 때의 A의 압력은 $4P_0$이다.

~~ㄷ.~~ (나)에서 273 °C일 때 A의 압력은 $2P_0$이다. $4P_0$

전략적 풀이 ❶ 이상 기체의 물리량을 구할 때는 이상 기체 방정식 $PV=nRT$를 이용한다.

ㄱ. 이상 기체 방정식 $PV=nRT$에서 0 °C일 때, A와 B의 부피는 V_0으로 같고, 이상 기체 상수 R도 같으므로 몰수 n은 압력에 비례한다. 0 °C일 때, 압력은 A : B가 2 : 1이므로 몰수도 2 : 1이다.

ㄴ. (가)에서 A의 몰수를 n, 0 °C일 때의 절대 온도를 T_0이라고 하면 A에서 $2P_0V_0=nRT_0$이 성립한다. (나)에서 A의 압력을 P라고 하면 0 °C일 때의 이상 기체 방정식은 $P\times\frac{V_0}{2}=nRT_0$이므로 $P=4P_0$이다.

❷ 부피-온도 그래프에서 기체의 압력은 일정하다는 것을 파악한다.

ㄷ. 이상 기체의 부피와 온도 사이의 관계를 나타낸 그래프에서 압력은 일정하다. (나)에서 A의 압력이 $4P_0$이므로 273 °C일 때에도 A의 압력은 $4P_0$이다.

2 열기관과 엔트로피

01 / 열역학 제1법칙

개념 확인 문제

119쪽

❶ 운동 ❷ 비례 ❸ 일 ❹ 1 ❺ 압력 ❻ 등적 ❼ 등온 ❽ 단열 ❾ 단열 팽창

1 100 J **2** 300 J **3** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × **4** ㉠ 열, ㉡ 일 **5** ㉠ 일정, ㉡ 높아 **6** (1) 단열 과정 (2) 등적 과정 (3) 단열 과정

1 기체가 외부에 한 일 W는 압력 P와 부피 변화량 ΔV의 곱과 같다. 즉, $W=P\Delta V$에서 $10^5\ \mathrm{N/m^2}\times10^{-3}\ \mathrm{m^3}=100\ \mathrm{J}$이다.

2 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$에서 $1000\ \mathrm{J}=700\ \mathrm{J}+W$이므로 $W=300\ \mathrm{J}$이다.

3 (1) 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 평균 운동 에너지에 비례하고, 평균 운동 에너지는 기체의 온도에 비례한다.

(2) 기체가 흡수한 열이 모두 내부 에너지로 전환되는 과정은 기체가 일을 하지 않는 과정이므로 등적 과정이다.

(3) 단열 압축은 기체가 외부와의 열 출입 없이 부피가 압축되는 과정으로 외부에서 받은 일만큼 내부 에너지는 증가하고 온도는 높아진다.

(4) 스프레이 통에서 기체를 분사하면 통 안의 공기는 순간적으로 부피가 증가하는 단열 팽창이 일어나 기체의 온도가 낮아지므로 통이 차가워진다.

4 기체에 ㉠ 열을 가하면 기체의 온도는 올라가고, 기체의 부피가 팽창하면서 외부로 ㉡ 일을 한다.

5 등적 과정에서 기체의 부피는 변하지 않으므로 기체가 외부에 하는 일 $W=0$이다. $\frac{PV}{T}$는 일정하므로 기체의 온도가 높아지면 압력도 높아진다.

6 (1) 구름은 수증기를 포함한 공기가 상승하면서 단열 팽창하여 온도가 낮아지면 수증기가 물방울로 응결할 때 생성되므로 단열 과정이다.

(2) 압력 밥솥은 밀폐되어 부피가 변하지 않으므로 받은 열이 모두 내부 에너지를 증가시키는 등적 과정이다.

(3) 동해에서 이동해 온 습한 공기가 태백 산맥의 동쪽을 올라가면서 비를 뿌린 후 서쪽 경사면으로 내려오는 과정에서 단열 압축되어 고온 건조한 바람이 발생한다.

완자쌤 비법특강

120쪽~121쪽

Q1 $4P_0V_0$ **Q2** 0 **Q3** A → B 과정, B → C 과정

Q1 압력-부피 그래프에서 A → B → C → D → A로 둘러싸인 부분의 넓이가 기체가 외부에 한 일이므로 한 일$=(3P_0-P_0)\times(3V_0-V_0)=2P_0\times2V_0=4P_0V_0$이다.

Q2 기체의 상태가 A → B → C → A를 따라 변할 때 기체의 분자수는 일정하고, 온도 변화량은 0이므로 내부 에너지 변화량은 0이다.

Q3 A → B 과정은 부피가 일정하므로 $W=0$이고 온도는 증가한다. 따라서 $Q=\varDelta U$에서 내부 에너지 변화량의 부호가 (+)이므로 열을 흡수하는 과정이다. B → C 과정은 온도가 일정하고 기체가 외부로 일을 하므로 $Q=W$에서 $W>0$이므로 열을 흡수한다. C → D 과정은 부피가 일정하고 온도가 감소하므로 $Q=\varDelta U$에서 내부 에너지 변화량의 부호가 (−)이므로 열을 방출하는 과정이다. D → A 과정은 온도가 일정하고 기체가 외부에서 일을 받으므로 $Q=W$에서 $W<0$이므로 열을 방출한다.

대표 자료 분석

122쪽

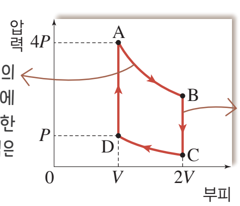
1 $2P$ **2** $\frac{P}{2}$ **3** (1) 한다 (2) 감소 (3) 받는다 (4) 증가

4 (1) A → B 과정, D → A 과정 (2) B → C 과정, C → D 과정

5 (1) × (2) ○ (3) ×

꼼꼼 문제 분석

A에서 압력과 부피의 곱이 $4PV$이므로 B에서도 $4PV$이어야 한다. ➡ B에서 압력은 $2P$이다.



등적 과정 ➡ 기체가 흡수하거나 방출한 열에너지는 기체의 내부 에너지 변화량과 같다.

1 A → B 과정은 등온 과정이므로 A와 B에서 온도가 같다. A에서 압력과 부피의 곱이 $4PV$이므로 B에서 압력을 P'라고 하면 $4PV=P'\times2V$에서 $P'=2P$이다.

2 C → D 과정은 등온 과정이므로 C와 D에서 온도가 같다. D에서 압력과 부피의 곱이 PV이므로 C에서 압력을 P'라고 하면 $PV=P'\times2V$에서 $P'=\frac{P}{2}$이다.

3 (1) A → B 과정에서는 부피가 증가하므로 $W=P\varDelta V$에서 $W>0$이다. W의 부호가 (+)이므로 기체는 외부에 일을 한다.
(2) 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례한다. 압력과 부피를 곱한 값이 C에서가 B에서보다 작으므로 B → C 과정에서 기체의 온도는 감소한다.
(3) C → D 과정에서는 부피가 감소하므로 $W=P\varDelta V$에서 $W<0$이다. W의 부호가 (−)이므로 기체는 외부에서 일을 받는다.
(4) 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례한다. 압력과 부피를 곱한 값이 A에서가 D에서보다 크므로 D → A 과정에서 기체의 온도는 증가한다.

4 (1) A → B 과정은 등온 과정이므로 $Q=\varDelta U+W$에서 $Q=0+W$이다. 이때 부피가 증가하여 $W>0$이므로 $Q>0$이다. 따라서 열을 흡수하는 과정이다. D → A 과정은 등적 과정이므로 $Q=\varDelta U+W$에서 $Q=\varDelta U+0$이다. 온도가 증가하여 $\varDelta U>0$이므로 $Q>0$이다. 따라서 열을 흡수하는 과정이다.
(2) B → C 과정은 등적 과정이므로 $Q=\varDelta U+W$에서 $Q=\varDelta U+0$이다. 이때 온도가 감소하여 $\varDelta U<0$이므로 $Q<0$이다. 따라서 열을 방출하는 과정이다. C → D 과정은 등온 과정이므로 $Q=\varDelta U+W$에서 $Q=0+W$이다. 이때 부피가 감소하여 $W<0$이므로 $Q<0$이다. 따라서 열을 방출하는 과정이다.

5 (1) A → B 과정은 등온 과정이다. 등온 과정은 온도가 일정하므로 내부 에너지는 일정하다.
(2) B에서의 온도는 A에서와 같고, D에서의 온도는 C에서와 같다. 따라서 B → C 과정에서 온도 변화량과 D → A 과정에서 온도 변화량은 서로 같으므로 B → C 과정에서 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 내부 에너지 증가량과 같다.
(3) C → D 과정에서 부피가 감소하므로 외부에서 일을 받는다. 이때 등온 상태를 유지하려면 받은 일만큼 외부로 열을 방출해야 한다.

내신 만점 문제 123쪽~126쪽

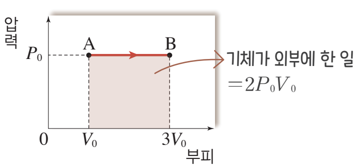
01 ③	02 (1) 900 J (2) $\frac{1}{4}U$	03 ②	04 ①	05 W
06 ①	07 ②	08 ④	09 ④	10 해설 참조
11 ③	12 해설 참조	13 ⑤	14 해설 참조	
15 ②	16 ③	17 ⑤		

01 ㄱ. 이상 기체 법칙 $PV=nRT$에서 A와 B의 기체는 압력 P, 기체 상수 R, 온도 T가 같으므로 부피 V와 분자의 수 N은 서로 비례한다. 따라서 분자의 수가 2배인 B의 기체의 부피는 A의 2배이다.
ㄷ. 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 기체의 온도에 비례한다. 두 기체의 온도가 같으므로 기체 분자 1개의 평균 운동 에너지는 A와 B의 기체가 서로 같다.
바로알기 ㄴ. 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 수와 온도의 곱에 비례한다. A와 B의 기체는 온도는 같지만 분자의 수가 B에서가 A에서의 2배이므로 내부 에너지는 B에서가 A에서의 2배이다.

02 (1) 압력-부피 그래프에서 이상 기체가 외부에 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이이므로 $(3\times10^5\ \mathrm{N/m^2})\times(3\times10^{-3}\ \mathrm{m^3})=900\ \mathrm{J}$이다.
(2) 내부 에너지는 분자의 개수와 온도의 곱에 비례한다. 분자의 개수는 A와 B에서 같고 압력×부피의 값이 B에서가 A에서의 4배이므로 온도는 B에서가 A에서의 4배이다. 따라서 B에서 내부 에너지를 U라고 하면 A에서 내부 에너지는 B에서의 $\frac{1}{4}$배인 $\frac{1}{4}U$이다.

03 꼼꼼 문제 분석

압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 하거나 받은 일의 양과 같다.



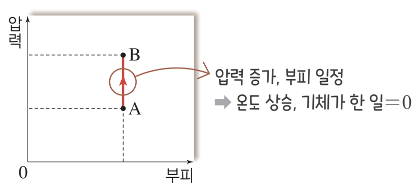
ㄷ. 온도는 B에서가 A에서보다 높으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지도 B에서가 A에서보다 크다.
바로알기 ㄱ. A의 압력과 부피의 곱은 P_0V_0이고, B의 압력과 부피의 곱은 $3P_0V_0$이므로 기체의 절대 온도는 B에서가 A에서의 3배이다.
ㄴ. 압력-부피 그래프에서 기체가 외부에 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이이므로 $2P_0V_0$이다.

04 ㄴ. 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 수와 온도의 곱에 비례하므로, (가)에서는 N_0T_0, (나)에서는 $2N_0T_0$에 비례한다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.
바로알기 ㄱ. 이상 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 온도에 비례한다. (가)와 (나)의 온도는 같으므로 이상 기체 분자 한 개의 평균 운동 에너지는 같다.
ㄷ. $U_{(가)}:U_{(다)}=2:3$이면 $U_{(가)}\propto N_0T_0$, $U_{(다)}\propto 3N_0T$에서 $N_0T_0:3N_0T=2:3$이다. 따라서 $T=\frac{1}{2}T_0$이다.

05 이상 기체가 온도의 변화 없이 팽창하므로 열역학 제1법칙 $Q=\varDelta U+W$에서 내부 에너지 변화량 $\varDelta U=0$, $Q=W$이다.

06 10 kcal는 10000 cal이므로 42000 J이다. 열역학 제1법칙 $Q=\varDelta U+W$에서 $42000\ \mathrm{J}=\varDelta U+42000\ \mathrm{J}$에서 $\varDelta U=0$이다. 따라서 내부 에너지 증가량은 0이다.

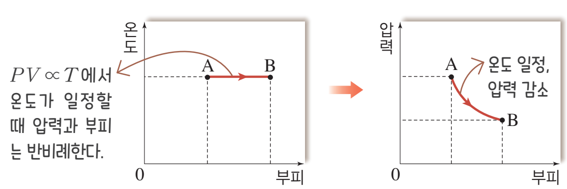
07 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 기체의 상태가 변하는 동안 부피가 일정하므로 외부에 한 일 $W=0$이다. 따라서 열역학 제1법칙 $Q=\varDelta U+W$에서 $Q=\varDelta U$이다. 이때 기체의 온도가 높아졌으므로 $\varDelta U>0$이고, $Q>0$이므로 외부에서 열에너지 Q를 얻었다.
바로알기 ㄱ. 부피가 일정하므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.
ㄴ. $PV\propto T$에서 부피가 일정할 때 압력은 온도에 비례하므로 압력이 증가하면 기체의 온도도 높아진다.

08 꼼꼼 문제 분석

온도-부피 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄴ. 내부 에너지 변화량은 온도 변화량에 비례한다. A → B 과정에서 온도가 일정하므로 온도 변화량은 0이다. 따라서 내부 에너지 변화량도 0이다.

ㄷ. $Q=\Delta U+W$에서 $\Delta U=0$이므로 $Q=W$이다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.

바로알기 ㄱ. $PV\propto T$에서 온도가 일정할 때 부피가 증가했으므로 압력은 감소한다.

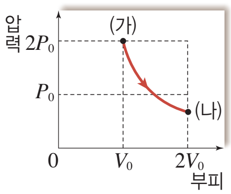
09 ㄴ. 압력과 부피의 곱은 온도에 비례하므로 기체의 절대 온도는 C에서가 A에서의 4배이다.

ㄷ. 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 하거나 받은 일이다. B→C 과정에서 기체가 한 일은 $(2\times10^5\ \mathrm{N/m^2})\times(1\times10^{-3}\ \mathrm{m^3})=200\ \mathrm{J}$이고, D→A 과정에서 기체가 받은 일은 $(1\times10^5\ \mathrm{N/m^2})\times(3\times10^{-3}\ \mathrm{m^3})=300\ \mathrm{J}$이므로 D→A 과정에서 기체가 받은 일은 B→C 과정에서 기체가 한 일의 $\frac{3}{2}$배이다.

바로알기 ㄱ. A→B 과정은 등적 과정이다. 따라서 기체가 한 일은 0이므로 $W=0$이다. $Q=\Delta U+W$에서 $Q=\Delta U+0$이므로 기체가 외부에서 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 변화량과 같다.

10 피스톤은 단열되어 있으므로 추를 제거했을 때 기체는 압력 변화에 의해 단열 팽창한다.

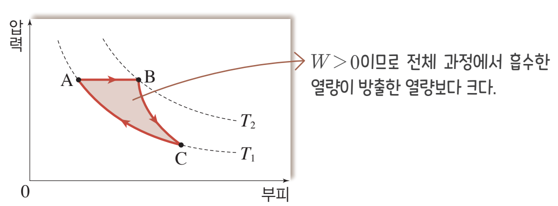
모범 답안 그림 참조. (가)에서 온도는 압력과 부피의 곱인 $2P_0V_0$에 비례한다. (가)에서의 추를 제거했을 때 기체는 단열 팽창하므로 (나)에서의 온도는 $2P_0V_0$보다 감소한다. 따라서 (나)에서 부피가 $2V_0$일 때 압력은 P_0보다 아래쪽으로 오도록 곡선으로 그려야 한다.



채점 기준	배점
그래프를 옳게 그리고 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
그래프만 옳게 그린 경우	50 %

11 꼼꼼 문제 분석

압력-부피 그래프에서 전체 순환 과정으로 둘러싸인 부분의 넓이는 기체가 외부에 한 일이다.

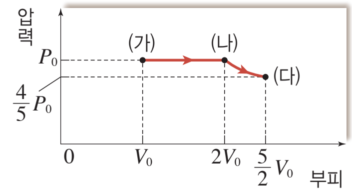


ㄱ. $PV\propto T$이고 압력과 부피의 곱은 B에서가 A에서보다 크다. 따라서 B에서의 온도인 T_2가 A에서의 온도인 T_1보다 크다.

ㄴ. A→B→C→A의 전체 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이만큼 기체가 외부에 일을 하므로 전체 과정에서 흡수한 열량이 방출한 열량보다 많다. B→C 과정은 단열 과정이므로 A→B 과정에서 흡수한 열량은 C→A 과정에서 방출한 열량보다 크다.

바로알기 ㄷ. 내부 에너지 변화량의 크기는 온도 변화량에 비례한다. A→B 과정은 T_1에서 T_2로, B→C 과정은 T_2에서 T_1로 변하므로 온도 변화량은 서로 같다. 따라서 내부 에너지 변화량의 크기는 B→C 과정과 A→B 과정에서 같다.

12 등압 과정은 기체가 흡수한 열이 기체의 내부 에너지를 증가시키고, 기체가 외부로 일을 하는 과정이다. (가) → (다) 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다.

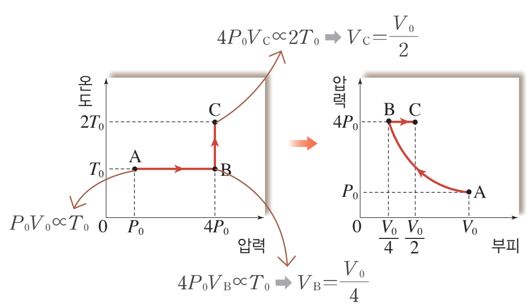


모범 답안 (나)에서의 온도를 $T_{(나)}$라고 하면 (가) → (나) 과정에서 $\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P_0\times2V_0}{T_{(나)}}$이므로 $T_{(나)}=2T_0$이다. (나) → (다) 과정에서 온도는 같으므로 (다)에서 온도는 $2T_0$이고, (다)에서의 압력을 P라고 하면 $2P_0V_0=P\times\frac{5}{2}V_0$에서 $P=\frac{4}{5}P_0$이다.

채점 기준	배점
압력을 풀이 과정과 함께 옳게 쓴 경우	100 %
압력만 옳게 쓴 경우	50 %

13 꼼꼼 문제 분석

온도-압력 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



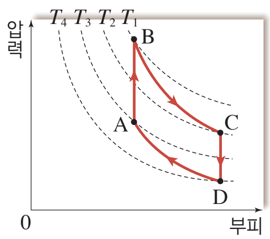
ㄱ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 온도에 비례한다. 온도는 A와 B에서 같으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지는 A에서와 B에서가 같다.

ㄴ. C에서 기체의 부피는 $\frac{V_0}{2}$이므로 기체의 부피는 C에서가 A에서의 $\frac{1}{2}$배이다.

ㄷ. 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 외부에 하거나 받은 일을 나타내므로 B→C 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $4P_0 \times \frac{V_0}{4} = P_0V_0$이다.

14 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례하고, 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 한 일 또는 받은 일이다.
맨 위의 등온선부터 T_1, T_2, T_3, T_4라고 하자. B→C 과정은 외부와의 열 출입 없이 부피가 증가하므로 단열 팽창이고 온도가 감소한다. 따라서 C는 T_2에 오게 한다. C→D 과정은 부피는 일정하고, 온도는 내려가며, D→A 과정은 외부와의 열 출입 없이 부피가 감소하는 단열 압축이므로 온도가 올라가야 한다. 따라서 D는 T_4까지 오게 한다.

모범 답안



채점 기준	배점
B→C, C→D, D→A 세 가지 열역학 과정을 그래프에 모두 옳게 나타낸 경우	100 %
세 가지 열역학 과정 중 두 가지만 옳게 나타낸 경우	50 %

15 ㄷ. C→D 과정은 등온 과정으로 $Q = \Delta U + W$에서 $\Delta U = 0$이므로 $Q = W$이다. 이때 부피가 감소하므로 $W < 0$에서 $Q < 0$이므로 외부로 열을 방출하는 과정이다.

바로알기 ㄱ. 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례하므로 A에서는 $4P_0V_0 \propto T_0$이고, D에서는 $P_0V_0 \propto \frac{1}{4}T_0$이다. 따라서 C에서는 D에서와 온도가 같으므로 C에서 온도는 $\frac{1}{4}T_0$이다.

ㄴ. B→C 과정과 D→A 과정은 등적 과정으로 $Q = \Delta U + W$에서 $W = 0$이므로 $Q = \Delta U$이다. B→C 과정은 온도가 감소하는 과정이므로 내부 에너지가 감소하고, D→A 과정은 온도가 증가하는 과정이므로 내부 에너지가 증가한다. 그리고 두 과정의 온도차가 같으므로 B→C 과정에서 내부 에너지 감소량은 D→A 과정에서 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 B→C 과정에서 방출하는 열량은 D→A 과정에서 흡수하는 열량과 같다.

16 ㄱ. (나)에서 얼음물에 의해 기체의 온도가 내려가면서 외부 압력에 의해 기체의 부피가 감소한다. 부피가 감소하는 과정에서 기체는 외부에서 일을 받는다.

ㄴ. 기체의 온도가 내려가므로 기체의 내부 에너지도 감소한다.

바로알기 ㄷ. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$에 따라 기체가 잃은 열에너지($Q < 0$)는 내부 에너지 감소량($\Delta U < 0$)과 기체가 받은 일($W < 0$)의 합과 같다.

17 탄산음료의 병뚜껑을 열 때 높은 압력의 기체가 순간적으로 병 밖으로 나오면서 기체의 온도가 내려가므로 단열 팽창 과정이다.

ㄴ. 태양열에 의해 지표면이 가열되면 공기가 상승하면서 단열 팽창이 일어나 주위의 온도가 낮아진다. 이때 수증기가 응결하여 구름이 생성된다.

ㄷ. 스프레이 통에서 기체를 분사하면 통 안의 공기는 순간적으로 부피가 증가하는 단열 팽창이 일어나 기체의 온도가 내려가므로 통이 차가워진다.

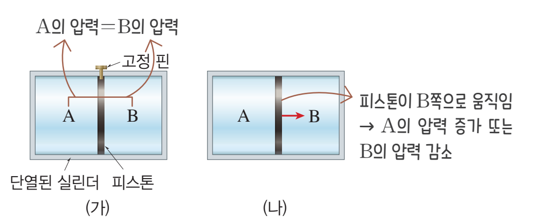
바로알기 ㄱ. 압력 밥솥은 밀폐되어 설정된 값까지 압력이 커져도 기체의 부피가 변하지 않으므로 등적 과정에 해당한다. 따라서 받은 열이 모두 내부 에너지를 증가시켜 온도와 압력을 높인다. 압력이 높아지면 높은 온도에서 물이 끓어 밥이 빨리 익는다.

실력 UP 문제

127쪽

01 ② **02** ④ **03** ② **04** ③

01 꼼꼼 문제 분석

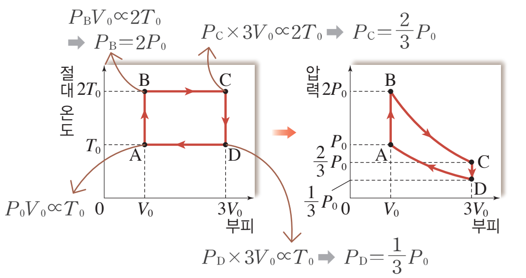


ㄷ. (나)에서 피스톤이 B쪽으로 움직였으므로 고정 핀을 제거한 순간 압력은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. (가)에서 A, B의 처음 압력은 서로 같았는데 (나)에서 피스톤이 B쪽으로 움직이므로 (가)에서 시간이 지난 후 A의 압력이 증가하였거나 B의 압력이 감소하였음을 알 수 있다. 만약 (가)에서 A의 온도가 B보다 높다면 열이 A→B로 이동하여 A의 온도는 낮아지고, B의 온도는 높아진다. $PV \propto T$에서 A의 압력은 낮아지고 B의 압력은 높아지므로 피스톤이 A쪽으로 움직여야 한다. 그러나 피스톤이 B쪽으로 움직이므로 B의 온도가 A의 온도보다 높아야 하고 열은 B에서 A로 이동한다.

02 꼼꼼 문제 분석

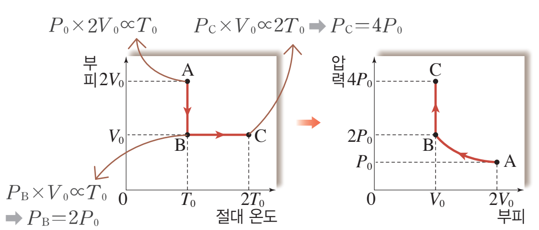
온도-부피 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄴ. B→C 과정은 등온 과정이므로 $\varDelta U=0$이다. 따라서 $Q=W$이므로 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.
ㄷ. A→B 과정은 등적 과정이므로 $Q=\varDelta U$이다. 이때 C→D 과정도 등적 과정이므로 $Q'=\varDelta U'$인데 A→B 과정의 온도 증가량과 C→D 과정의 온도 감소량이 같으므로 A→B 과정에서 흡수한 열량과 C→D 과정에서 방출한 열량은 서로 같다.
바로알기 ㄱ. A에서 기체의 압력을 P_0이라고 하면, C에서 기체의 압력은 $\frac{2}{3}P_0$이므로 기체의 압력은 A에서가 C에서보다 높다.

03 꼼꼼 문제 분석

A에서의 압력을 P_0이라고 하고 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



ㄷ. B→C 과정에서 온도는 증가하므로 기체의 내부 에너지는 증가한다. B→C 과정은 등적 과정으로 $Q=\varDelta U$이므로 이때 기체의 내부 에너지 증가량은 기체가 외부에서 흡수하는 열량과 같다.
바로알기 ㄱ. 압력-부피 그래프에서 C일 때의 압력은 A일 때의 압력의 4배이다.
ㄴ. A→B 과정은 등온 압축 과정이므로 $Q=W$에서 $W<0$이므로 $Q<0$이다. 따라서 외부로 열을 방출한다.

04 ㄱ. 단열 과정이 일어나므로 기체에 해 준 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 내부 에너지가 증가하면 온도도 올라가며, 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 속력이 커진다.
ㄴ. 열의 출입이 없으므로($Q=0$), 열역학 제1법칙에 따라 $0=\varDelta U+W$에서 $\varDelta U=-W$이다. 따라서 기체에 해 준 일($\varDelta V<0$이므로 $W<0$)이 모두 기체의 내부 에너지로 전환된다.
바로알기 ㄷ. 기체가 압축되며 온도가 올라가므로 압력이 증가한다.

02 열역학 제2법칙

개념 확인 문제 129쪽

❶ 일 ❷ 열효율 ❸ 카르노 ❹ 온도 ❺ 열기관 ❻ 지구 온난화

1 200 J **2** $1-\frac{Q_3+Q_4}{Q_1+Q_2}$ **3** 0.2 **4** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

1 열기관의 열효율 e는 열기관에 공급한 열 Q_1에 대하여 열기관이 하는 일 W의 비로 나타낸다. 즉, $e=\frac{W}{Q_1}$이므로 $0.2=\frac{W}{1000\ \mathrm{J}}$에서 $W=200\ \mathrm{J}$이다.

2 열효율을 e라고 하고, 열기관이 흡수한 열량을 $Q_{흡수}$, 방출한 열량을 $Q_{방출}$이라고 하면 $e=\frac{Q_{흡수}-Q_{방출}}{Q_{흡수}}=1-\frac{Q_{방출}}{Q_{흡수}}$이다. 스털링 기관이 흡수한 열량은 Q_1과 Q_2이고, 방출한 열량은 Q_3과 Q_4이므로 $e=1-\frac{Q_3+Q_4}{Q_1+Q_2}$이다.

3 열효율을 e, 열기관이 흡수한 열량을 Q_1, 방출한 열량을 Q_2, 열기관이 한 일을 W라고 하면, $e=\frac{W}{Q_1}$이고, $W=Q_1-Q_2$에서 $e=\frac{2000-1600}{2000}=0.2$이다.

4 (1) 열기관은 열에너지를 일로 바꾸는 장치이다.
(2) 열기관이 흡수한 열에너지로 열기관은 외부에 일을 하고 그 나머지는 방출한다.
(3) 열기관은 교통, 농업, 산업 등에 사용되어 인류의 문명을 발전시켰다.
(4) 열기관은 지구 온난화를 일으키는 온실 기체를 방출한다.

개념 확인 문제 132쪽

❶ 가역 ❷ 비가역 ❸ 2 ❹ 증가 ❺ 높은 ❻ 무질서도

1 ㄱ **2** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × **3** $-\frac{Q}{T_H}$ **4** ㉠ 비가역, ㉡ 증가

1 ㄱ. 공기 저항이나 마찰을 무시한 진자 운동은 에너지 손실이 없으므로 가역 현상이다.
ㄴ. 물에 퍼진 잉크는 자발적으로 다시 모이지 않으므로 비가역 현상이다.
ㄷ. 식은 물을 공기 중에 두었을 때 물이 자발적으로 다시 뜨거워지지 않으므로 비가역 현상이다.

2 (1) 열의 이동은 처음 상태로 되돌아갈 수 없으므로 비가역 현상이다.
(2) 자연계에서 일어나는 열역학적 변화는 엔트로피가 증가하는 방향으로 발생한다.
(3) 열은 자발적으로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하고, 그 반대 방향으로는 자발적으로 일어나지 않는다.
(4) 엔트로피 개념을 무질서한 정도로 표현한 사람은 볼츠만이다.

3 절대 온도가 T인 열역학적 계가 열 Q를 방출할 때 그 계의 엔트로피 변화 ΔS는 $\Delta S=-\frac{Q}{T}$이다. 따라서 고온인 물체의 엔트로피 변화는 $-\frac{Q}{T_{\mathrm{H}}}$이다.

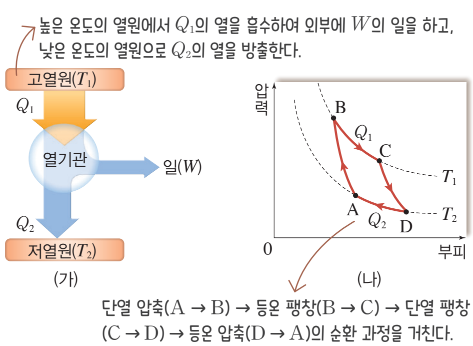
4 자발적으로 처음 상태로 되돌아갈 수 있는 것은 가역 현상, 되돌아갈 수 없는 것은 ㉠ 비가역 현상이다. 열역학 제2법칙에 따르면 자발적인 열역학 과정은 엔트로피가 ㉡ 증가하는 방향으로만 발생한다.

대표 자료 분석

133쪽

1 $\frac{W}{Q_1}$ **2** ㄱ **3** 0 **4** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

꼼꼼 문제 분석



1 열기관이 외부에 한 일의 양 $W=Q_1-Q_2$이다. 열기관의 열효율은 공급한 열 중에서 일로 전환된 비율이므로 $e=\frac{W}{Q_1}$이다.

2 ㄱ. 기체의 온도가 높아지면 기체의 내부 에너지가 증가한다. A→ B 과정은 단열 압축 과정으로 온도가 높아지므로 내부 에너지가 증가한다.
ㄴ, ㄹ. B → C 과정, D → A 과정은 등온 과정으로, 온도가 일정하므로 내부 에너지가 일정하다.
ㄷ. C → D 과정은 단열 팽창 과정으로 온도가 낮아지므로 내부 에너지가 감소한다.

3 A의 압력과 부피의 상태로 다시 되돌아오는 과정이므로 온도 변화량이 0이다. 따라서 내부 에너지 변화량도 0이다.

4 (1), (5) $Q_1=W$인 열기관은 열효율이 100 %인 열기관이다. 열역학 제2법칙에 따라 열은 모두 일로 전환되지 않으므로 열효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.
(2) B → C 과정은 등온 팽창 과정, C → D 과정은 단열 팽창 과정, D → A 과정은 등온 압축 과정, A → B 과정은 단열 압축 과정이다. 네 과정 중에서 열을 흡수하는 과정은 B → C 과정뿐이다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부로부터 흡수한 열은 Q_1이다.
(3) C → D 과정은 단열 팽창 과정이므로 $Q=0$이고, $W>0$이다. 따라서 열역학 제1법칙에서 $W=-\Delta U$이므로 기체가 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.
(4) D → A 과정은 등온 압축 과정이므로 $\Delta U=0$이다. 따라서 열역학 제1법칙에서 $Q=W$이므로 외부에서 받은 일만큼 열을 방출한다. 이때 방출한 열은 Q_2이다.

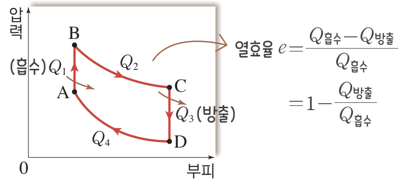
내신 만점 문제

134쪽~136쪽

01 ③	**02** ⑤	**03** ④	**04** 해설 참조	**05** ⑤
06 ⑤	**07** 해설 참조		**08** ③	**09** ②
10 ①	**11** 해설 참조	**12** ①	**13** ④	**14** ⑤

01 ㄱ. 열효율은 $e=\frac{W}{Q_1}=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}$이다.
ㄴ. $e=\frac{W}{Q_1}=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=1-\frac{Q_2}{Q_1}$에서 Q_1이 같을 때 Q_2가 작을수록 열효율이 높다.
바로알기 ㄷ. $e=\frac{W}{Q_1}$에서 W가 같을 때 Q_1이 클수록 열효율은 낮다.

02 꼼꼼 문제 분석



열기관이 흡수한 열량을 $Q_{흡수}$, 방출한 열량을 $Q_{방출}$이라고 하면 열효율 $e=\dfrac{Q_{흡수}-Q_{방출}}{Q_{흡수}}=1-\dfrac{Q_{방출}}{Q_{흡수}}$이다. B → C 과정과 D → A 과정은 단열 과정이므로 Q_2와 Q_4는 0이고, 가솔린 기관이 흡수한 열량은 Q_1, 방출한 열량은 Q_3이므로 $e=1-\dfrac{Q_3}{Q_1}$이다.

03 ㄴ. 카르노 기관에서 열량과 온도 사이에는 $\dfrac{Q_2}{Q_1}=\dfrac{T_2}{T_1}$와 같은 관계가 성립한다. 따라서 열효율은 $1-\dfrac{Q_2}{Q_1}$ 또는 $1-\dfrac{T_2}{T_1}$이다.

ㄷ. 열효율은 $1-\dfrac{T_2}{T_1}$이므로 T_1이 일정할 때 T_2가 낮을수록 열효율이 높다.

바로알기 ㄱ. 카르노 기관은 열효율이 좋은 열기관이지만 열효율이 1인 기관은 아니다. 열효율이 1인 이상적인 열기관은 열역학 제2법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

04 열기관은 인류 문명에 큰 도움을 주었지만 화석 연료를 사용한 열기관은 기후 변화에 좋지 않은 영향을 미쳤다.

모범 답안 환경 오염 물질이 생기고, 온실 기체를 방출해 지구 온난화 문제를 발생시켰다.

채점 기준	배점
제시된 단어를 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
제시된 단어 중 두 가지만 포함하여 서술한 경우	50 %

05 ㄱ. 멈추어 있던 진자가 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 없으므로 비가역 과정이다.

ㄴ. 진자가 움직이는 동안 진자와 충돌한 공기 분자의 평균 운동 에너지는 증가하고, 반대로 진자의 운동 에너지는 감소한다. 시간이 지난 후 진자가 처음에 가지고 있던 에너지가 모두 열에너지로 전환되면 진자가 멈춘다.

ㄷ. 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 진행한다. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상은 무질서도가 감소하는 현상으로, 스스로 일어나지 않는다.

06 ㄱ. 굴러가는 공이 공기 저항이나 바닥과의 마찰에 의해 에너지가 손실되어 정지하는 것은 엔트로피가 증가하는 경우이다.

ㄴ. 향수가 방안으로 확산되는 것은 확률이 큰 경우이고, 방안으로 퍼져 나간 향수가 다시 모이는 것은 확률이 작은 경우이므로 향수가 방안으로 퍼져 나가는 것이 엔트로피가 증가하는 경우이다.

ㄷ. 따뜻한 물이 자발적으로 에너지를 잃어 미지근해지는 것은 엔트로피가 증가하는 경우이다.

07 엔트로피 변화는 온도에 대한 열에너지의 변화량이다.

모범 답안 보리차는 열을 방출하므로 보리차의 엔트로피 변화는 $\varDelta S_{보리차}=\dfrac{-1160}{273+77}\fallingdotseq-3.3$(J/K)이고, 방은 열을 흡수하므로 방의 엔트로피 변화는 $\varDelta S_{방}=\dfrac{1160}{273+17}=4$(J/K)이다. 따라서 전체 엔트로피 변화는 $\varDelta S=4\ \mathrm{J/K}-3.3\ \mathrm{J/K}=0.7\ \mathrm{J/K}$에서 $\varDelta S>0$이므로 이 반응은 자발적으로 일어난다.

채점 기준	배점
전체 엔트로피를 구하고, 이를 바탕으로 반응이 자발적으로 일어날 수 있는지를 옳게 서술한 경우	100 %
전체 엔트로피만 옳게 구하고, 반응이 자발적으로 일어날 수 있는지를 서술하지 못한 경우	70 %
반응이 자발적으로 일어날 수 있다는 것만 제시한 경우	50 %

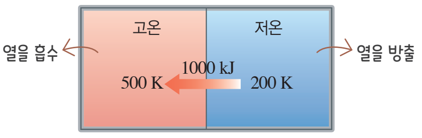
08 ㄱ. 시간이 지나면 A는 열을 잃는다. 즉, A는 열을 방출하므로 A의 엔트로피는 감소한다.

ㄴ. 시간이 지나면 B는 열을 얻는다. 즉, B는 열을 흡수하므로 B의 엔트로피는 증가한다.

바로알기 ㄷ. (가)에서 (나)로 열이 이동하는 것은 자발적으로 일어나는 과정이며 비가역 현상이다. 따라서 전체 엔트로피 변화는 0보다 크므로 A의 엔트로피 감소량보다 B의 엔트로피 증가량이 더 크다.

09 꼼꼼 문제 분석

절대 온도가 T인 열역학적 계가 열 Q를 흡수할 때 그 계의 엔트로피 변화 $\varDelta S$는 $\varDelta S=\dfrac{Q}{T}$이다.



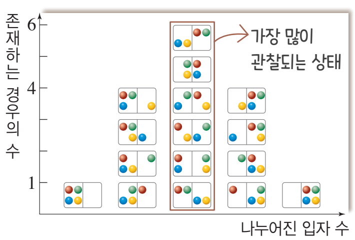
ㄷ. 전체 계의 엔트로피 변화 $\varDelta S<0$이므로 이 열역학 과정은 자발적으로 일어나지 않는다.

바로알기 ㄱ. 저온인 물체는 열을 방출하므로 엔트로피 변화는 $-\dfrac{1000\,\text{kJ}}{200\,\text{K}}=-5\,\text{kJ/K}$이고, 고온인 물체는 열을 흡수하므로 엔트로피 변화는 $\dfrac{1000\,\text{kJ}}{500\,\text{K}}=2\,\text{kJ/K}$이다. 따라서 전체 계의 엔트로피 변화는 두 값의 합이므로 $(-5+2)\,\text{kJ/K}=-3\,\text{kJ/K}$이다.
ㄴ. 전체 계의 엔트로피 변화가 음(−)이므로 엔트로피는 감소하고, 무질서도도 감소한다.

10 ㄴ. 무질서도는 엔트로피가 클수록 크다. (가)에서 (나)로 변하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이므로 무질서도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.
바로알기 ㄱ. $Q=cm\Delta T$에서 금속 구가 잃은 열량과 물이 얻은 열량이 같고 금속 구와 물의 질량이 같지만 비열이 다르므로, 두 물체의 온도 변화량은 같지 않다.
ㄷ. (나)에서 (가)로 변하는 과정이 저절로 일어나지 않는 까닭은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

11 꼼꼼 문제 분석

4개의 입자가 두 공간에 존재할 경우는 16가지이고, 가장 많이 관찰되는 상태는 두 공간에 고르게 분포해 있는 경우이다.



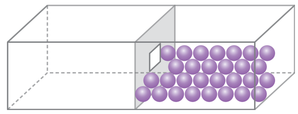
모범 답안 입자들이 한 공간에 몰려 있을 때는 엔트로피가 작고, 입자들이 고르게 분포할 때는 엔트로피가 크다.

채점 기준	배점
한 공간에 몰려 있을 때와 고르게 분포할 때를 엔트로피 변화로 옳게 서술한 경우	100 %
한 공간에 몰려 있을 때와 고르게 분포할 때 중 한 가지 경우만 엔트로피 변화로 옳게 서술한 경우	50 %

12 ㄴ. 자발적인 열의 이동은 엔트로피가 증가하는 과정이다. 고온의 물체에서 저온의 물체로 열이 이동하는 것은 자발적인 열역학 과정이므로 전체 엔트로피는 증가한다.
바로알기 ㄱ. 잉크가 물에서 확산하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다.
ㄷ. 열을 모두 역학적 에너지로 바꾸는 열기관의 열효율은 1이다. 열효율이 1인 열기관은 열역학 제2법칙에 위배되므로 제작이 불가능하다.

13 꼼꼼 문제 분석

만약 상자에 100개의 구슬을 넣고 흔들었을 때 모두 한쪽 칸에 모일 확률은 $\left(\dfrac{1}{2}\right)^{100}\fallingdotseq 0$이므로 확률이 0에 가까운 일은 일어나지 않는다. ➡ 자연 현상은 확률이 큰 쪽으로 진행하는데, 이것은 열역학 제2법칙과 관련이 있다.



ㄴ. 일은 모두 열로 바뀌지만 열은 모두 일로 바뀌지 않는다는 것은 열역학 제2법칙에 해당되는 내용이다.
ㄷ. 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 자발적으로 이동한다는 것은 열역학 제2법칙에 해당되는 내용이다.
바로알기 ㄱ. 높은 곳에서 떨어뜨린 물체의 역학적 에너지가 보존되는 것은 공기 저항과 마찰을 무시했을 때에만 성립한다. 실제로는 손실된 에너지가 발생하며 이 에너지를 다시 사용할 수 없다.

14 기체의 확산이나 열의 이동과 같은 방향성은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.
ㄱ. 고열원에서 받은 열을 모두 일로 전환하는 것은 불가능하다. 따라서 열효율이 1인 열기관은 만들 수 없다.
ㄴ. 열은 엔트로피가 증가하는 쪽으로 이동한다. 엔트로피가 증가하는 쪽은 고온의 물체에서 저온의 물체로 자발적으로 이동하는 쪽이다. 따라서 열은 자발적으로 저온의 물체에서 고온의 물체로 이동할 수 없다.
ㄷ. 자연에서 자발적으로 일어나는 변화는 확률이 높은 방향, 즉 무질서도가 증가하는 방향으로 진행한다.

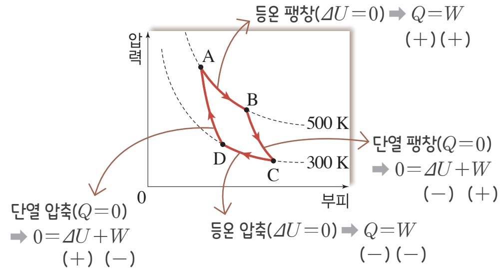
실력 UP 문제

137쪽

01 ④ **02** ③ **03** ② **04** ④

01 꼼꼼 문제 분석

각각의 과정에서 물리량들의 부호를 찾을 수 있다.

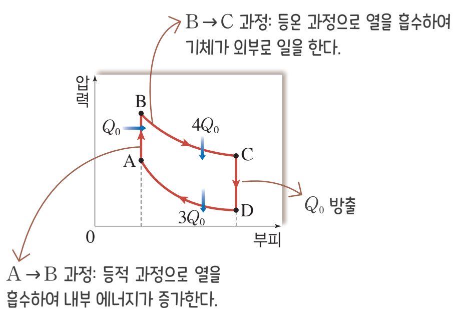


ㄴ. 카르노 기관의 열효율은 $e=1-\frac{Q_L}{Q_H}=1-\frac{T_L}{T_H}$이므로 열효율은 $1-\frac{300}{500}=\frac{2}{5}=0.4$이다.

ㄷ. 열효율 $e=1-\frac{Q_L}{Q_H}$이고, A → B 과정에서 흡수한 열이 1000 J이므로 $Q_H=1000$ J이다. 따라서 $0.4=1-\frac{Q_L}{1000}$에서 방출한 열 $Q_L=600$ J이다.

바로알기 ㄱ. B→C 과정은 단열 팽창 과정으로 열의 출입이 없는 과정이다.

02 꼼꼼 문제 분석



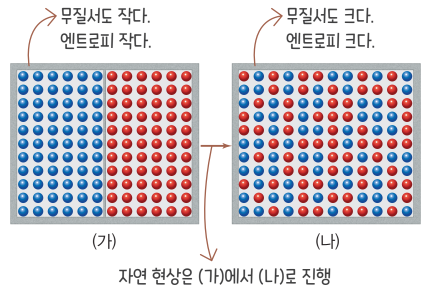
ㄱ. C→D 과정은 등적 과정으로 $W=0$이므로 $Q=\Delta U$에서 내부 에너지 감소량은 열기관이 방출한 열량과 같다. 그런데 A의 온도는 D와 같고, B의 온도는 C와 같으므로 A→B 과정과 C→D 과정에서 온도 변화량과 내부 에너지 변화량의 크기는 같다. 따라서 C→D 과정에서 방출한 열량은 Q_0이므로 기체의 내부 에너지 변화량의 크기는 Q_0이다.

ㄷ. 한 번의 순환 과정에서 기체가 흡수한 열량은 $Q_0+4Q_0=5Q_0$이고, 기체가 한 일은 Q_0이므로 열기관의 열효율은 $\frac{Q_0}{5Q_0}=0.2$이다.

바로알기 ㄴ. A→B 과정은 등적 과정으로 $W=0$이고, B→C 과정은 등온 과정으로 $\Delta U=0$이므로 $Q=W(W>0)$에서 기체가 외부에 한 일은 $4Q_0$이다. C→D 과정은 $W=0$이고, D→A 과정은 $Q=W(W<0)$에서 기체가 받은 일이 $3Q_0$이다. 따라서 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일은 $4Q_0-3Q_0=Q_0$이다.

다른 풀이 ㄴ. 열기관이 한 일은 흡수한 총 열량에서 방출한 총 열량을 뺀 값이므로 흡수한 총 열량은 $Q_0+4Q_0=5Q_0$, 방출한 총 열량은 $Q_0+3Q_0=4Q_0$이다. 따라서 한 번의 순환 과정 동안 기체가 외부에 한 일은 $5Q_0-4Q_0=Q_0$이다.

03 꼼꼼 문제 분석

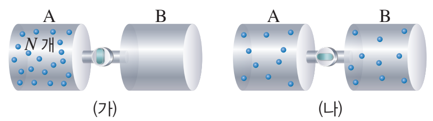


ㄴ. 공이 골고루 섞여 있는 상태인 (나)의 엔트로피가 공이 섞여 있지 않은 상태인 (가)의 엔트로피보다 크다.

바로알기 ㄱ. 엔트로피는 무질서한 정도를 나타내는 것으로, 공이 골고루 섞여 있는 (나)의 무질서도가 (가)보다 크다.

ㄷ. 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향, 즉 엔트로피가 커지는 방향으로 진행하므로 엔트로피가 큰 (나)에서 엔트로피가 작은 (가)로 스스로 진행하지 않는다.

04 꼼꼼 문제 분석



(가)에서 (나)로 진행하는 과정: 엔트로피가 증가하는 과정, 자발적으로 일어난다.
(나)에서 (가)로 진행하는 과정: 엔트로피가 감소하는 과정, 자발적으로 일어나지 않는다.

ㄴ. (나)는 기체 분자가 분포할 수 있는 경우의 수가 크다. 따라서 (가)에서 (나)로 진행하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다.

ㄷ. 열역학 과정은 엔트로피가 증가하는 과정으로 자발적으로 일어난다. (나)에서 (가)로 진행하는 과정은 엔트로피가 감소하므로 N이 클수록 (나)에서 (가)로 진행하는 일은 일어나지 않는다.

바로알기 ㄱ. 기체 분자가 분포할 수 있는 경우의 수는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

중단원 핵심 정리 138쪽

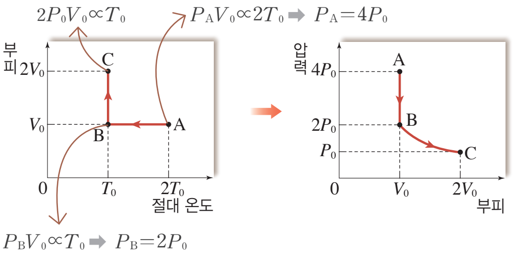
① 비례 ② $P\Delta V$ ③ 열역학 제1법칙 ④ ΔU
⑤ W ⑥ 일 ⑦ 열효율 ⑧ 카르노 ⑨ 증가
⑩ 방향성

중단원 마무리 문제 139쪽~140쪽

01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ④ 06 ①
07 해설 참조 08 해설 참조

01 꼼꼼 문제 분석

C에서 압력이 가장 작으므로 C에서의 압력을 P_0이라고 하고 압력-부피 그래프로 전환하면 그림과 같다.



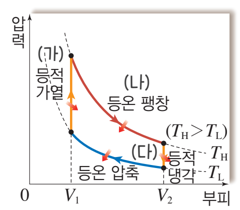
ㄱ. A→B 과정은 등적 과정이므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.

ㄷ. B→C 과정은 등온 과정이고 부피가 증가한다. $Q=W=P\varDelta V$에서 $Q>0$이므로 열을 흡수하는 과정이다.

바로알기 ㄴ. B→C 과정은 등온 과정이다. $PV \propto T$에서 온도가 일정할 때 부피가 증가하였으므로 압력은 감소한다.

02 꼼꼼 문제 분석

스털링 기관의 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다.



ㄱ. (가)는 등적 과정이다. 기체가 한 일 $W=0$이므로 열역학 제1법칙 $Q=\varDelta U$에서 기체가 흡수한 열 Q는 내부 에너지 증가량 $\varDelta U$와 같다.

ㄴ. (나)는 등온 팽창 과정이다. 기체의 내부 에너지 변화량 $\varDelta U=0$이므로 열역학 제1법칙 $Q=W$에서 기체가 흡수한 열만큼 외부에 일을 한다.

바로알기 ㄷ. (다)는 등적 과정으로 부피가 일정한 상태에서 열을 방출하여 온도가 낮아지므로 $PV \propto T$에서 압력이 감소한다. 따라서 압력과 부피의 곱은 감소한다.

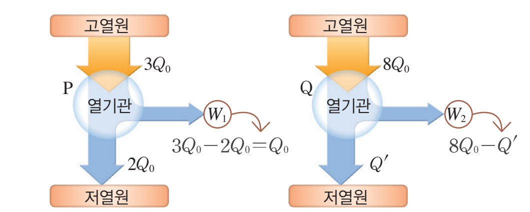
03 ㄱ. 압력-부피 그래프에서 압력과 부피의 곱은 기체의 온도에 비례한다. 온도는 A에서가 D에서의 2배이므로 부피가 V_1로 일정할 때 P_2는 P_1의 2배이다.

ㄴ. A→B 과정과 C→D 과정은 등온 과정이다. 따라서 $\varDelta U=0$이므로 $Q=W$이다. 또한 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 하거나 받은 일이므로 A→B 과정에서 기체가 한 일을 W_A, C→D 과정에서 기체가 받은 일을 W_B라고 하면 색칠된 부분의 넓이 W_A-W_B는 Q_H-Q_L이다.

ㄷ. D→A 과정은 등적 과정이다. 따라서 $W=0$이므로 $Q=\varDelta U$이다. 즉, 기체가 흡수한 열량과 기체의 내부 에너지 증가량은 같다. B→C 과정도 등적 과정이므로 기체가 방출한 열량과 기체의 내부 에너지 감소량이 같다. 그런데 A와 B, C와 D의 온도가 각각 같으므로 D→A 과정과 B→C 과정의 내부 에너지 변화량의 크기는 같다. 따라서 D→A 과정에서 기체가 흡수한 열량과 B→C 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 같다.

04 꼼꼼 문제 분석

흡수한 열량에 대해 열기관이 한 일의 비를 열효율이라고 한다.



ㄱ. P에서 W_1은 $3Q_0-2Q_0=Q_0$이고, P의 열효율은 $\dfrac{Q_0}{3Q_0}=\dfrac{1}{3}$이다. P의 열효율은 Q의 $\dfrac{4}{3}$배이므로 Q의 열효율은 $\dfrac{1}{3}\times\dfrac{3}{4}=\dfrac{1}{4}=0.25$이다.

ㄴ. Q의 열효율은 $\dfrac{1}{4}=\dfrac{8Q_0-Q'}{8Q_0}$이므로 $Q'=6Q_0$이다.

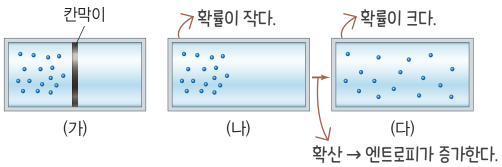
바로알기 ㄷ. $W_1=Q_0$이고, $W_2=8Q_0-6Q_0=2Q_0$이므로 W_1과 W_2는 같지 않다.

05 ㄱ. 열은 엔트로피가 증가하는 방향인 고온의 물체에서 저온의 물체로만 자발적으로 이동한다. 그 반대 방향인 저온의 물체에서 고온의 물체로는 자발적으로 이동하지 않는다.

ㄷ. 고온의 열원으로부터 흡수한 열로 순환하는 동안 흡수한 열과 같은 양의 일을 하는 경우는 열기관의 열효율이 1인 경우이다. 열효율이 1인 열기관은 제작이 불가능하다.

바로알기 ㄴ. 한 번의 에너지 공급으로 영원히 작동하는 기관은 에너지 보존 법칙에 위배된다. 따라서 에너지 보존과 관련된 열역학 제1법칙과 관련이 있다.

06 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 기체는 (나)의 상태보다 (다)의 상태로 존재할 확률이 크다. 확률이 큰 경우가 무질서도가 큰 것이므로 무질서도는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 (다)가 되는 과정은 기체의 확산이다. 확산은 기체가 외부로 일을 하는 것이 아니므로 기체는 일을 하지 않는다.

ㄷ. 고립계에서 자발적으로 일어나는 변화는 항상 엔트로피가 증가하는 방향으로만 일어난다. 따라서 엔트로피가 증가하는 과정은 (나)에서 (다)가 될 때이다.

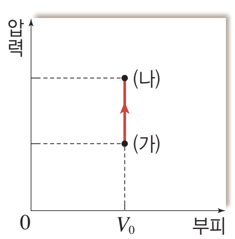
07 구름은 부피가 팽창하면서 온도가 내려가는 단열 팽창 과정으로 생긴다.

모범 답안 • 탄산음료의 병뚜껑을 열면 높은 압력의 기체가 순간적으로 병 밖으로 나오면서 김이 생긴다.
• 스프레이 통에서 기체를 분사하면 통이 차가워진다.

채점 기준	배점
단열 팽창의 예를 두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
단열 팽창의 예를 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

08 (나)에서는 (가)에서보다 추가 피스톤을 누르는 압력이 추가되므로 (나)에서는 (가)에서보다 압력이 증가한다. $PV \propto T$에서 부피는 일정한데 압력이 증가하였으므로 온도도 증가한다.

모범 답안



(가)와 (나)에서 부피가 일정한데 (나)에서는 (가)에서보다 압력이 크다. 압력×부피는 온도에 비례하므로 온도도 증가한다.

채점 기준	배점
그래프를 옳게 나타내고 압력과 온도 변화를 옳게 서술한 경우	100 %
그래프만 옳게 나타낸 경우	50 %

중단원 고난도 문제

141쪽

01 ③ **02** ① **03** ④ **04** ④

01 꼼꼼 문제 분석

각 과정에서 에너지 출입을 표시하면 표와 같다.

과정	Q	ΔU	W
A→B→C		+420 J	
C→D→A		−420 J	
C→D	−240 J	−240 J	0
D→A	−220 J	−180 J	−40 J

선택지 분석

ㄱ. C→D 과정에서 내부 에너지 감소량은 240 J이다.
ㄴ. D→A 과정에서 내부 에너지 감소량은 180 J이다.
~~ㄷ~~. D→A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일은 60 J이다. 40 J

전략적 풀이 ❶ 등적 과정에서는 흡수하거나 방출한 열이 내부 에너지 변화량과 같다는 것을 이해한다.

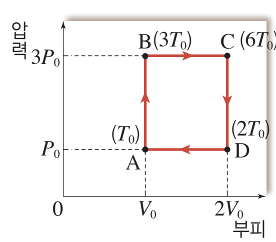
ㄱ. C→D 과정은 등적 과정이므로 $Q=\Delta U$에서 방출한 열은 내부 에너지 감소량과 같다. 따라서 240 J의 열을 방출하므로 내부 에너지는 240 J 감소한다.

ㄴ. A→B→C 과정에서 내부 에너지 증가량이 420 J이므로 C→D→A 과정에서는 내부 에너지 감소량이 420 J이다. 그런데 C→D 과정에서 내부 에너지 감소량이 240 J이므로 D→A 과정에서 내부 에너지 감소량은 420 J−240 J=180 J이다.

❷ D → A 과정에서 Q와 ΔU로부터 W를 계산한다.

ㄷ. D→A 과정에서 방출하는 열이 220 J이고 내부 에너지 감소량은 180 J이므로 외부로부터 받은 일은 220 J−180 J=40 J이다.

02 꼼꼼 문제 분석



압력-온도 그래프를 압력-부피 그래프로 변형하면 그림과 같다.
⇒ $PV \propto T$이므로 각 상태에서 온도를 알 수 있다.

선택지 분석

~~ㄱ~~. A→B 과정에서 기체는 외부로 일을 한다. 하지 않는다

ㄴ. B→C 과정에서 기체가 한 일은 $3P_0V_0$이다.

~~ㄷ~~. A→B 과정에서 기체가 흡수한 열은 C→D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량과 같다. 의 $\frac{1}{2}$배이다.

전략적 풀이 ❶ 압력과 온도가 비례 관계인 경우에는 이상 기체 법칙에 의해 기체의 부피가 일정하다.

ㄱ. 압력-온도 그래프에서 기울기가 일정하면 기체의 부피도 일정하다. A→B 과정에서 기울기가 일정하므로 부피는 일정하다. 따라서 A→B 과정에서 기체는 일을 하지 않는다.

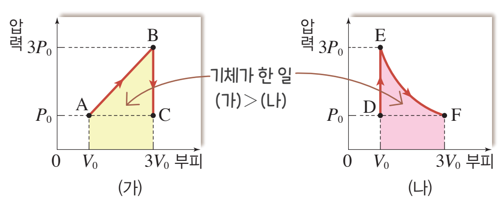
❷ 기체의 압력, 부피, 온도를 이용하여 각 기체의 상태를 비교할 수 있어야 한다.

ㄴ. A에서 부피가 V_0이므로 B에서 부피도 V_0이다. $P_0V_0 \propto T_0$이므로 C에서 부피는 $3P_0V \propto 6T_0$에서 $V=2V_0$이다. 따라서 B→C 과정에서 기체가 한 일은 $3P_0 \times (2V_0-V_0)=3P_0V_0$이다.

ㄷ. A→B 과정은 등적 과정이므로 $Q=\Delta U$이다. 내부 에너지 변화량 ΔU는 기체의 온도 변화량에 비례하므로 $\Delta U \propto 2T_0$이고 흡수한 열은 $Q \propto 2T_0$이다. 또한 C→D 과정도 등적 과정이므로 내부 에너지 감소량은 온도 감소량 $4T_0$에 비례한다. 따라서 C→D 과정에서 기체의 내부 에너지 감소량은 A→B 과정에서 기체가 흡수한 열의 2배이다.

03 꼼꼼 문제 분석

(나)는 압력-온도 그래프를 압력-부피 그래프로 전환한 것이다.



선택지 분석

ㄱ. 기체의 부피는 A에서와 E에서가 같다.

~~ㄴ~~. 기체가 한 일은 (가)와 (나)에서 같다. 같지 않다

ㄷ. E→F 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다.

전략적 풀이 ❶ 압력-부피 그래프로 기체의 온도와 기체가 외부에 하거나 외부에서 받은 일을 구할 수 있다는 것을 파악한다.

ㄱ. (나)에서 D→E 과정은 압력과 온도가 비례하므로 부피가 일정한 등적 과정이다. 따라서 D에서 부피가 V_0이므로 E에서 부피도 V_0이고, A와 E에서 부피는 V_0으로 같다.

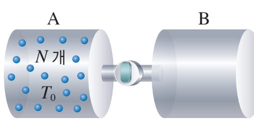
ㄴ. (가)에서 기체가 한 일은 A→B 과정의 그래프 아랫부분의 넓이에 해당하고, (나)에서 기체가 한 일은 (나)를 압력-부피 그래프로 전환했을 때의 그래프에서 E→F 과정의 그래프 아랫부분의 넓이에 해당한다. 따라서 기체가 한 일은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

❷ 엔트로피의 정의를 이용해 엔트로피가 증가하는 과정인지 감소하는 과정인지 파악할 수 있어야 한다.

ㄷ. E→F 과정은 온도가 일정할 때 압력이 감소하므로 $PV \propto T$에서 부피가 증가한다. 따라서 열역학 제1법칙 $Q=W$에서 $W>0$이므로 $Q>0$, 즉 기체가 열을 흡수하는 과정이다. 따라서 엔트로피 변화 $\Delta S=\frac{Q}{T}$에서 $Q>0$이므로 $\Delta S>0$에서 엔트로피가 증가하는 과정이다.

04 꼼꼼 문제 분석

기체의 확산은 자연 현상에서 무질서도가 증가하는 과정이며, 엔트로피가 증가하는 과정이다. 따라서 확산은 자발적으로 일어난다. 그러나 그 반대 과정은 자발적으로 일어나지 않는다.



선택지 분석

ㄱ. A에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.

~~ㄴ~~. B에서 기체의 온도는 T_0보다 작다. 이다.

ㄷ. 엔트로피는 밸브를 열고 난 후가 열기 전보다 크다.

전략적 풀이 ❶ 기체의 온도는 내부 에너지에 비례함을 이해하고, 온도 변화량은 기체의 내부 에너지 변화량에 비례한다는 것을 파악한다.

ㄱ. 기체의 내부 에너지는 분자의 수와 기체의 온도의 곱에 비례한다. 밸브를 열면 기체의 확산이 일어나 A에 있는 기체의 분자 수는 감소하고, A에 있는 기체의 온도는 처음과 같은 T_0이다. 따라서 A에서 기체의 내부 에너지는 감소한다.

❷ 확산 과정에서의 기체의 온도는 일정하며 이것을 열역학 제1법칙으로 이해할 수 있어야 한다.

ㄴ. 밸브를 열면 기체의 확산이 일어나는데 이때 기체는 외부로 일을 하지 않는다($W=0$). 이때 열 출입도 없으므로($Q=0$) 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$에서 내부 에너지 변화도 없다($\Delta U=0$). 따라서 밸브를 열고 난 후에도 A와 B에 있는 기체의 온도는 T_0이다.

ㄷ. 무질서도는 밸브를 열기 전보다 밸브를 열고 난 후에 더 크므로 엔트로피도 밸브를 열고 난 후가 열기 전보다 크다.

III

탄성파와 소리

1 탄성파의 성질

01 단진동

개념 확인 문제 146쪽

❶ 탄성력 ❷ 비례 ❸ 단진동 ❹ 단진동 ❺ 비례 ❻ 변위

1 (1) ○ (2) ○ (3) × **2** (1) $A\sin\omega t$ (2) $A\omega\cos\omega t$ (3) $-A\omega^2\sin\omega t$ **3** (1) ○ (2) × (3) ○ **4** (1) 20 N (2) 20 m/s^2 (3) 0.2π초 **5** $2\pi\sqrt{3}$초

1 (1) 용수철에 매달려 운동하는 물체의 속력은 평형점에서 최대이므로 물체의 속력은 O에서 최대이다. A와 B에서 물체의 운동 방향이 바뀌므로 물체의 속력은 A와 B에서 0이다.
(2) 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 물체의 변위의 크기에 비례하므로 A와 B에서 최대이다.
(3) 물체에 작용하는 탄성력은 물체의 변위와 반대 방향으로 작용한다. 물체가 A에 있을 때 물체에 작용하는 탄성력의 방향은 오른쪽이고, 물체가 B에 있을 때 물체에 작용하는 탄성력의 방향은 왼쪽이므로 서로 반대이다.

2 등속 원운동을 하는 물체에 수직으로 평행 광선을 비추면 스크린에 나타난 물체의 그림자는 단진동을 한다.
(1) t초 후 Q의 변위는 $A\sin\theta = A\sin\omega t$이다.
(2) t초 후 Q의 속도는 $A\omega\cos\theta = A\omega\cos\omega t$이다.
(3) t초 후 Q의 가속도는 $-A\omega^2\sin\theta = -A\omega^2\sin\omega t$이다.

3 (1) 용수철 진자는 평형점을 중심으로 단진동을 한다.
(2), (3) 단진동을 하는 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 용수철 진자의 주기는 물체의 질량 m이 클수록 크고, 용수철 상수 k가 작을수록 크다. 용수철이 늘어난 길이는 용수철 진자의 주기와 관계없다.

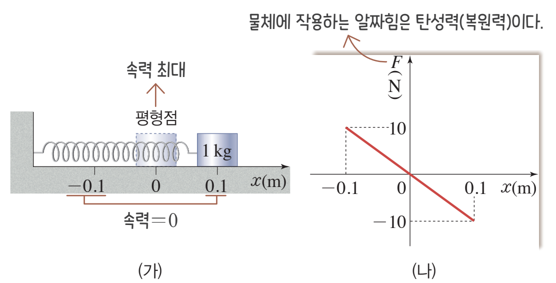
4 (1) 물체에 작용하는 탄성력은 $-kx=-100\times0.2=-20$(N)이므로 탄성력의 크기는 20 N이다.
(2) 물체에 작용하는 알짜힘은 탄성력이고, 뉴턴 운동 제2법칙 $F=ma$에서 $a=\frac{F}{m}$이므로 가속도의 크기$=\frac{20\text{ N}}{1\text{ kg}}=20\text{ m/s}^2$이다.
(3) 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에서 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{1}{100}}=0.2\pi$(s)이다.

5 물체에 작용하는 알짜힘 $F=-kx=ma$에서 $a=-\frac{kx}{m}$이고, 가속도의 최댓값이 2 m/s^2, 변위의 최댓값이 6 m이므로 $2=\frac{k}{m}\times6$에서 $\frac{k}{m}=\frac{1}{3}$이다. 용수철 진자의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{3}$초이다.

대표 자료 분석 147쪽

1 100 N/m **2** 0.2π초 **3** 10 m/s^2 **4** (1) $x=0$ (2) 관계없다 (3) 감소한다 **5** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

1 용수철에 연결되어 단진동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘은 탄성력이다. (나)에서 변위의 크기가 0.1 m일 때 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 10 N이므로 10 N$=k\times$0.1 m에서 용수철 상수 k=100 N/m이다.

2 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{1}{100}}=0.2\pi$초이다.

3 탄성력에 의해 물체가 운동하므로 $-kx=ma$에서 $a=-\dfrac{kx}{m}$이다. 변위의 크기가 0.1 m일 때 탄성력의 크기가 최대이므로 물체의 가속도의 최댓값은 $\dfrac{100\ \text{N/m}\times0.1\ \text{m}}{1\ \text{kg}}=10\ \text{m/s}^2$이다.

4 (1) 용수철에 매달려 운동하는 물체의 속력은 평형점에서 최대이다. 따라서 물체의 속력은 $x=0$에서 최대이다.
(2) 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이므로 주기는 용수철이 늘어난 길이와 관계없다.
(3) 용수철에 매달린 물체의 질량이 증가하면 용수철 진자의 주기도 증가한다. 이때 주기와 진동수는 반비례 관계이므로 용수철 진자의 진동수는 감소한다.

5 (1) 물체에 작용하는 탄성력의 방향은 변위의 방향과 반대이다. 따라서 물체가 $x=-0.1$ m인 지점에 위치할 때 물체가 받는 힘의 방향은 $+x$ 방향이다.
(2) 용수철에 매달려 단진동을 하는 물체에 작용하는 복원력은 탄성력이므로 물체가 받는 알짜힘의 크기는 변위의 크기에 비례한다.
(3) 물체는 복원력인 탄성력을 받아 평형점을 중심으로 주기적으로 진동한다.
(4) 물체의 가속도 $a=-\dfrac{kx}{m}$이므로 가속도의 크기는 변위의 크기에 비례하고, 방향은 변위의 방향과 반대이다.

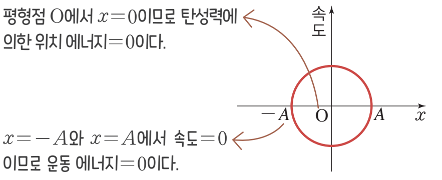
내신 만점 문제

148쪽~150쪽

01 ①	02 ⑤	03 ③	04 해설 참조	05 ③
06 해설 참조		07 ②	08 ①	09 $\dfrac{\pi}{5}$초
10 ①	11 ④	12 ②	13 해설 참조	

01 ㄱ. 용수철에 매달려 왕복 운동을 하는 물체의 속력은 평형점에서 가장 빠르다. 따라서 물체의 속력은 O에서 가장 빠르다.
바로알기 ㄴ. 물체의 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\dfrac{1}{2}kx^2$이고, 물체의 질량을 m, 최대 속력을 v라고 하면 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 $\dfrac{1}{2}kx^2=\dfrac{1}{2}mv^2$에서 $v=x\sqrt{\dfrac{k}{m}}$이다. 따라서 x가 증가하면 물체의 최대 속력도 증가한다.
ㄷ. 용수철이 물체에 작용하는 힘은 탄성력으로 탄성력의 크기는 용수철의 변형된 길이에 비례한다. 따라서 용수철이 물체에 작용하는 힘의 크기는 A와 B에서 가장 크다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. (나)에서 $x=A$에서의 물체의 속도는 0이므로 물체의 운동 에너지는 0이다.
ㄷ. 탄성력은 물체의 변위와 반대 방향으로 작용하므로 $x=-A$에서 물체에 작용하는 탄성력의 방향은 $+x$ 방향이다.
바로알기 ㄱ. 물체가 평형점에 있을 때 물체의 변위는 0이므로 탄성력에 의한 위치 에너지 $\dfrac{1}{2}kx^2=0$이다.

03 ㄱ. 단진동을 하는 그림자의 속도 $v=R\omega\cos\omega t$이므로 최대 속력은 $R\omega$이다.
ㄴ. 단진동을 하는 물체의 주기는 등속 원운동을 하는 물체의 주기와 같으므로 그림자의 단진동 주기는 $\dfrac{2\pi}{\omega}$이다.
바로알기 ㄷ. 그림자의 가속도 $a=-R\omega^2\sin\omega t=-\omega^2x$이고, O′에서 변위 $x=0$이므로 가속도는 0이다.

04 모범 답안 그림자의 가속도는 $-R\omega^2\sin\omega t$이므로 가속도의 최댓값 $10\ \text{m/s}^2=R\omega^2$이다. 단진동을 하는 물체의 주기는 등속 원운동을 하는 물체의 주기와 같으므로 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$에서 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}$이다. 그림자의 주기 $T=\dfrac{\pi}{5}$초이므로 $10=R\omega^2=R\times\dfrac{4\pi^2}{T^2}=R\times100$에서 $R=0.1$ m이다.

채점 기준	배점
R을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
R의 값만 옳게 쓴 경우	50 %

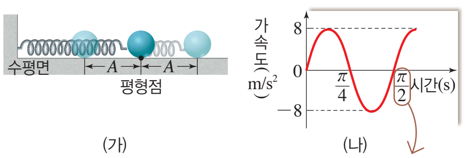
05 단진동을 하는 물체의 변위는 $A\sin\theta=A\sin\omega t$이다. 변위-시간 그래프에서 진폭 $A=20$ m, 주기 $T=4$ s이고, 단진동을 하는 물체의 주기는 등속 원운동을 하는 물체의 주기와 같으므로 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$에서 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{\pi}{2}$ rad/s이다.
따라서 $y=A\sin\omega t=20\sin\dfrac{\pi}{2}t$이다.

06 모범 답안 (1) 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이고, 물체를 10 N의 힘으로 잡아당겼을 때 용수철이 늘어난 길이는 2 cm이므로 $F=-kx$에서 용수철 상수 $k=\dfrac{10\ \text{N}}{0.02\ \text{m}}=500$ N/m이다. 따라서 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{\dfrac{5}{500}}=\dfrac{\pi}{5}$(s)이다.

(2) 용수철에 작용하는 탄성력의 크기는 용수철이 변형된 길이에 비례한다. 물체를 10 N의 힘으로 잡아당겼을 때 용수철이 2 cm 늘어났으므로 물체를 평형점에서 10 cm만큼 잡아당기면 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 50 N이다. $F=-kx=ma$에서 가속도 $a=-\frac{kx}{m}$이므로 가속도의 최댓값은 $\frac{50\ \mathrm{N}}{5\ \mathrm{kg}}=10\ \mathrm{m/s^2}$이다.

채점 기준		배점
(1)	물체의 주기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %
	물체의 주기만 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	물체의 가속도의 최댓값을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	50 %
	물체의 가속도의 최댓값만 옳게 쓴 경우	30 %

07 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

물체가 한 번 진동하는 데 걸린 시간=주기=$\frac{\pi}{2}$초

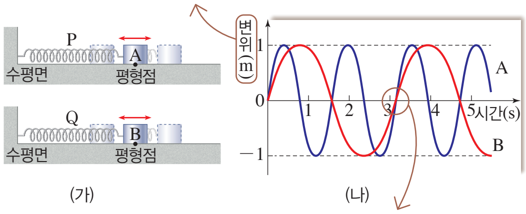
ㄴ. 물체가 진폭 A로 단진동을 하므로 물체의 속도 $v=A\omega\cos\omega t$이고, 최대 속력은 $A\omega$이다. $A=0.5$ m, $\omega=4$ rad/s이므로 최대 속력은 2 m/s이다.

바로알기 ㄱ. 물체가 진폭 A로 단진동을 하므로 물체의 가속도 $a=-A\omega^2\sin\omega t$이고, 가속도의 최댓값은 $A\omega^2$이다. (나)에서 가속도의 최댓값은 8 m/s²이고, 주기 $T=\frac{\pi}{2}=\frac{2\pi}{\omega}$이므로 $\omega=4$ rad/s이다. 따라서 $A\omega^2=8=A\times4^2$에서 $A=0.5$(m)이다.

ㄷ. $\frac{\pi}{8}$초일 때 물체의 가속도의 크기가 최대이므로 $F=ma$에 따라 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 최대이다.

08 꼼꼼 문제 분석

A와 B가 단진동을 하는 변위의 최댓값이 서로 같다.
→ A와 B에 작용하는 탄성력의 크기는 용수철 상수로 결정된다.



(가) (나)

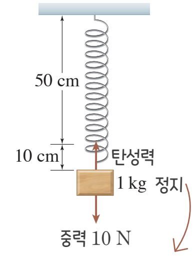
같은 시간 동안 A는 2번 진동하고, B는 1번 진동한다.
→ 주기는 B가 A의 2배이다.

ㄱ. A가 2번 진동하는 동안 B는 1번 진동하므로 주기는 B가 A의 2배이다.

바로알기 ㄴ. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. A와 B의 질량은 서로 같고, 주기는 B가 A의 2배이므로 용수철 상수 k는 P가 Q의 4배이다.

ㄷ. A와 B가 단진동을 하는 변위의 최댓값이 1 m로 같고, 용수철 상수는 P가 Q의 4배이므로 용수철에 작용하는 탄성력의 최댓값은 P에서가 Q에서의 4배이다.

09 꼼꼼 문제 분석



용수철에 매달린 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 탄성력과 중력의 크기는 서로 같다.

용수철의 길이가 10 cm만큼 늘어난 상태로 정지해 있으므로 물체에 작용하는 탄성력과 중력의 크기는 서로 같다. 따라서 $mg=kx$에서 용수철 상수 $k=\frac{mg}{x}=\frac{10}{0.1}=100$(N/m)이다. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{1}{100}}=\frac{\pi}{5}$(s)이다.

10 ㄱ. 용수철에 물체를 연직 아래 방향으로 매달아 놓으면 물체는 중력과 탄성력이 평형을 이루는 점을 중심으로 단진동을 한다. 물체의 속력은 평형점에서 최대이고, 최고점과 최저점에서 순간적으로 0이 된다. 물체의 속력이 최대인 평형점에서 중력과 탄성력의 크기는 같고, 방향은 서로 반대이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

바로알기 ㄴ. 물체가 단진동을 하므로 모든 마찰과 공기 저항은 무시되어 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 물체가 어느 위치에 있더라도 역학적 에너지는 같다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 주기는 중력 가속도와 관계없다. 따라서 이 장치를 달에 가져가도 물체의 주기는 변하지 않는다.

11 A와 B를 용수철에 매달았을 때 각각 h, $\frac{h}{2}$만큼 늘어난

상태로 정지해 있으므로 중력 가속도를 g, 물체가 매달린 용수철의 용수철 상수를 각각 k_{A}, k_{B}라고 하면 $mg=k_{\mathrm{A}}h$에서 $k_{\mathrm{A}}=\dfrac{mg}{h}$이고, $2mg=k_{\mathrm{B}}\dfrac{h}{2}$에서 $k_{\mathrm{B}}=\dfrac{4mg}{h}$이다. 따라서 용수철 상수는 k_{B}가 k_{A}의 4배이다. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$에 따라 $T_{\mathrm{A}}=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k_{\mathrm{A}}}}$, $T_{\mathrm{B}}=2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k_{\mathrm{B}}}}=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k_{\mathrm{A}}}}$이므로 $T_{\mathrm{A}}:T_{\mathrm{B}}=\sqrt{2}:1$이다.

12 ㄷ. 단진동을 하는 물체의 속도는 $A\omega\cos\omega t$이므로 최대 속력은 $A\omega$이다. 물체의 주기는 B가 A의 $\sqrt{3}$배이므로 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$에 따라 각속도 ω는 A가 B의 $\sqrt{3}$배이다. 또한 진폭은 B가 A의 3배이므로 A와 B의 최대 속력을 각각 v_{A}, v_{B}, A의 진폭을 A, A의 각속도를 ω라고 하면 $v_{\mathrm{A}}=A\omega$이고, $v_{\mathrm{B}}=\dfrac{3A}{\sqrt{3}}\omega=\sqrt{3}A\omega$이므로 최대 속력은 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다.

바로알기 ㄱ. 단진동을 하는 물체가 평형점에 위치할 때 물체에 작용하는 중력과 탄성력은 평형 상태이다. 물체를 가만히 놓았을 때 용수철이 늘어난 길이를 x, 중력 가속도를 g라고 하면 평형점에서 $mg=kx$이므로 $x=\dfrac{mg}{k}$인 지점이 평형점이 된다. 동일한 용수철에 A와 B를 매달았으므로 (가)와 (나)에서 용수철 상수 k는 서로 같고, 질량은 B가 A의 3배이므로 평형점에서 용수철의 변위는 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. 따라서 진폭은 B가 A의 3배이다.

ㄴ. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$에서 용수철 상수 k는 같고, 질량은 B가 A의 3배이므로 주기는 B가 A의 $\sqrt{3}$배이다.

13 A와 B가 단진동을 하므로 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다. 따라서 운동하는 동안 A와 B의 역학적 에너지는 보존된다.

모범 답안 A와 B의 역학적 에너지는 보존되므로 용수철 상수를 k라고 하면 $\dfrac{1}{2}kd^2=\dfrac{1}{2}mv_0^2$에서 $v_0=d\sqrt{\dfrac{k}{m}}$이다. 질량은 B가 A의 $\dfrac{1}{4}$배이므로 B의 최대 속력은 $2v_0$이다. 또한 (나)에서 A의 주기 $4t_0=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이므로 B의 주기는 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{4k}}=2t_0$이다.

채점 기준	배점
B의 최대 속력과 주기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
B의 최대 속력과 주기만 옳게 쓴 경우	50 %
B의 최대 속력과 주기 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

실력 UP 문제 151쪽

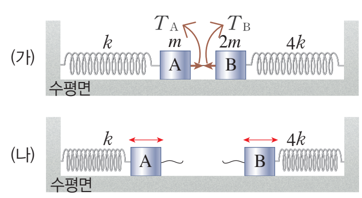
01 ⑤ 02 ② 03 ④ 04 ②

01 ㄱ. 물체의 가속도의 최댓값은 $2.5\ \mathrm{m/s^2}$이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 최댓값은 $1\ \mathrm{kg}\times2.5\ \mathrm{m/s^2}=2.5\ \mathrm{N}$이다.

ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘은 탄성력이므로 $F=ma=-kx$에서 용수철 상수 $k=\dfrac{ma}{x}=\dfrac{2.5}{0.1}=25\ \mathrm{N/m}$이다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이므로 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{\dfrac{1}{25}}=\dfrac{2\pi}{5}(\mathrm{s})$이다.

02 꼼꼼 문제 분석



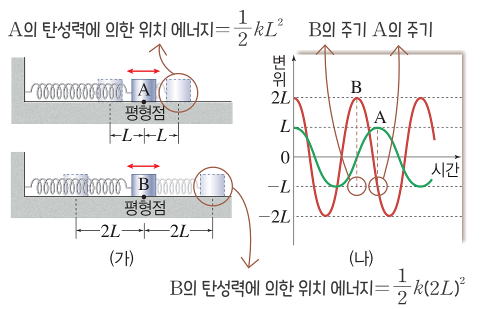
A와 B가 실로 연결된 채 정지해 있다.
➡ 실이 A와 B에 작용하는 장력의 크기가 서로 같다. $T_{\mathrm{A}}=T_{\mathrm{B}}$
➡ 실이 A와 B에 작용하는 장력의 크기는 A와 B에 작용하는 탄성력의 크기와 같다. $T_{\mathrm{A}}=kx_{\mathrm{A}}$, $T_{\mathrm{B}}=4kx_{\mathrm{B}}$
➡ $kx_{\mathrm{A}}=4kx_{\mathrm{B}}$이므로 변위의 크기는 A가 B의 4배이다.

ㄷ. 단진동을 하는 물체의 속도 $v=A\omega\cos\omega t$이므로 최대 속력은 $A\omega$이다. 진폭은 A가 B의 4배이고, 주기 $T=\dfrac{2\pi}{\omega}$에서 각속도 ω는 주기와 반비례 관계이므로 ω는 B가 A의 $\sqrt{2}$배이다. A와 B의 최대 속력을 각각 v_{A}, v_{B}, A의 진폭을 A, A의 각속도를 ω라고 하면 $v_{\mathrm{A}}=A\omega$, $v_{\mathrm{B}}=\dfrac{\sqrt{2}}{4}A\omega$이므로 최대 속력은 A가 B의 $2\sqrt{2}$배이다.

바로알기 ㄱ. A와 B 사이를 실로 연결했을 때 두 물체가 정지해 있으므로 두 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 서로 같다. 용수철 상수는 B가 A의 4배이므로 변위의 크기는 A가 B의 4배이다. 따라서 진폭은 A가 B의 4배이다.

ㄴ. A와 B의 주기를 각각 T_{A}, T_{B}라고 하면 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이므로 $T_{\mathrm{A}}=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$이고, $T_{\mathrm{B}}=2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{4k}}=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$이다. 따라서 주기는 A가 B의 $\sqrt{2}$배이다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에 따라 주기는 물체의 질량 m이 클수록, 용수철 상수 k가 작을수록 크다. A와 B는 동일한 용수철에 연결되어 있으므로 용수철 상수는 서로 같고, 주기는 A가 B보다 길므로 물체의 질량은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 물체가 단진동을 할 때 모든 마찰과 공기 저항은 무시되므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 탄성력에 의한 위치 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$으로 변위의 크기의 제곱에 비례한다. A와 B를 각각 L, $2L$만큼 잡아당긴 지점을 기준으로 하면 변위의 최댓값은 B가 A의 2배이므로 탄성력에 의한 위치 에너지는 B가 A의 4배이다. 최대 변위인 지점에서 물체의 운동 에너지는 0이므로 물체의 역학적 에너지는 B가 A의 4배이다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 물체가 한 번 진동하는 데 걸린 시간은 B가 A보다 짧으므로 물체의 주기는 B가 A보다 짧다.

04 ㄴ. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에서 용수철 상수 $k=\frac{2mg}{L}$이므로 $T=2\pi\sqrt{\frac{mL}{2mg}}=\pi\sqrt{\frac{4L}{2g}}=\pi\sqrt{\frac{2L}{g}}$이다.

바로알기 ㄱ. 실을 끊기 전 A와 B는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 탄성력과 중력의 크기는 서로 같다. 따라서 $kL=2mg$에서 용수철 상수 $k=\frac{2mg}{L}$이다. 실을 끊은 후 평형점에서 용수철이 늘어난 길이를 x라고 하면, $kx=mg$이므로 $x=\frac{mg}{k}=\frac{L}{2}$인 지점이 평형점이 되고, 늘어난 길이는 평형점으로부터 $\frac{L}{2}$이다. 따라서 단진동의 진폭은 $\frac{L}{2}$이다.

ㄷ. A가 $x=\frac{L}{2}$을 중심으로 진폭이 $\frac{L}{2}$인 진동을 하므로 최고점은 용수철의 길이가 L_0인 지점이 된다. 이 지점에서 A에 작용하는 탄성력은 0이므로 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 중력의 크기와 같은 mg이다.

02 탄성파

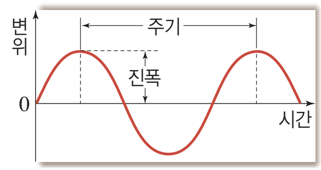
개념 확인 문제

154쪽

❶ 탄성파 ❷ 파장 ❸ 진폭 ❹ 시간 ❺ 진동수
❻ 고정단 ❼ 자유단 ❽ 반사

1 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ **2** (1) $\frac{1}{30}$초 (2) $\frac{100}{3}$ Hz (3) 3배 **3** (1) ○ (2) × (3) ○ **4** ㄱ, ㄴ, ㄹ

1 (1) 파동이 진행할 때 매질은 제자리에서 진동할 뿐 이동하지 않는다.
(2) 횡파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 파동이다.
(3) 종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동으로 음파, 지진파의 P파 등이 해당된다.
(4) 매질의 한 지점이 진동하는 모습을 시간에 따라 나타내면 다음과 같다.



파동의 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리가 진폭이고, 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간이 주기이므로 매질의 한 지점이 진동하는 모습을 시간에 따라 나타내면 진폭, 주기, 진동수를 알 수 있다.

2 (1), (2) 주기와 진동수는 역수 관계이므로 A의 주기 ㉠은 $\frac{1}{30}$초이고, B의 진동수 ㉡은 $\frac{100}{3}$ Hz이다.
(3) 파동의 속력$=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=$진동수×파장이므로 A와 B의 속력을 각각 v_A, v_B라고 하면 $v_A=30\text{ Hz}\times 2\text{ m}=60\text{ m/s}$이고, $v_B=\frac{100}{3}\text{ Hz}\times 0.6\text{ m}=20\text{ m/s}$이므로 v_A는 v_B의 3배이다.

3 (1) 파동의 진행 방향은 수평 방향이고, 줄의 진동 방향은 연직 방향이므로 줄의 진동 방향과 파동의 진행 방향은 수직이다.
(2) 입사파와 반사파의 위상이 반대이므로 고정단 반사이다.
(3) 고정단 반사는 파동이 속력이 빠른 매질에서 속력이 느린 매질로 진행할 때 일어나므로 줄에서 파동의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

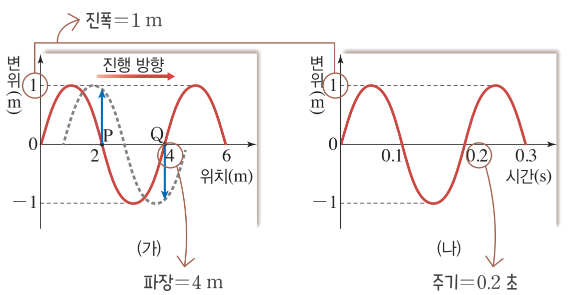
4 ㄱ, ㄴ, ㄹ. 초음파 영상 진단 장치, 비파괴 검사, 해저 지형 탐사는 탄성파의 한 종류인 초음파를 활용한 예이다.
ㄷ. 지폐의 홀로그램은 빛의 간섭 현상을 이용한 예로 물질의 진동이 전달되는 탄성파를 활용한 예가 아니다.

대표 자료 분석 155쪽

1 (1) 1 (2) 4 (3) 0.2 **2** 20 m/s **3** ㉠ +, ㉡ −, ㉢ +, ㉣ P
4 0 **5** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

꼼꼼 문제 분석

• 변위−위치 그래프에서 파장과 진폭을 구할 수 있고, 변위−시간 그래프에서 진폭, 주기, 진동수를 구할 수 있다.



• (가)에서 시간이 지나는 순간, P의 변위는 (+)의 값을 가지고, Q의 변위는 (−)의 값을 가진다.

1 (1) 파동의 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 1 m이다.
(2) 파동의 파장은 이웃한 마루(골)와 마루(골) 사이의 거리이므로 4 m이다.
(3) 파동의 주기는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간이다. (나)의 변위−시간 그래프에서 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간이 0.2초이므로 주기는 0.2초이다.

2 파동의 속력$=\dfrac{\text{파장}}{\text{주기}}=$진동수×파장이므로 파동의 속력$=\dfrac{4\text{ m}}{0.2\text{ s}}=20\text{ m/s}$이다.

3 파동이 오른쪽으로 진행하므로 (가)의 직후 P는 ㉠ (+) 방향으로 진동하고, Q는 ㉡ (−) 방향으로 진동한다. (나)에서 $t=0$이 지나는 순간 변위가 ㉢ (+)의 값을 가지므로 (나)는 (가)의 순간부터 ㉣ P의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

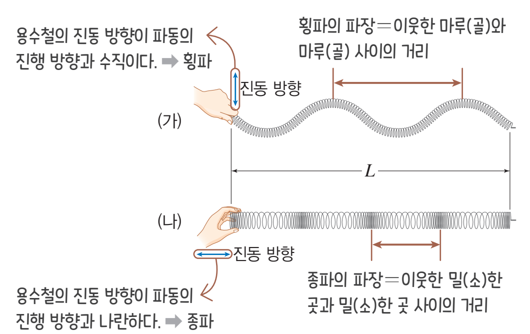
4 파동의 주기가 0.2초이므로 0.1초 후에는 파동이 반 파장인 2 m만큼 이동한다. $t=0.1$초일 때 P와 Q의 변위는 $t=0$일 때와 동일하게 0이므로 $t=0.1$초일 때 P와 Q의 변위의 크기 차는 0이다.

5 (1) 파동의 진동수는 주기와 역수 관계이므로 $\dfrac{1}{0.2\text{ s}}=5\text{ Hz}$이다.
(2) 파동의 진동수가 5 Hz이므로 P는 1초 동안 5회 진동한다.
(3) 파동의 주기가 0.2초이므로 Q는 1회 진동하는 데 0.2초가 걸린다.
(4) 0.05초는 $\dfrac{1}{4}$주기에 해당하므로 (가)의 순간으로부터 파동은 오른쪽으로 1 m만큼 이동한다. 따라서 $t=0.05$초일 때 P는 마루가 되고, Q는 골이 된다.

내신 만점 문제 156쪽~158쪽

01 ③ **02** ③ **03** ② **04** ① **05** 해설 참조 **06** ③
07 3 : 4 **08** ③ **09** ④ **10** 해설 참조 **11** ①
12 ⑤ **13** ④

01 꼼꼼 문제 분석



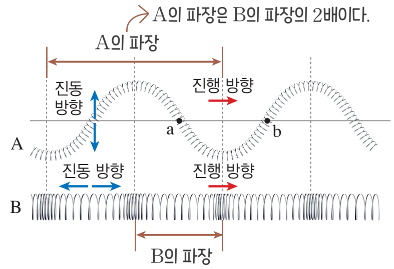
① (가)와 (나)는 매질인 용수철을 따라 전파되는 탄성파이다.
② (가)는 매질인 용수철의 진동 방향이 파동의 진행 방향과 수직이므로 횡파이고, (나)는 매질인 용수철의 진동 방향이 파동의 진행 방향과 나란하므로 종파이다.
④ 음파는 (나)와 같은 종파이다.
⑤ 지진파의 S파는 (가)와 같은 횡파이다.
바로알기 ③ 횡파인 (가)의 파장은 마루(골)에서 이웃한 마루(골)까지의 거리이고, 종파인 (나)의 파장은 매질이 밀(소)한 곳에서 이웃한 밀(소)한 곳까지의 거리이다. 따라서 (가)의 파장이 (나)의 파장보다 길다.

02 ㄱ. 파동의 진동수는 매질을 진동시킨 파원의 진동수에 의해 결정된다. 파원의 진동수가 변하지 않으므로 A와 B가 1초 동안 진동하는 횟수는 서로 같다.

ㄷ. 물결파는 횡파라는 조건에 따라 파동이 진행하는 방향은 A와 B가 진동하는 방향과 수직이다.

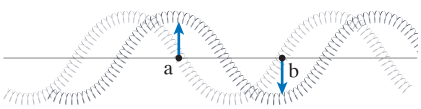
바로알기 ㄴ. A와 B는 제자리에서 진동하므로 시간이 지나도 A와 B 사이의 거리는 멀어지지 않는다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 지진파의 P파는 B와 같은 종파이다.

바로알기 ㄱ. A에 생긴 파동의 다음 순간 모습을 진행 방향으로 약간 이동시켜 그려 보면 다음과 같다.

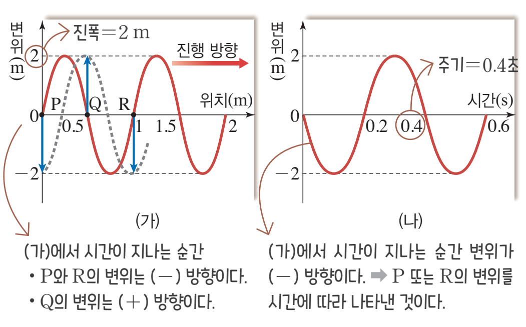


a의 운동 방향은 위쪽이고, b의 운동 방향은 아래쪽이므로 운동 방향은 a와 b가 서로 반대이다.

ㄴ. A에 생긴 파동은 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직이므로 횡파이다. 횡파의 파장은 이웃한 마루(골)와 마루(골) 사이의 거리이다. B에 생긴 파동은 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란하므로 종파이다. 종파의 파장은 이웃한 밀(소)한 지점 사이의 거리이다. 따라서 A의 파장은 B의 파장의 2배이다.

다른 풀이 ㄱ. 거리가 반 파장 차가 나는 두 곳의 운동 방향은 서로 반대이므로 a와 b의 운동 방향은 서로 반대이다.

04 꼼꼼 문제 분석

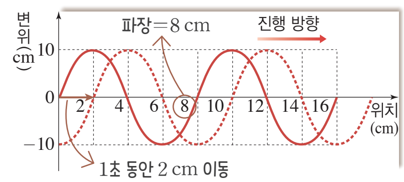


ㄱ. 파동의 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 2 m이다.

바로알기 ㄴ. (나)의 변위−시간 그래프에서 파동이 1회 진동하는 데 걸린 시간은 0.4초이므로 주기는 0.4초이다. 진동수는 주기와 역수 관계이므로 파동의 진동수는 $\frac{1}{0.4}=\frac{5}{2}=2.5$(Hz)이다.

ㄷ. (가)에서 시간이 지나는 순간 P와 R의 변위는 (−) 방향이고, Q의 변위는 (+) 방향이다. (나)에서 (가)의 순간 이후 변위가 (−) 방향이므로 (나)는 P 또는 R의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

05 꼼꼼 문제 분석

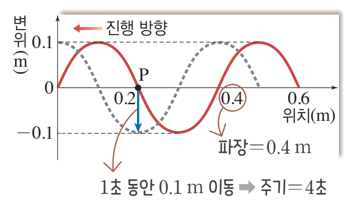


$2\text{ cm}=\frac{1}{4}$파장 ➡ 주기=4초

모범 답안 파동이 $\frac{1}{4}$파장 진행하는 데 걸린 시간이 1초이므로 한 파장 진행하는 데 걸린 시간은 4초이다. 파동의 파장은 8 cm이고, 주기는 4초이므로 파동의 속력$=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=\frac{0.08\text{ m}}{4\text{ s}}=0.02$ m/s이다.

채점 기준	배점
파동의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
파동의 속력만 옳게 쓴 경우	50 %

06 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 파장은 이웃한 마루(골)와 마루(골) 사이의 거리이므로 0.4 m이다.

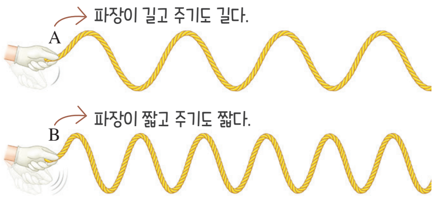
ㄷ. 파동의 속력$=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=\frac{0.4\text{ m}}{4\text{ s}}=0.1$ m/s이다.

바로알기 ㄴ. 1초 후에 P의 변위가 처음으로 −0.1 m가 되므로 파동이 1초 동안 왼쪽으로 $\frac{1}{4}$파장만큼 진행함을 알 수 있다. 따라서 파동의 주기는 4초이다.

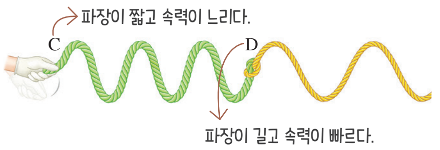
07 (가)에서 A와 B에 생긴 파동의 파장 비는 1 : 2이고, (나)에서 A와 B에 생긴 파동의 주기 비는 2 : 3이다. 파동의 속력은 파장을 주기로 나눈 값이므로 A와 B에 생긴 파동의 속력의 비 $v_A : v_B = \frac{1}{2} : \frac{2}{3} = 3 : 4$이다.

08 꼼꼼 문제 분석

종류가 같은 줄 A, B에서 파동의 속력은 같다. $v=\frac{\lambda}{T}$에서 파동의 속력이 같을 때 파장과 주기는 비례한다.



줄에 생긴 파동의 속력은 줄의 밀도가 작을수록, 장력의 크기가 클수록 크다.



① A와 B는 종류가 같은 줄이고, 줄에 작용하는 장력의 크기가 같으므로 줄에 생긴 파동의 속력은 서로 같다.
② A와 B에 생긴 파동의 속력이 서로 같으므로 파장과 주기는 비례 관계이다. 파장은 A가 B보다 길므로 주기도 A가 B보다 길다.
④ 줄에 생긴 파동의 속력은 줄의 밀도가 작을수록, 장력의 크기가 클수록 크다. 굵기가 가는 줄이 굵은 줄보다 밀도가 작으므로 줄에 생긴 파동의 속력은 C가 D보다 작다.
⑤ 파동이 속력이 느린 매질에서 속력이 빠른 매질로 진행할 때 매질의 경계면에서 자유단 반사가 일어나므로 C와 D의 경계면에서 반사하는 파동의 위상은 입사하는 파동의 위상과 같다.
바로알기 ③ 손이 줄을 흔드는 진동수와 줄에 생긴 파동의 진동수가 같으므로 파동의 진동수는 C와 D가 서로 같다.

09 ㄴ. 파동의 주기가 0.8초이므로 파장은 파동이 0.8초 동안 진행한 거리인 0.4 m이다. 따라서 파동의 속력 $=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=\frac{0.4\text{ m}}{0.8\text{ s}}=0.5\text{ m/s}$이다.
ㄷ. 줄의 한쪽 끝이 고정되어 있으므로 파동이 경계면에 입사하면 고정단 반사가 일어난다. 따라서 경계면에서 반사되는 파동의 위상은 입사하는 파동의 위상과 반대이다.
바로알기 ㄱ. 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직이므로 이 파동은 횡파이다.

10 고정단 반사는 파동이 매질의 고정된 끝 부분에 도달하거나 속력이 빠른 매질에서 속력이 느린 매질로 진행할 때 매질의 경계면에서 발생하고, 자유단 반사는 파동이 매질의 고정되지 않은 끝 부분에 도달하거나 속력이 느린 매질에서 속력이 빠른 매질로 진행할 때 매질의 경계면에서 발생한다.
모범 답안 (나)와 (다), (나)와 같이 파동이 속력이 빠른 매질(가는 줄)에서 속력이 느린 매질(굵은 줄)로 입사할 때와 (다)와 같이 파동이 진행하는 매질의 한쪽 끝이 고정되어 있을 때 경계면에서 고정단 반사가 일어나 입사파와 위상이 반대인 반사파가 형성된다.

채점 기준	배점
입사파와 반사파의 위상이 서로 반대인 것을 옳게 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
입사파와 반사파의 위상이 서로 반대인 것만 옳게 쓴 경우	50 %

11 파동이 0.6 m/s의 속력으로 고정된 벽을 향해 진행하므로 10초 동안 이동한 거리는 6 m이다. 벽과의 경계면에서 고정단 반사가 일어나므로 경계면에서 반사되어 나오는 파동의 위상은 입사하는 파동의 위상과 반대이다. 따라서 10초 뒤 줄에 발생한 파동의 모습으로 가장 적절한 것은 ①이다.

12 ㄱ. (가)의 초음파 영상 진단 장치와 (나)의 해저 지형 탐사는 초음파를 이용한 것이므로 탄성파를 활용한 예이다.
ㄴ. 초음파의 전파 속도는 신체의 성분마다 다르기 때문에 경계면에서 반사되는 정도가 다르다. (가)의 초음파 영상 진단 장치는 이를 이용하여 태아의 건강 상태나 장기의 이상 유무 등을 검사한다.
ㄷ. (나)의 해저 지형 탐사는 배 밑바닥에서 바닷속으로 발사한 초음파가 바다 밑바닥에서 반사한 뒤 되돌아오는 데 걸린 시간을 측정하여 해저의 깊이를 알아낸다.

13 A. 인공 지진파를 발생시켰을 때 지하 지층 경계면에서 반사 또는 굴절되어 되돌아온 지진파를 측정하여 지질 구조를 알아낸다. 이는 석유와 같은 자원 탐사에도 활용된다.
C. 자동차 후방 센서에서 발생한 초음파가 장애물에서 반사하여 되돌아오는 데까지 걸린 시간을 측정하여 자동차와 장애물 사이의 거리를 탐지한다.
바로알기 B. 초음파를 이용한 비파괴 검사는 물체에서 반사한 초음파를 측정하여 물체 내의 결함을 확인하는 것으로 주로 파동의 반사를 이용한다.

실력 UP 문제 159쪽

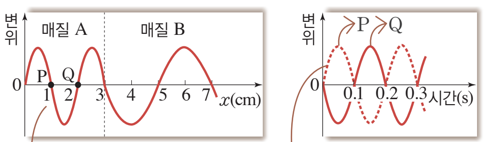
01 ③ 02 ④ 03 ③ 04 ⑤

01 ㄱ. 파장은 이웃한 마루(골)와 마루(골) 사이의 거리이다. A와 B 사이의 거리는 파장의 5배이므로 파동의 파장$=\dfrac{6\text{ cm}}{5}$$=1.2\text{ cm}$이다.

ㄷ. 파동의 전파 속력은 2 cm/s이고, 물결파의 파장은 1.2 cm이므로 파동의 속력$=\dfrac{\text{파장}}{\text{주기}}$에서 파동의 주기$=\dfrac{1.2\text{ cm}}{2\text{ cm/s}}=\dfrac{3}{5}$초이다. 직선파 발생 장치의 진동 주기는 파동의 주기와 같으므로 $\dfrac{3}{5}$초이다.

바로알기 ㄴ. 파동의 마루가 A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간이 3초이므로 파동은 3초 동안 6 cm를 이동하였다. 따라서 파동의 속력$=\dfrac{6\text{ cm}}{3\text{ s}}=2\text{ cm/s}$이다.

02 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

$+x$ 방향으로 진행하는
0~0.1초 동안
P의 변위의 방향: (+)
Q의 변위의 방향: (−)

0~0.1초 동안
점선의 변위의 방향: (+) ➡ P
실선의 변위의 방향: (−) ➡ Q

ㄱ. A에서 파동이 $+x$ 방향으로 진행할 때 (가)의 순간 직후 P는 위 방향으로 운동하므로 0.1초 동안 P의 변위는 (+)의 값을 가지고, Q는 아래 방향으로 운동하므로 0.1초 동안 Q의 변위는 (−)의 값을 가진다. 따라서 (나)에서 실선은 Q의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

ㄴ. 한 파동의 진동수는 매질의 종류와 관계없이 일정하므로 매질 A와 B에서 진행하는 파동의 진동수는 서로 같다. 주기와 진동수는 역수 관계이므로 A와 B에서 파동의 주기도 서로 같다.

바로알기 ㄷ. A에서 파동의 파장은 2 cm이고, B에서 파동의 파장은 4 cm이다. 파동의 주기는 A와 B에서 같으므로 파동의 속력$=\dfrac{\text{파장}}{\text{주기}}$에 따라 파동의 속력은 파장에 비례한다. 따라서 파동의 속력은 A에서가 B에서의 $\dfrac{1}{2}$배이다.

03 ㄱ. 파동의 주기는 P가 Q의 2배이고, 진동수는 주기와 역수 관계이므로 파동의 진동수는 Q가 P의 2배이다.

ㄴ. 파동의 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 P가 Q보다 크다.

바로알기 ㄷ. P와 Q의 파장이 같으므로 파동의 속력$=\dfrac{\text{파장}}{\text{주기}}$에 따라 파동의 속력은 주기에 반비례한다. 따라서 파동의 속력은 Q가 P의 2배이다.

04 ㄱ. 파동이 줄과 벽의 경계면에서 반사되어 되돌아오므로 (가)에서 파동의 오른쪽 끝은 (나)에서 파동의 왼쪽 끝에 해당된다. 즉, 파동은 4초 동안 60 cm를 이동하므로 파동의 속력$=\dfrac{60\text{ cm}}{4\text{ s}}=15\text{ cm/s}$이다.

ㄴ. 파동이 한쪽 끝이 벽에 고정된 줄을 따라 진행하므로 벽과의 경계면에서 고정단 반사가 일어난다. 즉, 파동이 벽에서 반사할 때 파동의 위상이 반대로 변한다.

ㄷ. 파동이 오른쪽으로 진행하므로 (가)에서 벽으로부터 왼쪽으로 30 cm 떨어진 줄 위의 한 점은 (가)의 직후 위쪽 방향으로 운동한다.

중단원 핵심 정리 160쪽

❶ 비례 ❷ 반대 ❸ 복원력 ❹ 단진동 ❺ 비례 ❻ 변위 ❼ $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ ❽ 횡파 ❾ 종파 ❿ 주기 ⓫ 진동수 ⓬ 고정단 ⓭ 자유단

중단원 마무리 문제 161쪽~162쪽

01 ③ 02 ② 03 ③ 04 ① 05 ③ 06 ①
07 해설 참조 08 해설 참조 09 해설 참조

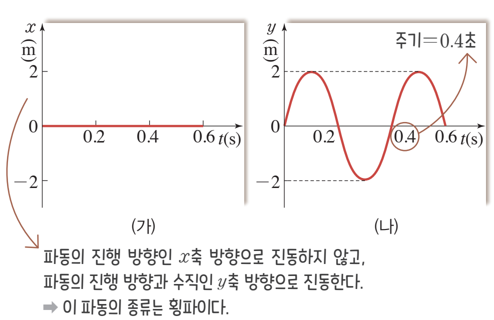
01 ㄱ. 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 용수철 상수와 변위의 크기의 곱이다. a에서 물체의 변위의 크기는 A이므로 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 kA이다.

ㄷ. 물체가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{4}$주기이다. 용수철에 매달려 단진동을 하는 물체의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 a에서 b까지 물체가 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{4}T=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}$이다.

바로알기 ㄴ. c에서 물체는 변위 $-A$에서 평형점인 O에 가까워지는 상황이므로 물체의 속력이 증가한다. 물체의 운동 방향과 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 같을 때 물체의 속력이 증가하므로 탄성력은 물체의 운동 방향과 같은 방향으로 작용한다.

02 물체가 Q를 지나는 순간 진폭의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$인 지점을 지나므로 진폭을 A라고 하면 단진동을 하는 물체의 변위 $x=A\sin\theta$에 따라 $\frac{A}{\sqrt{2}}=A\sin\theta$에서 $\theta=45°$이다. 등속 원운동을 하는 물체가 360° 회전하는 데 걸린 시간은 그림자의 단진동 주기 T와 같으므로 물체가 P에서 Q까지 운동하는 데 걸리는 시간은 $\frac{T}{8}$이다.

03 꼼꼼 문제 분석



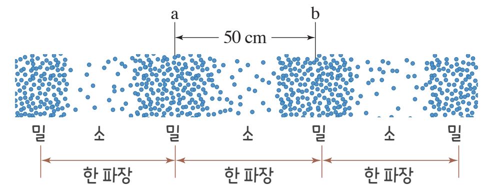
ㄱ. 파동이 x축 방향으로 진행할 때 매질의 어느 한 점은 y축 방향으로만 진동하므로 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향은 서로 수직이다. 따라서 이 파동은 횡파이다.

ㄷ. 파동의 속력 $=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=\frac{0.1\text{ m}}{0.4\text{ s}}=0.25\text{ m/s}$이다.

바로알기 ㄴ. (나)의 y축 방향의 변위-시간 그래프에서 파동이 한 번 진동하는 데 걸린 시간이 0.4초이므로 주기가 0.4초임을 알 수 있다. 진동수는 주기와 역수 관계이므로 파동의 진동수 $=\frac{1}{0.4}=\frac{5}{2}=2.5(\text{Hz})$이다.

04 꼼꼼 문제 분석

종파의 파장은 이웃한 밀(소)한 곳과 밀(소)한 곳 사이의 거리이다.

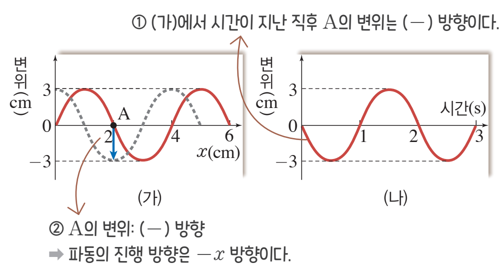


ㄴ. 파동의 속력 = 진동수 × 파장에서 파동의 속력은 340 m/s, 파장은 0.5 m이므로 파동의 진동수 $=\frac{340\text{ m/s}}{0.5\text{ m}}=680\text{ Hz}$이다.

바로알기 ㄱ. 음파는 종파에 해당하므로 파동의 파장은 이웃한 밀한 곳과 밀한 곳 사이 또는 소한 곳과 소한 곳 사이의 거리이다. a와 b 사이의 거리는 이웃한 밀한 곳과 밀한 곳 사이의 거리이므로 파동의 파장은 0.5 m이다.

ㄷ. $\frac{1}{2}$주기 후 파동의 위상은 반대가 되므로 a는 가장 소한 곳이 된다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (나)에서 0~1초 동안 A의 변위는 (−) 방향이다. (가)에서 파동이 $-x$ 방향으로 진행할 때 A의 변위가 (−) 방향이 되므로 파동의 진행 방향은 $-x$ 방향이다.

ㄴ. (가)에서 파동의 파장은 4 cm이고, (나)에서 주기는 2초임을 알 수 있으므로 파동의 속력 $=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=\frac{4\text{ cm}}{2\text{ s}}=2\text{ cm/s}$이다.

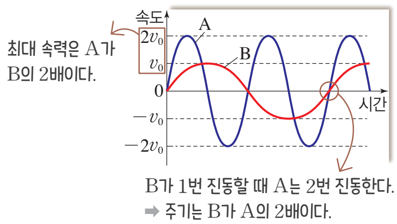
바로알기 ㄷ. 파동의 주기가 2초이므로 1초는 반 주기에 해당한다. 한 주기 동안 매질은 한 번 진동하지만, 반 주기 동안에는 평형점 → 마루(골) → 평형점으로 운동한다. (가)에서 $x=4$ cm인 지점은 1초 동안 변위가 0 → 3 cm → 0으로 변하므로 $t=1$초일 때 매질의 변위는 0이다.

06 ㄱ. 파동의 속력이 1 m/s이고, 파동의 오른쪽 끝으로부터 벽까지의 거리가 2 m이므로 파동은 2초 후에 벽에 도달하기 시작한다.

바로알기 ㄴ. 파동의 속력=진동수×파장에서 파동의 파장은 2 m, 속력은 1 m/s이므로 파동의 진동수$=\frac{1\text{ m/s}}{2\text{ m}}=\frac{1}{2}$ Hz이다.

ㄷ. 줄의 한쪽 끝이 벽에 고정되어 있으므로 줄과 벽의 경계면에서 파동의 위상이 180° 변하는 고정단 반사가 일어난다. 따라서 줄과 벽의 경계면에서 반사되어 나오는 파동의 위상은 입사하는 파동의 위상과 반대이다.

07 꼼꼼 문제 분석



단진동을 하는 물체의 속도 $v=A\omega\cos\theta=A\omega\cos\omega t$이다. 따라서 물체의 최대 속력은 $A\omega$이다.

모범 답안 최대 속력은 A가 B의 2배이므로 A와 B의 진폭을 각각 $A_{\rm A}$, $A_{\rm B}$, A와 B의 각속도를 각각 $\omega_{\rm A}$, $\omega_{\rm B}$라고 하면 $A_{\rm A}\omega_{\rm A}=2A_{\rm B}\omega_{\rm B}$이다. 주기는 B가 A의 2배이므로 주기 $T=\frac{2\pi}{\omega}$에서 각속도 ω는 A가 B의 2배이고, $\omega_{\rm A}=2\omega_{\rm B}$이다. 따라서 $2A_{\rm A}\omega_{\rm B}=2A_{\rm B}\omega_{\rm B}$이므로 $A_{\rm A}=A_{\rm B}$이다. 즉, A와 B의 진폭은 서로 같다.

다른 풀이 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에서 용수철 상수 k는 서로 같고, 주기는 B가 A의 2배이므로 질량은 B가 A의 4배이다. 물체의 진폭과 최대 속력을 각각 A, v라고 할 때 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 $\frac{1}{2}kA^2=\frac{1}{2}mv^2$에서 $A=v\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. 최대 속력은 A가 B의 2배이므로 A와 B의 진폭은 서로 같다.

채점 기준	배점
A와 B의 진폭을 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
A와 B의 진폭이 같다고만 쓴 경우	50 %

08 파동의 진폭을 A라고 하면 파동이 한 주기 동안 진행하였을 때 평형점에서 변위의 변화는 $0\rightarrow A\rightarrow 0\rightarrow -A\rightarrow 0$이다. 따라서 파동이 한 주기 동안 진행하였을 때 매질 위의 한 점의 이동 거리는 $4A$이다.

모범 답안 파동의 속력은 10 m/s이고, 파장은 2 m이므로 파동의 속력$=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$에서 주기$=\frac{2\text{ m}}{10\text{ m/s}}=0.2$초이다. 또한 파동의 한 주기 동안 P는 진폭의 4배만큼 이동한다. 이때 P의 이동 거리는 4 m이므로 파동의 진폭은 1 m이다.

채점 기준	배점
파동의 주기와 진폭을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
파동의 주기와 진폭만 옳게 쓴 경우	50 %
파동의 주기와 진폭 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

09 모범 답안 파동의 반사, 탄성파를 활용한 예로는 초음파 영상 진단 장치, 해저 지형 탐사 등이 있다.

채점 기준	배점
자동차 후방 센서에서 주로 이용한 파동의 성질과 탄성파를 활용한 또 다른 예 두 가지를 옳게 서술한 경우	100 %
자동차 후방 센서에서 주로 이용한 파동의 성질만 옳게 쓴 경우	50 %
탄성파를 활용한 또 다른 예 두 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

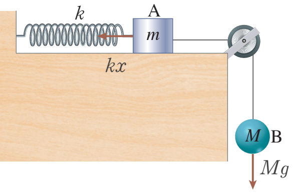
중단원 고난도 문제

163쪽

01 ⑤ **02** ① **03** ⑤ **04** ③

01 꼼꼼 문제 분석

A에 작용하는 힘은 용수철에 의한 탄성력과 B에 작용하는 중력이다. A가 정지해 있으므로 $kx=Mg$이다.



선택지 분석

ㄱ. 용수철이 늘어난 길이는 $\frac{Mg}{k}$이다.

ㄴ. B를 잡아당겼다 가만히 놓은 순간부터 평형점을 지날 때까지 A의 역학적 에너지는 감소한다.

ㄷ. A의 주기는 B를 연결하지 않고, A만 단진동을 시켰을 때보다 길다.

전략적 풀이 ❶ 힘의 평형을 이용하여 용수철이 늘어난 길이를 구한다.

ㄱ. A에는 용수철에 의한 탄성력과 B의 중력이 작용하므로 A가 정지한 지점에서 탄성력과 중력의 합력은 0이다. 이때 용수철이 늘어난 길이를 x라고 하면 $kx=Mg$에서 $x=\frac{Mg}{k}$이다.

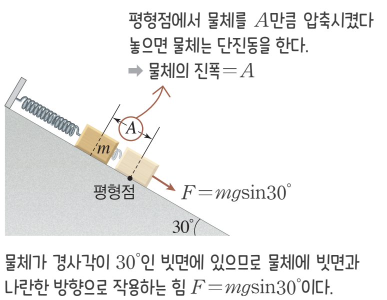
❷ 실로 연결되어 운동하는 A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존됨을 이해하고, 운동하는 동안 A와 B의 역학적 에너지를 파악한다.

ㄴ. B를 잡아당겼다 가만히 놓은 순간부터 평형점을 지날 때까지 B의 중력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지는 증가하므로 B의 역학적 에너지는 증가한다. 실로 연결되어 운동하는 A와 B의 역학적 에너지의 합은 보존되므로 A의 역학적 에너지는 감소한다.

❸ 단진동을 하는 물체의 주기 공식을 이용한다.

ㄷ. A와 B가 함께 단진동을 하므로 단진동을 하는 물체의 총 질량은 $m+M$이다. 따라서 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m+M}{k}}$이므로 A만 연결하여 단진동을 시켰을 때보다 길다.

02 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. 변위가 A인 곳에서 물체의 운동 에너지는 0이다.

~~ㄴ~~. 용수철 상수는 $\dfrac{mg}{A}$이다. $\dfrac{mg}{2A}$

~~ㄷ~~. 물체의 주기는 $2\pi\sqrt{\dfrac{A}{g}}$이다. $2\pi\sqrt{\dfrac{2A}{g}}$

전략적 풀이 ❶ 용수철에 매달린 물체의 변위에 따른 운동 에너지를 파악한다.

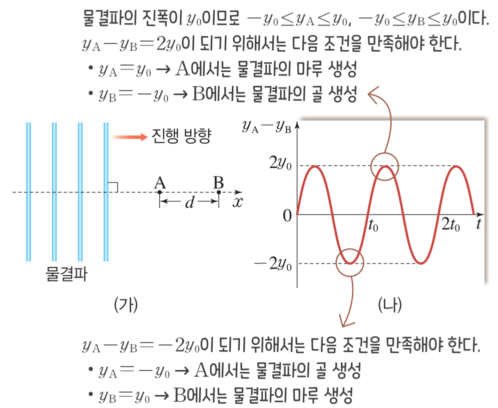
ㄱ. 용수철에 매달린 물체를 평형점에서 A만큼 압축시켰다 가만히 놓으면 물체는 진폭이 A인 단진동을 한다. 변위가 A인 곳에서 물체의 운동 방향이 변하므로 물체는 순간적으로 정지한다. 따라서 변위가 A인 곳에서 물체의 운동 에너지는 0이다.

❷ 힘의 평형을 이용하여 용수철 상수를 구한 뒤, 이를 이용하여 단진동을 하는 물체의 주기를 알아낸다.

ㄴ. 물체가 빗면에 있으므로 물체는 빗면과 나란한 방향으로 크기가 $mg\sin30°=\dfrac{mg}{2}$인 힘을 받는다. 물체가 평형점에 있을 때 물체에 작용하는 탄성력과 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘은 평형을 이루므로 용수철 상수를 k라고 하면 $kA=\dfrac{mg}{2}$이다. 따라서 $k=\dfrac{mg}{2A}$이다.

ㄷ. 용수철에 매달려 단진동을 하는 물체의 주기 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$에서 용수철 상수 $k=\dfrac{mg}{2A}$이므로 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}=2\pi\sqrt{\dfrac{2A}{g}}$이다.

03 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. $t_0=\dfrac{1}{f_0}$이다.

ㄴ. A가 물결파의 골일 때 B는 물결파의 마루이다.

ㄷ. d는 $\dfrac{1}{2}\lambda_0$의 홀수 배이다.

전략적 풀이 ❶ 주기와 진동수가 역수 관계임을 이용한다.

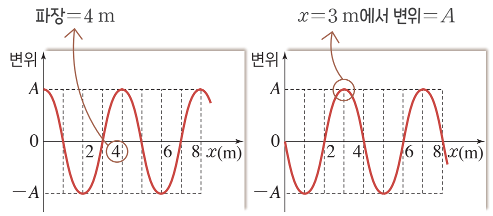
ㄱ. (나)에서 t_0은 y_A-y_B의 값이 $2y_0$에서 다음 $2y_0$이 될 때까지 걸린 시간과 같다. 이는 y_A가 마루에서 다음 마루가 될 때까지 걸린 시간, 즉 물결파의 주기와 같다. 물결파의 진동수가 f_0이므로 $t_0=\dfrac{1}{f_0}$이다.

❷ 변위의 차가 진폭의 2배임을 이용하여 A와 B에서 파동의 위상이 서로 반대임을 이해한다.

ㄴ. $y_A-y_B=2y_0$이 성립하려면 $y_A=y_0$, $y_B=-y_0$이어야 한다. 즉, A가 물결파의 마루일 때 B는 물결파의 골이 되어야 한다. 또한 $y_A-y_B=-2y_0$이 성립하려면 $y_A=-y_0$, $y_B=y_0$이어야 한다. 즉, A가 물결파의 골일 때 B는 물결파의 마루가 되어야 한다. 따라서 A와 B에서 파동의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. A가 마루일 때 B는 골, A가 골일 때 B는 마루이다. 이웃한 마루와 골 사이의 거리는 반 파장에 해당하므로 d는 $\dfrac{1}{2}\lambda_0$의 홀수 배이어야 한다.

04 꼼꼼 문제 분석



(가) $t=0$일 때　　(나) $t=5$초일 때

• 파동의 속력은 1 m/s이므로 5초 동안 5 m를 이동한다.

• 파동의 파장은 4 m이므로 5 m는 파동이 한 번 진동한 뒤 $\frac{1}{4}$파장 만큼 더 이동한 거리이다.

❶ 파동의 진행 방향이 $-x$ 방향이라면 $t=5$초일 때
→ $x=3$ m에서 변위는 A이다.

❷ 파동의 진행 방향이 $+x$ 방향이라면 $t=5$초일 때
→ $x=3$ m에서 변위는 $-A$이다.

➡ 파동의 진행 방향은 $-x$ 방향이다.

선택지 분석

ㄱ. 파동의 주기는 4초이다.

ㄴ. 파동의 진행 방향은 $-x$ 방향이다.

~~ㄷ~~. $t=3$초일 때, $x=3$ m에서 파동의 변위는 A이다. $-A$

전략적 풀이 ❶ 변위-위치 그래프에서 파동의 파장을 구한 후, 문제에서 주어진 속력으로 파동의 주기를 구한다.

ㄱ. (가)에서 매질이 1회 진동하는 동안 파동이 이동한 거리가 4 m이므로 파동의 파장은 4 m이다. 파동의 속력은 1 m/s이므로 파동의 속력$=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$에서 주기$=\frac{4\text{ m}}{1\text{ m/s}}=4$초이다.

❷ 파동의 속력에 따라 5초 후 파동이 5 m 이동함을 이해하고, 한 지점을 정하여 파동의 진행 방향을 파악한다.

ㄴ. 파동의 속력이 1 m/s이므로 5초 동안 파동은 5 m를 이동한다. 5 m는 파동이 한 번 진동한 뒤 $\frac{1}{4}$파장만큼 더 이동한 거리이므로 파동의 진행 방향에 따라 $\frac{1}{4}$파장만큼 이동했을 때의 변위를 파악한다. (가)의 그래프를 $-x$ 방향으로 $\frac{1}{4}$파장만큼 이동시켜 그려 보면 $x=3$ m에서 변위는 A이고, $+x$ 방향으로 $\frac{1}{4}$파장만큼 이동시켜 그려 보면 $x=3$ m에서 변위는 $-A$이다. $t=5$초일 때 $x=3$ m에서 변위는 A이므로 파동의 진행 방향은 $-x$ 방향임을 알 수 있다.

ㄷ. $t=0$부터 $t=3$초까지 파동은 $-x$ 방향으로 3 m 이동하므로 $x=3$ m에서 파동의 변위는 $-A$이다.

2 도플러 효과와 파동의 이용

01 도플러 효과

완자쌤 비법 특강 168쪽~169쪽

Q1 소리의 속력과 진동수 모두 증가한다.

Q2 (1) ㉠ v_S, ㉡ v, ㉢ $v+v_\text{S}$, ㉣ $v-v_\text{S}$ (2) $v_\text{A}=v_\text{B}$ (3) $f_\text{A}<f_\text{B}$

Q1 관찰자가 정지해 있는 음원 쪽으로 일정한 속력으로 다가갈 때, 관찰자가 듣는 소리의 속력은 음원에서 발생한 소리의 속력과 관찰자의 속력의 합과 같다. 따라서 관찰자가 듣는 소리의 속력은 증가한다. 이때 음원은 정지해 있으므로 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장과 같으며 변하지 않는다. 파동의 속력=진동수×파장에 따라 진동수는 속력에 비례하므로 관찰자가 듣는 소리의 진동수도 증가한다.

Q2 (1) 한 주기의 시간$\left(\frac{1}{f}\right)$ 동안 속력이 v_S인 자동차가 이동한 거리는 $\frac{v_\text{S}}{f}$이고, 속력이 v인 소리가 이동한 거리는 $\frac{v}{f}$이다. 이때 $\frac{v}{f}$는 한 주기 동안 소리가 이동한 거리로, 소리의 파장이다. A가 듣는 소리의 파장은 자동차가 한 주기 동안 이동한 거리만큼 길어지므로 $\frac{v+v_\text{S}}{f}$이고, B가 듣는 소리의 파장은 자동차가 한 주기 동안 이동한 거리만큼 짧아지므로 $\frac{v-v_\text{S}}{f}$이다.

(2) 소리의 속력은 매질의 특성에 의해 결정되므로 음원의 운동에는 영향을 받지 않는다. 따라서 A와 B가 듣는 소리의 속력은 v로 같다.

(3) A와 B가 듣는 소리의 속력은 v로 일정하므로 진동수는 파장에 반비례한다. A가 듣는 소리의 파장은 자동차에서 발생한 소리의 파장보다 길므로 A가 듣는 소리의 진동수는 f보다 작고, B가 듣는 소리의 파장은 자동차에서 발생한 소리의 파장보다 짧으므로 B가 듣는 소리의 진동수는 f보다 크다.

개념 확인 문제 170쪽

❶ 도플러 ❷ 큰 ❸ 작은 ❹ 도플러 레이더 ❺ 초음파

1 (1) × (2) × (3) ○ **2** 680 Hz **3** (1) ㉡ (2) ㉠ **4** 875 Hz
5 (1) × (2) ○ (3) ○

1 (가)에서 음원인 구급차와 관찰자인 영희가 모두 정지해 있으므로 영희가 듣는 사이렌 소리의 파장, 속력, 진동수는 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 파장, 속력, 진동수와 같다.

(1) (나)에서 구급차가 정지해 있는 영희 쪽으로 다가오고 있으므로 영희가 듣는 사이렌 소리의 파장은 (가)의 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 파장보다 짧다.

(2) 음원을 떠난 소리의 속력은 매질의 특성에 의해 결정되므로 음원의 운동 상태에는 영향을 받지 않는다. 따라서 정지해 있는 영희가 듣는 사이렌 소리의 속력은 (가)의 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 속력과 같다.

(3) 구급차가 영희 쪽으로 다가오는 경우이므로 도플러 효과 식 $f'=\dfrac{v}{v-v_{\mathrm{S}}}f$에 의해 영희가 듣는 사이렌 소리의 진동수($f'$)는 (가)의 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 진동수(f)보다 크다.

2 경찰차가 철수로부터 멀어지고 있으므로 도플러 효과 식 $f'=\dfrac{v}{v+v_{\mathrm{S}}}f$에 따라 철수가 듣는 소리의 진동수를 구할 수 있다. 경찰차의 속력 $v_{\mathrm{S}}=20\ \mathrm{m/s}$, 소리의 진동수 $f=720\ \mathrm{Hz}$, 소리의 속력 $v=340\ \mathrm{m/s}$이므로 철수가 듣는 소리의 진동수 $f'=\dfrac{340}{340+20}\times720=680(\mathrm{Hz})$이다. 즉, 경찰차가 정지해 있는 철수로부터 멀어지면 철수는 경찰차에서 발생한 소리보다 진동수가 작은 소리를 듣는다.

3 (1) 관찰자가 정지해 있는 음원 쪽으로 다가가면 관찰자는 도플러 효과에 의해 음원에서 발생한 소리보다 진동수가 큰 소리를 듣는다.

(2) 관찰자가 정지해 있는 음원으로부터 멀어지면 관찰자는 도플러 효과에 의해 음원에서 발생한 소리보다 진동수가 작은 소리를 듣는다.

4 영희가 경찰차 쪽으로 다가가고 있으므로 도플러 효과 식 $f'=\dfrac{v+v_{\mathrm{O}}}{v}f$에 따라 영희가 듣는 소리의 진동수를 구할 수 있다. 영희의 속력 $v_{\mathrm{O}}=10\ \mathrm{m/s}$, 소리의 진동수 $f=850\ \mathrm{Hz}$, 소리의 속력 $v=340\ \mathrm{m/s}$이므로 영희가 듣는 소리의 진동수 $f'=\dfrac{340+10}{340}\times850=875(\mathrm{Hz})$이다. 즉, 영희가 정지해 있는 경찰차 쪽으로 다가가면 영희는 경찰차에서 발생한 소리보다 진동수가 큰 소리를 듣는다.

5 (1) 별, 은하 등이 관찰자로부터 멀어질 때 빛의 파장이 길게 측정되어 빛의 진동수가 작게 측정된다.

(2) 속력 측정 장치에서 발생한 전자기파가 물체에서 반사되어 되돌아올 때 전자기파의 진동수 차를 도플러 효과로 분석하여 물체의 속력을 측정한다.

(3) 도플러 초음파 검사기는 검사기에서 발생한 초음파와 혈액에서 반사된 초음파의 진동수 차를 도플러 효과로 분석하여 심장, 혈관, 태아 등의 건강 상태를 확인한다.

대표 자료 분석

171쪽

1 (1) v (2) v (3) 길다 (4) 짧다 **2** $f_{\mathrm{A}}=\dfrac{v}{v+v_{\mathrm{S}}}f$, $f_{\mathrm{B}}=\dfrac{v}{v-v_{\mathrm{S}}}f$

3 A가 듣는 소리의 진동수는 감소하고, B가 듣는 소리의 진동수는 증가한다. **4** (1) × (2) × (3) ○ (4) ○

꼼꼼 문제 분석

• A가 듣는 소리의 속력은 사이렌 소리의 속력 v와 같다.

• A가 듣는 소리의 파장은 $\dfrac{v+v_{\mathrm{S}}}{f}$이다.

➡ A가 듣는 소리의 진동수는 사이렌 소리의 진동수보다 작다.

• B가 듣는 소리의 속력은 사이렌 소리의 속력 v와 같다.

• B가 듣는 소리의 파장은 $\dfrac{v-v_{\mathrm{S}}}{f}$이다.

➡ B가 듣는 소리의 진동수는 사이렌 소리의 진동수보다 크다.

1 (1), (2) 음원을 떠난 소리의 속력은 매질의 특성에 의해 결정되므로 음원의 운동 상태에는 영향을 받지 않는다. 따라서 정지해 있는 A와 B가 듣는 사이렌 소리의 속력은 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 속력 v와 같다.

(3), (4) 한 주기 동안 속력이 v_{S}인 구급차가 이동한 거리는 $\dfrac{v_{\mathrm{S}}}{f}$이고, 속력이 v인 사이렌 소리가 이동한 거리는 $\dfrac{v}{f}$이다. 이때 $\dfrac{v}{f}$는 한 주기 동안 소리가 이동한 거리로, 사이렌 소리의 파장이다. A가 듣는 사이렌 소리의 파장은 구급차가 한 주기 동안 이동한

거리만큼 길어지므로 $\frac{v+v_S}{f}$이고, B가 듣는 사이렌 소리의 파장은 구급차가 한 주기 동안 이동한 거리만큼 짧아지므로 $\frac{v-v_S}{f}$이다.

2 도플러 효과 식에서 음원의 운동에 따라 정지해 있는 관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f' = \frac{v}{v \mp v_S} f$이다. 구급차가 A로부터 멀어지고 있으므로 A가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f_A = \frac{v}{v+v_S} f$이고, 구급차가 B 쪽으로 다가오고 있으므로 B가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f_B = \frac{v}{v-v_S} f$이다.

3 $f_A = \frac{v}{v+v_S} f$, $f_B = \frac{v}{v-v_S} f$이므로 구급차의 속력 v_S가 증가하면 A가 듣는 소리의 진동수는 감소하고, B가 듣는 소리의 진동수는 증가한다.

4 (1), (2) 음원이 A로부터 멀어지고 있으므로 A가 듣는 소리의 진동수는 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 진동수보다 작다. 따라서 A는 구급차에서 발생한 사이렌 소리보다 낮은 소리를 듣는다.
(3) 음원이 B 쪽으로 다가오고 있으므로 B가 듣는 소리의 진동수는 구급차에서 발생한 사이렌 소리의 진동수보다 크다.
(4) A와 B가 듣는 소리의 진동수는 도플러 효과를 이용하여 정량적으로 구할 수 있다.

내신 만점 문제

172쪽~174쪽

01 ④	02 ③	03 해설 참조	04 ①	05 ③
06 ⑤	07 ①	08 해설 참조	09 ①	10 ②
11 ④	12 ㉠ 진동수, ㉡ 도플러		13 해설 참조	

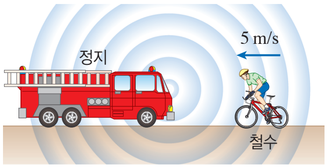
01 ① 파원이나 관찰자의 상대적 운동에 따라 관찰자가 관측하는 파동의 진동수가 파원의 진동수와 다르게 관측되는 현상을 도플러 효과라고 한다.
② 관찰자가 정지한 음원 쪽으로 다가가면 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 커지므로 관찰자는 음원에서 발생한 소리보다 높은 소리를 듣는다.
③ 음원이 정지한 관찰자 쪽으로 다가오면 먼저 발생한 파면과 새로 발생한 파면 사이의 거리가 가까워진다. 따라서 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장보다 짧다.
⑤ 도플러 효과에 의해 관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f' = \frac{v \pm v_0}{v \mp v_S} f$이다. 소리의 속력을 V라고 하면, 관찰자가 정지해 있고 음원이 v의 속력으로 가까워질 때 관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f_1 = \frac{V}{V-v} f$이고, 음원이 정지해 있고 관찰자가 v의 속력으로 멀어질 때 관찰자가 듣는 소리의 진동수 $f_2 = \frac{V-v}{V} f$이다. $f_1 > f_2$이므로 관찰자가 듣는 소리는 관찰자가 정지해 있고 음원이 v의 속력으로 가까워질 때가 음원이 정지해 있고 관찰자가 v의 속력으로 멀어질 때보다 높다.
바로알기 ④ 관찰자와 음원이 같은 속도로 운동할 때 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 음원에서 발생한 소리의 진동수와 같다.

02 ㄱ. 진동수가 f인 소리를 내는 자동차가 정지한 철수를 향해 다가오고 있으므로 도플러 효과 식 $f' = \frac{v}{v-v_S} f$에 의해 철수가 듣는 소리의 진동수는 $\frac{v}{v-v_0} f$로 f보다 크다.
ㄷ. 자동차가 정지한 철수로부터 멀어지면 도플러 효과 식 $f'' = \frac{v}{v+v_S} f$에 의해 철수가 듣는 소리의 진동수는 $\frac{v}{v+v_0} f$로 f보다 작다.
바로알기 ㄴ. 관찰자인 철수가 정지해 있으므로 철수가 듣는 소리의 속력은 자동차의 운동 상태와 관계없이 일정하다. 따라서 철수가 듣는 소리의 속력은 자동차의 앞쪽과 뒤쪽에서 같다.

03 정지한 관찰자 쪽으로 음원이 다가오는 경우 관찰자가 측정하는 소리의 진동수 $f' = \frac{v}{v-v_S} f$이다.
모범 답안 음파 측정기가 정지해 있고, 음파 발생기가 640 Hz의 소리를 내면서 다가오고 있으므로 음파 발생기의 속력을 v_S라고 하면 음파 측정기가 측정한 소리의 진동수 $680 = \frac{v}{v-v_S} f = \frac{340}{340-v_S} \times 640$에서 $v_S = 20$ m/s이다.

채점 기준	배점
음파 발생기의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
음파 발생기의 속력만 옳게 쓴 경우	50 %

04 꼼꼼 문제 분석



음원이 정지해 있을 때 관찰자가 듣는 소리의 변화

- 관찰자가 속력 v_O로 음원 쪽으로 다가갈 때 듣는 소리의 진동수는 $\frac{v+v_O}{v}f$이다.
- 관찰자가 속력 v_O로 음원으로부터 멀어질 때 듣는 소리의 진동수는 $\frac{v-v_O}{v}f$이다.
- 음원은 정지해 있으므로 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장과 같다.

ㄴ. 소방차가 정지해 있으므로 철수가 듣는 사이렌 소리의 파장은 소방차에서 발생하는 사이렌 소리의 파장과 같다. 따라서 철수가 소방차를 향해 이동할 때 철수가 듣는 사이렌 소리의 파장은 변하지 않는다.

바로알기 ㄱ. 정지해 있는 소방차에서 발생하는 소리의 진행 방향과 철수의 운동 방향은 서로 반대이므로 철수가 듣는 사이렌 소리의 속력은 340 m/s+5 m/s=345 m/s이다.

ㄷ. 철수가 정지해 있는 음원을 향해 이동하고 있으므로 도플러 효과 식 $f'=\frac{v+v_O}{v}f$에 따라 철수가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f'=\frac{340+5}{340}\times1360=1380(\text{Hz})$이다.

다른 풀이 ㄷ. 철수가 듣는 사이렌 소리의 속력 $v'=345$ m/s이고, 철수가 듣는 사이렌 소리의 파장 $\lambda'=\frac{340\text{ m/s}}{1360\text{ Hz}}=0.25$ m이므로 철수가 듣는 소리의 진동수 $f'=\frac{v'}{\lambda'}=\frac{345}{0.25}=1380(\text{Hz})$이다.

05 꼼꼼 문제 분석

음원이 A 쪽으로 다가온다.
➡ A는 f보다 진동수가 큰 소리를 듣는다.

음원이 B로부터 멀어진다.
➡ B는 f보다 진동수가 작은 소리를 듣는다.

ㄴ. 자동차가 정지한 B로부터 일정한 속력으로 멀어지고 있으므로 도플러 효과 식 $f'=\frac{v}{v+v_S}f$에 따라 B가 듣는 소리의 진동수는 경고음의 진동수 f보다 작다. 따라서 B는 자동차에서 발생하는 경고음보다 낮은 음의 경고음을 듣는다.

ㄹ. 관찰자인 A와 B가 정지해 있으므로 A와 B가 듣는 소리의 속력은 자동차에서 발생한 경고음의 속력과 같다. 따라서 A가 듣는 경고음의 속력은 B가 듣는 경고음의 속력과 같다.

바로알기 ㄱ. 자동차 경고음의 파장을 λ라고 하면, A가 듣는 경고음의 파장 $\lambda_A=\lambda-\frac{v_S}{f}$이고, 음원이 v_S로 등속도 운동을 하므로 λ_A는 자동차에서 발생한 경고음의 파장 λ보다 짧지만 일정하다. A가 듣는 경고음의 진동수를 f_A라고 하면 $f_A=\frac{v}{\lambda_A}=\frac{v}{\lambda-\frac{v_S}{f}}=\frac{v}{\frac{v}{f}-\frac{v_S}{f}}=\frac{v}{v-v_S}f$로 f_A는 자동차에서 발생한 경고음의 진동수 f보다 크지만 일정하다.

ㄷ. B가 듣는 경고음의 파장 $\lambda_B=\lambda+\frac{v_S}{f}$이고, 자동차가 v_S로 등속도 운동을 하므로 λ_B는 자동차에서 발생한 경고음의 파장 λ보다 길지만 일정하다.

06

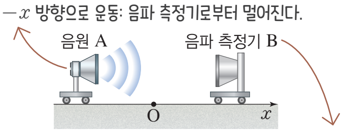
ㄴ. 음원에서 발생한 소리의 진동수를 f라고 하자. (가)에서 철수가 정지해 있는 음원 쪽으로 다가가고 있으므로 도플러 효과에 의해 철수가 듣는 소리의 진동수 $f_{(가)}=\frac{v+v_O}{v}f=\frac{10V+V}{10V}f=\frac{11}{10}f$이다. (나)에서 음원이 정지해 있는 철수 쪽으로 다가오고 있으므로 도플러 효과에 의해 철수가 듣는 소리의 진동수 $f_{(나)}=\frac{v}{v-v_S}=\frac{10V}{10V-V}f=\frac{10}{9}f$이다. 따라서 철수가 듣는 소리의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. (가)에서 음원이 정지해 있으므로 철수가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장과 같다. (나)에서 음원이 철수 쪽으로 다가오고 있으므로 철수가 듣는 소리의 파장은 음원에서 발생한 소리의 파장보다 짧다. 따라서 철수가 듣는 소리의 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 길다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 철수가 정지해 있는 음원 쪽으로 다가가고 있고, 음원에서 발생한 소리의 속력은 $10V$이므로 철수가 듣는 소리의 속력은 $10V+V=11V$이다. (나)에서 음원이 정지해 있는 철수 쪽으로 다가오고 있으므로 철수가 듣는 소리의 속력은 음원에서 발생한 소리의 속력인 $10V$와 같다. 따라서 철수가 듣는 소리의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

07 꼼꼼 문제 분석

$+x$ 방향으로 운동: 음파 측정기 쪽으로 다가온다.
$-x$ 방향으로 운동: 음파 측정기로부터 멀어진다.



$+x$ 방향으로 운동: 음원으로부터 멀어진다.
$-x$ 방향으로 운동: 음원 쪽으로 다가간다.

ㄱ. B가 정지해 있을 때 B가 측정하는 소리의 속력은 A의 운동 상태와 관계없이 A에서 발생하는 소리의 속력과 같다.

바로알기 ㄴ. 소리의 속력을 V, 진동수를 f라고 하자. 도플러 효과의 일반적인 관계식 $f'=\frac{v\pm v_O}{v\mp v_S}f$에 A와 B의 속도를 대입하여 각 진동수를 구하면 $f_{(나)}=\frac{V}{V+v}f$이고, $f_{(다)}=\frac{V+v}{V}f$이다. 따라서 $f_{(나)}$는 $f_{(다)}$보다 작다.

ㄷ. $f_{(가)}=\frac{V}{V-v}f$이고, $f_{(라)}=\frac{V+v}{V-v}f$이므로 A와 B의 속력이 증가할수록 $f_{(가)}$와 $f_{(라)}$는 증가한다.

08 정지해 있는 관찰자 주변에서 음원이 운동할 때 도플러 효과에 의해 관찰자가 측정하는 소리의 진동수 $f'=\frac{v}{v\mp v_S}f$이다. 이때 음원이 관찰자 쪽으로 다가올 때 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 증가하고, 음원이 관찰자로부터 멀어질 때 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 감소한다.

모범 답안 소리의 진동수를 f, 자동차의 속력을 v_S라고 하자. 자동차가 O를 통과하기 전은 음원인 자동차가 관찰자인 소리 측정기 쪽으로 다가오는 상황이므로 소리 측정기가 측정한 소리의 진동수는 도플러 효과에 의해 $\frac{v}{v-v_S}f=\frac{340}{340-v_S}f$이다. 자동차가 O를 통과한 후는 음원인 자동차가 관찰자인 소리 측정기로부터 멀어지는 상황이므로 소리 측정기가 측정한 소리의 진동수는 도플러 효과에 의해 $\frac{v}{v+v_S}f=\frac{340}{340+v_S}f$이다. 따라서 $\frac{340}{340-v_S}f:\frac{340}{340+v_S}f=11:9$이므로 $v_S=34$ m/s이다.

채점 기준	배점
자동차의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
자동차의 속력만 옳게 쓴 경우	50 %

09 ㄴ. A와 B가 모두 왼쪽으로 이동하고 있으므로 도플러 효과에 의해 B가 측정한 소리의 진동수 $1050=\frac{340+v_O}{340+20}\times1080$에서 $v_O=10$ m/s이다. 따라서 B의 속력은 10 m/s이다.

바로알기 ㄱ. 음원인 A는 20 m/s의 속력으로 관찰자인 B로부터 멀어지는 방향으로 운동하고 있고, 진동수가 1080 Hz인 소리가 B에서는 1050 Hz로 들린다. 이를 도플러 효과의 일반적인 관계식 $f'=\frac{v\pm v_O}{v\mp v_S}f$에 대입하면 $1050=\frac{340\pm v_O}{340+20}\times1080$에서 $v_O=10$ m/s이다. B의 속력은 10 m/s이고, B의 속도는 (+)의 부호를 가지므로 B는 A를 향하는 왼쪽으로 운동한다.

ㄷ. B의 운동 방향만을 반대로 하면, 도플러 효과에 의해 B가 측정한 소리의 진동수는 $\frac{340-10}{340+20}\times1080=990$(Hz)이다.

10 A와 같이 별이 지구에 가까워질 때 지구에서 관측한 별빛의 파장이 ㉠ 원래 파장보다 짧아져 스펙트럼의 흡수선은 ㉡ 파란색 쪽으로 이동한다. 이를 청색 편이라고 한다. 반면 B와 같이 별이 지구로부터 멀어질 때 지구에서 관측한 별빛의 파장이 원래 파장보다 길어져 스펙트럼의 흡수선은 ㉢ 빨간색 쪽으로 이동한다. 이를 적색 편이라고 한다.

11 B. 도플러 초음파 검사기는 검사 장치에서 발생한 초음파와 혈액에서 반사된 초음파의 진동수 차를 도플러 효과로 분석하여 혈액의 속력과 방향을 측정한다. 주로 심장, 혈관, 태아 등의 검사에 이용한다.

C. 어선의 어군 탐지기는 탐지기에서 발생한 특정 진동수의 초음파와 물고기 떼에서 반사하여 되돌아오는 초음파의 진동수 차를 도플러 효과로 분석하여 물고기 떼의 움직임을 탐지한다.

바로알기 A. 도플러 유량계는 유체 속의 부유 입자에서 반사하는 초음파의 진동수 변화를 도플러 효과로 분석하여 유체의 속도와 유량을 측정한다. 따라서 전자기파가 아닌 초음파를 이용한 도플러의 활용에 해당된다.

12 도플러 레이더 장치에서 발사된 전파가 공기 중의 빗방울, 눈의 결정 등에 부딪쳐 반사되어 되돌아오면 신호의 원래 진동수와 반사되어 되돌아온 신호의 ㉠ 진동수 변화를 분석하여 물체 주위에 부는 바람의 방향과 속도를 알 수 있다. 이는 ㉡ 도플러 효과를 활용하는 예이다.

13 모범 답안 속력 측정 장치에서 발생한 전자기파가 야구공에서 반사되어 되돌아올 때 야구공의 속력에 따라 전자기파의 진동수가 달라지므로 진동수 변화를 이용하여 야구공의 속력을 측정한다.

채점 기준	배점
진동수의 변화를 이용하는 도플러 효과의 개념을 언급하여 속력 측정 장치의 원리를 옳게 서술한 경우	100 %
도플러 효과 또는 진동수 변화만 이용한다고 서술한 경우	40 %

실력 UP 문제

175쪽

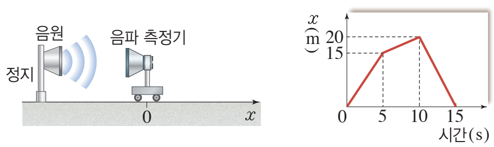
01 ⑤ **02** ③ **03** ④ **04** ⑤

01 ㄱ, ㄴ. 음파 측정기 A는 정지해 있고, 음원이 A로부터 v_S의 속력으로 멀어지고 있으므로 A에서 측정한 소리의 진동수는

도플러 효과에 의해 $\frac{v}{v+v_S}f$이다. 또한 음파 측정기 B는 정지해 있고, 음원이 B 쪽으로 v_S의 속력으로 다가오고 있으므로 B에서 측정한 소리의 진동수는 도플러 효과에 의해 $\frac{v}{v-v_S}f$이다. 따라서 A에서 측정한 소리의 진동수는 B에서 측정한 소리의 진동수보다 작다.

ㄷ. B에서 측정한 소리의 진동수는 $\frac{v}{v-v_S}f$이므로 v_S가 증가하면 B에서 측정한 소리의 진동수는 증가한다.

02 꼼꼼 문제 분석



(가) (나)

- 0~10초까지 음파 측정기의 위치 x가 증가한다.
  ➡ 관찰자가 음원으로부터 멀어지므로 음파 측정기가 측정한 소리의 진동수는 음원에서 발생한 소리의 진동수보다 작다.
- 10초~15초까지 음파 측정기의 위치 x가 감소한다.
  ➡ 관찰자가 음원 쪽으로 다가가므로 음파 측정기에서 측정한 소리의 진동수는 음원에서 발생한 소리의 진동수보다 크다.

ㄱ. 위치–시간 그래프에서 그래프의 기울기는 속력을 나타낸다. 0초부터 5초까지 음파 측정기의 속력은 $\frac{15\text{ m}}{5\text{ s}}=3\text{ m/s}$이고, 5초부터 10초까지 음파 측정기의 속력은 $\frac{5\text{ m}}{5\text{ s}}=1\text{ m/s}$이므로 음파 측정기의 속력은 3초일 때가 7초일 때의 3배이다.

ㄷ. 10초부터 15초까지 음파 측정기의 위치 x가 감소하므로 음파 측정기가 정지해 있는 음원 쪽으로 다가가고 있음을 알 수 있다. 12초일 때 음파 측정기의 속력은 $\frac{20\text{ m}}{5\text{ s}}=4\text{ m/s}$이므로 도플러 효과 식 $f'=\frac{v+v_O}{v}f$에 의해 음파 측정기에서 측정한 소리의 진동수는 $\frac{340+4}{340}\times680=688(\text{Hz})$이다.

바로알기 ㄴ. 0초부터 10초까지 음파 측정기의 위치 x가 증가하므로 음파 측정기가 정지해 있는 음원으로부터 멀어지고 있음을 알 수 있다. 도플러 효과에 의해 0초부터 10초까지 음파 측정기에서 측정하는 소리의 진동수는 $\frac{v-v_O}{v}f$로 음원에서 발생한 소리의 진동수보다 감소한다. 이때 음파 측정기의 속력 v_O는 3초일 때가 7초일 때보다 크므로 음파 측정기에서 측정한 소리의 진동수는 3초일 때가 7초일 때보다 작다.

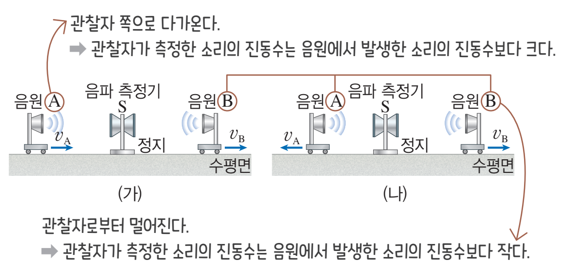
03 ㄴ. 버스와 철수가 서로를 향해 운동하고 있으므로 도플러 효과의 일반적인 관계식 $f'=\frac{v\pm v_O}{v\mp v_S}f$에 따라 철수가 듣는 경적음의 진동수 $f'=\frac{v+v_O}{v-v_S}f$로 구할 수 있다.

$f'=\frac{340+10}{340-40}\times900=1050(\text{Hz})$로 버스에서 발생한 경적음의 진동수보다 크다.

ㄷ. 버스가 철수를 향해 운동하면서 경적음을 발생하므로 철수가 듣는 경적음의 파장은 버스에서 발생하는 경적음의 파장보다 짧다.

바로알기 ㄱ. 철수가 버스를 향해 10 m/s의 속력으로 운동하고 있으므로 철수가 듣는 경적음의 속력은 340 m/s+10 m/s=350 m/s이다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (가)에서 A는 S 쪽으로 다가오고 있으므로 S가 측정한 A의 소리의 진동수는 도플러 효과에 의해 $\frac{v}{v-v_A}f_0=\frac{10}{9}f_0$이다. 따라서 $v_A=\frac{1}{10}v$이다.

ㄴ. (가)에서 B는 S로부터 멀어지고 있고, S가 측정한 B의 소리의 진동수는 S가 측정한 A의 소리의 진동수의 $\frac{3}{4}$배이므로 S가 측정한 B의 소리의 진동수는 도플러 효과에 의해 $\frac{v}{v+v_B}f_0=\frac{5}{6}f_0$에서 $v_B=\frac{1}{5}v=2v_A$이다.

ㄷ. (나)에서 A와 B 모두 S로부터 멀어지고 있으므로 S가 측정하는 소리의 진동수는 도플러 효과에 의해 $f'=\frac{v}{v+v_S}f$로 구할 수 있다. S가 측정한 A의 소리의 진동수를 f_A라고 하면 $f_A=\frac{v}{v+v_A}f_0$이고, S가 측정한 B의 소리의 진동수를 f_B라고 하면 $f_B=\frac{v}{v+v_B}f_0=\frac{v}{v+2v_A}f_0$이므로 f_A가 f_B보다 크다.

02 / 음파의 간섭

개념 확인 문제 178쪽

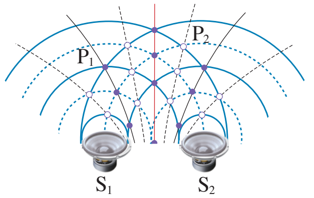
❶ 간섭 ❷ 커 ❸ 작아 ❹ 짝수 ❺ 홀수 ❻ 상쇄
❼ 보강

1 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄 **2** (1) ○ (2) × (3) ○ **3** P_1: 보강 간섭, P_2: 상쇄 간섭 **4** (1) ○ (2) ○ (3) × **5** ㄴ, ㄹ

1 파동의 중첩 원리에 의해 진폭이 같은 두 파동이 ㉠ 보강 간섭을 하면 합성파의 진폭은 2배가 되고, ㉡ 상쇄 간섭을 하면 합성파의 진폭은 0이 된다.

2 (1) 진동수가 같은 두 음파가 같은 위상으로 만나면 보강 간섭이 일어나므로 진폭이 증가하여 소리의 세기가 커진다.
(2) 진동수가 같은 두 음파가 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭이 일어나므로 진폭이 감소하여 소리의 세기가 작아진다. 이때 파원의 진동수는 변하지 않으므로 소리의 진폭만 감소하고, 진동수는 일정하다.
(3) 진동수와 위상이 같은 두 음파의 경로차가 반 파장의 짝수 배인 지점에서 두 음파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만나므로 음파는 보강 간섭을 한다.

3 그림에서 빨간 선에 해당하는 부분은 S_1, S_2로부터 거리가 같은 지점이다. S_1, S_2에서 발생한 음파가 빨간 선에 해당하는 지점에서 실선과 실선 또는 점선과 점선 즉, 동일한 위상으로 만나므로 S_1, S_2에서 발생하는 음파의 위상은 같음을 알 수 있다.



P_1에서는 실선(마루)과 실선(마루)이 만나므로 보강 간섭이 일어나고, P_2에서는 실선(마루)과 점선(골)이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

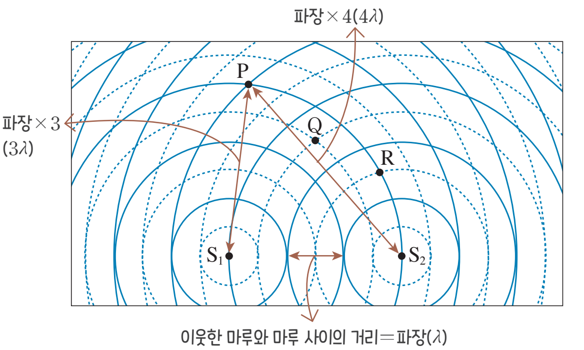
4 (1) A에서는 두 음파가 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어나고, B에서는 두 음파가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 A는 B보다 큰 소리를 듣는다.
(2) B에서 두 음파가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭이 일어나므로 두 음파의 경로차는 반 파장의 홀수 배이다.
(3) 집에서 영화를 감상할 때 현장감을 높이기 위해서는 음파의 보강 간섭을 이용하여 스피커를 설치해야 한다.

5 ㄱ. 무반사 코팅은 빛의 상쇄 간섭을 활용한 예이다.
ㄴ. 소음 제거 이어폰은 마이크가 감지한 외부 소음과 위상이 반대인 신호를 발생시켜 음파의 상쇄 간섭으로 소음을 제거한다.
ㄷ. 체외 충격파 쇄석기는 음파의 보강 간섭을 이용하여 환자의 결석을 분쇄한다.
ㄹ. 자동차가 도로 위를 달릴 때 자동차에 내장된 DSP(디지털 신호 처리 장치)로 소음과 반대 위상의 음파를 발생시켜 음파의 상쇄 간섭으로 소음을 제거한다.

대표 자료 분석 179쪽

1 (1) 보강 (2) 보강 (3) 상쇄 **2** ㉠ λ, ㉡ $\frac{\lambda}{2}$, ㉢ 짝수, ㉣ 보강
3 0 **4** 상쇄 간섭 **5** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

꼼꼼 문제 분석



• P와 Q에서 두 음파는 같은 위상으로 만나 중첩하므로 보강 간섭이 일어난다.
• R에서 두 음파는 반대 위상으로 만나 중첩하므로 상쇄 간섭이 일어난다.

1 실선인 마루와 마루가 만나는 곳과 점선인 골과 골이 만나는 곳은 두 음파가 같은 위상으로 만나 중첩하는 지점이므로 보강 간섭이 일어나고, 실선과 점선이 만나는 곳은 두 음파가 반대 위상으로 만나 중첩하는 지점이므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 P와 Q에서는 보강 간섭이 일어나고, R에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

2 이웃한 마루와 마루, 골과 골 사이의 거리가 파장 λ이므로 S_1에서 P까지의 거리는 3λ이고, S_2에서 P까지의 거리는 4λ이다. 즉, S_1, S_2에서 P까지의 경로차는 ㉠ λ이다. 이는 반 파장인 ㉡ $\frac{\lambda}{2}$의 ㉢ 짝수 배이므로 P에서는 ㉣ 보강 간섭이 일어난다.

3 S_1에서 Q까지의 거리는 $\frac{5}{2}\lambda$이고, S_2에서 Q까지의 거리는 $\frac{5}{2}\lambda$이다. 따라서 S_1, S_2에서 Q까지의 경로차는 0이다.

4 S_1에서 발생하는 음파의 위상만을 반대로 하면, S_1에서 발생하는 음파는 P에서 골이 된다. 따라서 P에서 음파의 골과 마루가 만나 중첩하므로 상쇄 간섭이 일어난다.

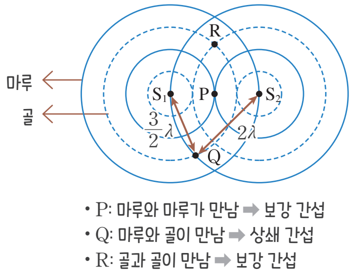
5 (1) 실선과 실선이 만나는 지점은 마루와 마루가 만나 중첩하는 지점이므로 보강 간섭이 일어난다.
(2) 점선과 점선이 만나는 지점은 골과 골이 만나 중첩하는 지점이므로 보강 간섭이 일어난다.
(3) P에서는 보강 간섭이 일어나므로 소리가 크게 들린다.
(4) S_1에서 R까지의 거리는 3λ이고, S_2에서 R까지의 거리는 1.5λ이다. 따라서 S_1, S_2에서 R까지의 경로차는 1.5λ이다.
(5) 소음 제거 이어폰은 음파의 상쇄 간섭을 활용하여 이어폰 내부로 들어오는 소음을 제거한다.

내신 만점 문제

180쪽~182쪽

01 ③	02 ⑤	03 해설 참조	04 ①	05 ④
06 ③	07 해설 참조	08 ①	09 ②	10 ③
11 ②	12 ④			

01 꼼꼼 문제 분석

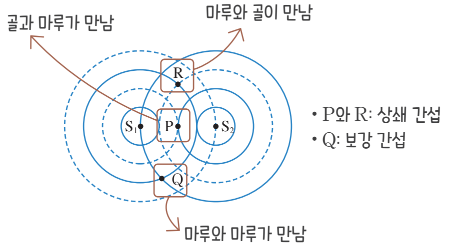


ㄱ. P에서는 두 음파의 마루와 마루가 만나 중첩하므로 보강 간섭이 일어나고, Q에서는 두 음파의 마루와 골이 만나 중첩하므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 파동의 진폭은 P에서가 Q에서보다 크다.

ㄴ. 파장을 λ라고 하면, Q는 S_1로부터 $\frac{3}{2}\lambda$의 거리에 있고, S_2로부터 2λ의 거리에 있다. 따라서 두 음원에서 Q까지의 경로차는 반 파장이다.

바로알기 ㄷ. R에서는 두 음파의 골과 골이 만나 중첩하므로 보강 간섭이 일어난다.

02 꼼꼼 문제 분석



S_1에서 발생하는 음파의 위상만을 반대로 하여 음파를 발생시키면, Q에서는 두 음파의 마루와 마루가 만나 중첩하여 보강 간섭이 일어나고, P와 R에서는 두 음파의 마루와 골이 만나 중첩하여 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 P와 R에서 들리는 소리의 세기는 감소하고, Q에서 들리는 소리의 세기는 증가한다.

03 두 음원에서 한 지점까지의 경로차가 반 파장의 짝수 배이면 보강 간섭이 일어나고, 반 파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 일어난다.

모범 답안 (1) 파장을 λ라고 하면 S_1에서 A까지의 거리는 2.5λ이고, S_2에서 A까지의 거리는 2.5λ이다. S_1, S_2에서 A까지의 거리가 같으므로 경로차는 0이다.
(2) 파장을 λ라고 하면 B, C, D에서 경로차는 각각 $S_B=2.5\lambda-2\lambda=0.5\lambda$, $S_C=2\lambda-1.5\lambda=0.5\lambda$, $S_D=2.5\lambda-\lambda=1.5\lambda$이다. 따라서 경로차는 D에서 가장 크고, B와 C의 경로차는 서로 같다.
(3) S_1, S_2에서 A까지의 경로차는 반 파장의 짝수 배이므로 보강 간섭이 일어나고, B, C, D까지의 경로차는 반 파장의 홀수 배이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

다른 풀이 (3) A에서는 두 음파의 마루와 마루가 만나 중첩하므로 보강 간섭이 일어나고, B, C, D에서는 두 음파의 마루와 골이 만나 중첩하므로 상쇄 간섭이 일어난다.

채점 기준		배점
(1)	S_1, S_2에서 A까지의 경로차를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	40 %
	S_1, S_2에서 A까지의 경로차만 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	S_1, S_2에서 B, C, D까지의 경로차를 옳게 비교하여 서술한 경우	40 %
	S_1, S_2에서 B, C, D까지의 경로차만 옳게 쓴 경우	20 %
(3)	A, B, C, D에서 일어나는 간섭의 종류를 옳게 서술한 경우	20 %
	A, B, C, D에서 일어나는 간섭의 종류를 두 가지만 옳게 쓴 경우	10 %

04 ㄱ. P는 소리가 가장 크게 들리는 지점이므로 P에서 합성파의 진폭이 가장 크다. 따라서 P에서는 음파의 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄴ. Q는 소리가 가장 작게 들리는 지점이므로 Q에서 합성파의 진폭이 가장 작다. 따라서 Q에서는 음파의 상쇄 간섭이 일어난다. 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 두 음원에서 경로차가 반 파장의 홀수 배인 지점이므로 L_1과 L_2의 차는 반 파장의 홀수 배이다.

ㄷ. Q에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 합성파의 진폭은 원래 파동 즉, 스피커 하나에서 발생한 소리의 진폭보다 작다.

05 ㄱ. P와 Q는 O를 기준으로 좌우 대칭을 이루므로 A, B에서 P까지의 경로차는 A, B에서 Q까지의 경로차와 같다. Q에서 음파의 보강 간섭이 일어나므로 P에서도 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. A, B 사이의 간격을 작게 하면 두 스피커에서 P와 Q 사이의 지점까지의 경로차가 작아지므로 P와 Q 사이에 보강 간섭하는 지점의 수는 감소한다.

바로알기 ㄴ. 보강 간섭이 일어나는 지점은 두 음원에서 경로차가 반 파장의 짝수 배인 지점이다. 따라서 A, B에서 Q까지의 경로차는 반 파장의 짝수 배이다.

06 ㄱ. A 지점에서 소리가 가장 크게 들렸으므로 두 스피커에서 발생한 음파가 같은 위상으로 만나 보강 간섭을 한다.

ㄴ. B 지점에서 소리가 처음으로 가장 작게 들렸으므로 두 스피커에서 발생한 음파가 상쇄 간섭을 한다. 따라서 B 지점에서는 두 스피커에서 발생한 음파가 반대 위상으로 만난다.

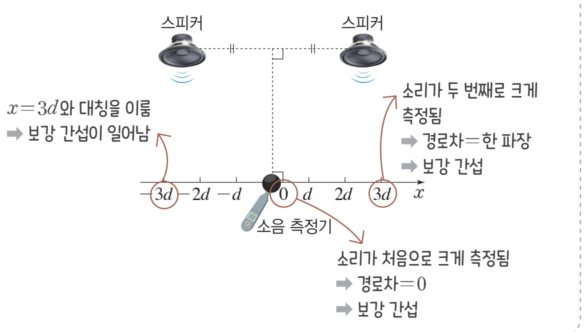
바로알기 ㄷ. 소리의 속력이 일정할 때 소리의 진동수가 증가하면 소리의 파장은 짧아진다. 또한 소리의 파장이 짧아질수록 간섭이 일어나는 간격이 작아지므로 경로차가 반 파장이 되는 지점은 A 지점에 가까워진다. 즉, A 지점과 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격이 가까워지므로 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 B 지점보다 왼쪽에 위치한다.

07 두 음파가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 두 음원에서 경로차가 반 파장의 홀수 배인 $\frac{\lambda}{2}(2m+1)$ $(m=0, 1, 2, \cdots)$ 지점이다.

모범 답안 S_1, S_2에서 위상이 같은 소리가 발생하고, B에서 두 번째로 소리가 작게 들렸으므로 경로차는 반 파장의 3배이다. 따라서 S_1, S_2에서 B까지의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$이다.

채점 기준	배점
S_1, S_2에서 B까지의 경로차를 λ를 이용하여 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
S_1, S_2에서 B까지의 경로차만 λ를 이용하여 옳게 쓴 경우	50 %

08 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 두 스피커에서 $x=0$까지의 거리는 같고, $x=0$에서 소리의 세기가 처음으로 크게 측정되었으므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 두 스피커에서 발생한 음파의 위상은 서로 같다.

바로알기 ㄴ. $x=3d$와 $x=-3d$는 $x=0$을 기준으로 좌우 대칭을 이루므로 두 스피커에서 $x=3d$와 $x=-3d$까지의 경로차는 서로 같다. $x=3d$에서 두 번째로 소리가 크게 측정되었으므로 보강 간섭이 일어났음을 알 수 있다. 따라서 $x=-3d$에서도 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 두 스피커에서 $x=0$까지의 경로차는 0이고, $x=3d$까지의 경로차는 한 파장이므로 $x=0$과 $x=3d$ 사이에 경로차가 반 파장인 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 존재한다. 또한 관측 위치의 대칭성에 의해 $x=-3d$와 $x=0$ 사이에도 경로차가 반 파장으로 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 존재하므로 $x=-3d$와 $x=3d$ 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 두 개이다.

09 ㄷ. 소리의 속력이 일정할 때 소리의 진동수가 증가하면 소리의 파장이 짧아진다. 또한 소리의 파장이 짧아질수록 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격이 작아진다. 따라서 소리의 진동수를 증가시키면 O와 Q 사이에 소리의 세기가 최대인 지점이 생긴다.

바로알기 ㄱ. Q에서 소리의 세기가 처음으로 최대이므로 보강 간섭이 일어남을 알 수 있다. P와 Q는 O를 중심으로 좌우 대칭을 이루므로 A, B에서 P, Q까지의 경로차는 서로 같다. 따라서 P에서도 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. O에서 소리의 세기가 최소이므로 O에서는 두 소리가 반대 위상으로 만나 중첩하여 상쇄 간섭이 일어난다.

10 ㄱ. 일반 헤드폰에서는 주변의 소음이 제거되지 않으므로 음악이 소음과 함께 들린다.
ㄴ. 소음 제거 헤드폰에서는 소음을 상쇄 간섭으로 제거하기 위해 소음 채집용 마이크로 주변의 소음을 감지하면서 소음과 반대 위상의 음파를 만들어 스피커를 통해 발생시킨다.
바로알기 ㄷ. 소음 제거 헤드폰의 ㉠은 소음과 반대 위상의 신호가 헤드폰 내부로 들어오는 외부 소음과 상쇄 간섭을 하는 과정이다.

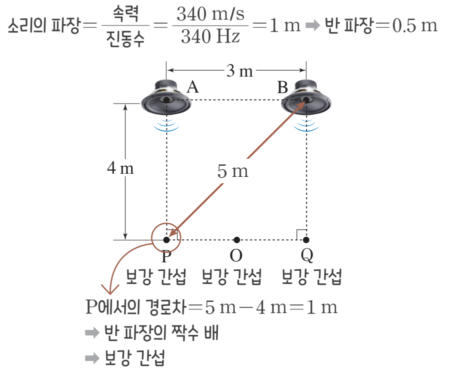
11 ㄴ. 공연장의 벽이나 천장에서 반사되는 소리가 상쇄 간섭을 하지 않고 모든 관객에게 고르게 퍼져 나갈 수 있도록 음파의 보강 간섭을 활용하여 공연장을 설계한다.
바로알기 ㄱ. 자동차 엔진의 배기 소음은 자동차의 소음기에서 두 통로의 길이가 반 파장의 홀수 배만큼 차이 나게 하여 상쇄 간섭으로 제거한다.
ㄷ. 비행기 밖에서 발생한 소음을 마이크로 감지한 뒤 소음과 반대 위상의 음파를 비행기 내부에 발생시켜 상쇄 간섭으로 소음을 제거한다.

12 ㄴ, ㄷ. 초음파를 이용하여 인체 내의 이물질을 분쇄하는 의료 장비는 음파의 보강 간섭을 활용한 예이므로 이물질에서 초음파의 진폭은 최대이며, 이물질에 도달하는 초음파 사이의 경로차는 반 파장의 짝수 배이다.
바로알기 ㄱ. 체외 충격파 쇄석기와 같이 초음파를 이용하여 인체 내의 이물질을 제거하는 의료 장비는 음파의 보강 간섭을 이용하여 이물질을 분쇄한다.

실력 UP 문제 183쪽

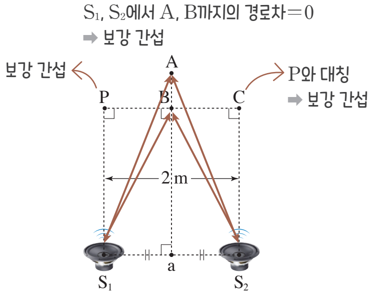
01 ① **02** ③ **03** ② **04** ④

01 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 소리의 속력은 340 m/s이고, 소리의 진동수는 340 Hz이므로 소리의 파장$=\frac{속력}{진동수}=\frac{340\ m/s}{340\ Hz}=1\ m$이다.
바로알기 ㄴ. A에서 P까지의 거리는 4 m이고, B에서 P까지의 거리는 5 m이므로 A, B에서 P까지의 경로차는 1 m로 반 파장의 짝수 배이다. P와 Q는 O를 중심으로 좌우 대칭을 이루므로 A, B에서 Q까지의 경로차도 1 m이다. O는 P와 Q의 중점이므로 A, B에서 O까지의 거리는 5 m로 서로 같다. A, B에서 진동수와 위상이 같은 소리가 동시에 발생하므로 P, O, Q에서 모두 보강 간섭이 일어난다. 따라서 P와 O 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있고, 대칭성에 의해 O와 Q 사이에도 P와 O 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점과 같은 개수만큼 있어 P와 Q 사이에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 짝수 개이다.
ㄷ. A에서 발생하는 소리의 위상만을 반대로 하면, A, B에서 발생한 소리는 O에서 반대 위상으로 만난다. 따라서 O에서 상쇄 간섭이 일어난다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. a는 S_1과 S_2로부터 같은 거리에 있으므로 두 스피커에서 a까지의 경로차는 0이다. S_1, S_2에서 진동수와 위상이 같은 소리가 동시에 발생하므로 a에서는 두 소리가 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어난다.
ㄴ. A, B는 S_1과 S_2로부터 같은 거리에 있으므로 경로차가 0이다. 또한 P에서 보강 간섭이 일어나므로 B를 기준으로 P와 좌우 대칭을 이루는 C에서도 보강 간섭이 일어난다. 따라서 A, B, C에서 모두 보강 간섭이 일어난다.
바로알기 ㄷ. S_1과 S_2 사이의 거리는 2 m이고, 소리의 파장은 1 m이므로 파장을 λ라고 하면 S_1과 S_2를 잇는 직선상에서 최대 경로차는 2λ이다. a에서 경로차가 0이므로 S_1과 a 사이에는 경로차가 반 파장의 홀수 배인 0.5λ, 1.5λ인 지점이 존재한다. 대칭성에 의해 a와 S_2 사이에도 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 2개이므로 S_1과 S_2를 잇는 직선상에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 4개이다.

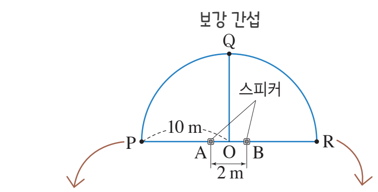
다른 풀이 ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 두 음원으로부터 경로차가 반 파장의 홀수 배인 지점이다. 소리의 파장이 1 m이므로 반 파장은 0.5 m이다. S_1로부터 상쇄 간섭이 일어나는 지점까지의 거리를 x라고 하면, $|x-(2-x)|=0.5$ m, 1.5 m, 2.5 m, …를 만족하는 x를 구하면 된다. 따라서 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 $x=0.25$ m, 0.75 m, 1.25 m, 1.75 m로 4개이다.

03 ㄷ. P에서 보강 간섭이 일어나므로 A, B에서 발생한 소리가 같은 위상으로 만난다. 따라서 A에서 발생하는 소리의 위상만을 반대로 하면, A, B에서 발생한 소리가 P에서 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄱ. A, B로부터 같은 거리에 있는 Q에서 상쇄 간섭이 일어나므로 A와 B에서 서로 반대 위상의 소리가 발생한다.
ㄴ. A, B에서 O까지의 거리가 같으므로 경로차가 0이다. 이때 A, B에서 서로 반대 위상의 소리가 발생하므로 O에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

04 꼼꼼 문제 분석

소리의 파장$=\dfrac{\text{속력}}{\text{진동수}}=\dfrac{340\text{ m/s}}{170\text{ Hz}}=2\text{ m}$ ➡ 반 파장$=1$ m



A와 B에서 P까지의 경로차$=2$ m
➡ 반 파장의 짝수 배
➡ 보강 간섭

P와 대칭
➡ P와 Q 사이에 일어나는 간섭의 수와 Q와 R 사이에 일어나는 간섭의 수는 서로 같다.

ㄱ. 소리의 속력은 340 m/s이고, 소리의 진동수는 170 Hz이므로 소리의 파장$=\dfrac{\text{속력}}{\text{진동수}}=\dfrac{340\text{ m/s}}{170\text{ Hz}}=2$ m이다. 이때 A, B에서 P까지의 경로차는 A와 B 사이의 거리인 2 m로 반 파장의 짝수 배이다. 따라서 P에서는 보강 간섭이 일어난다.
ㄷ. Q를 제외하고 P에서 Q까지 보강 간섭이 일어나는 지점과 Q에서 R까지 보강 간섭이 일어나는 지점의 수는 서로 같다. 따라서 Q를 포함하면 P에서 R까지 보강 간섭이 일어나는 지점은 홀수 개이다.

바로알기 ㄴ. A와 B에서 Q까지의 경로차는 0이므로 Q에서는 보강 간섭이 일어난다. R은 O를 기준으로 P와 좌우 대칭을 이루므로 R에서도 보강 간섭이 일어난다. Q, R은 모두 보강 간섭이 일어나는 지점이므로 소리의 세기가 서로 같다.

03 / 정상파

개념 확인 문제

186쪽

❶ 정상파 ❷ 배 ❸ 마디 ❹ 반$\left(\dfrac{1}{2}\right)$ ❺ 배 ❻ 마디 ❼ 공명

1 (1) × (2) ◯ (3) × **2** 2 m **3** (1) 2 m (2) 170 Hz
4 (1) × (2) ◯ (3) ◯ **5** (1) 0.8 m (2) 425 Hz

1 (1) 정상파에는 매질이 크게 진동하는 곳, 작게 진동하는 곳, 진동하지 않는 곳이 있다. 따라서 모든 지점에서 매질이 진동하는 폭은 서로 다르다.
(2) 정상파의 마디에서는 상쇄 간섭이 일어나 매질이 진동하지 않는다.
(3) 정상파의 최대 진폭은 중첩되기 전 원래 파동의 진폭의 2배이다. 정상파의 최대 진폭이 A라면, 정상파를 형성하는 두 파동의 진폭은 $0.5A$이다.

2 정상파에서 이웃한 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장에 해당된다. 줄의 길이는 반 파장의 3배이므로 정상파의 파장을 λ라고 하면, $3\text{ m}=\dfrac{3\lambda}{2}$에서 $\lambda=3\text{ m}\times\dfrac{2}{3}=2$ m이다.

3 (1) 한쪽 끝이 막힌 관 내부에 형성되는 정상파의 파장 $\lambda_n=\dfrac{4l}{n}$에서 관의 길이 $l=0.5$ m이고, $n=1$이므로 정상파의 파장$=\dfrac{4\times0.5\text{ m}}{1}=2$ m이다.
(2) 소리의 속력=진동수×파장이므로 소리의 진동수$=\dfrac{\text{속력}}{\text{파장}}=\dfrac{340\text{ m/s}}{2\text{ m}}=170$ Hz이다.

4 (1) 외부에서 가한 진동이 물체가 가지고 있는 고유 진동수와 일치하면 공명이 일어나 파동의 진폭이 커진다. 이때 형성된 정상파의 파장과 속력은 원래 파동과 같으므로 파동의 진동수는 변하지 않는다. 즉, 공명이 일어날 때 파동의 진동수는 외부에서 가한 진동수와 같으며 증가하는 것은 파동의 진동수가 아닌 진폭이다.
(2) 기타 줄에서 발생한 소리가 기타의 울림통 안 공기의 고유 진동수와 일치하면 공명이 일어나 소리가 크게 울린다.
(3) 관악기에서 공기의 흐름을 조절하여 음파의 진동수를 관 속 공기의 고유 진동수와 일치시키면 공명이 일어나 소리가 증폭되어 크게 들린다.

5 (1) 공명이 일어난 지점의 높이 차는 이웃한 마디와 마디 사이의 거리이므로 소리굽쇠에서 발생한 소리의 반 파장에 해당한다. 따라서 소리굽쇠에서 발생한 소리의 파장$=2\times(0.6\ \mathrm{m}-0.2\ \mathrm{m})=0.8\ \mathrm{m}$이다.

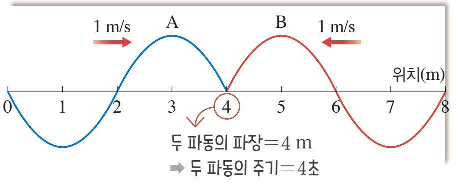
(2) 소리의 속력=진동수×파장이므로 소리의 진동수$=\dfrac{\text{속력}}{\text{파장}}=\dfrac{340\ \mathrm{m/s}}{0.8\ \mathrm{m}}=425\ \mathrm{Hz}$이다.

대표 자료 분석

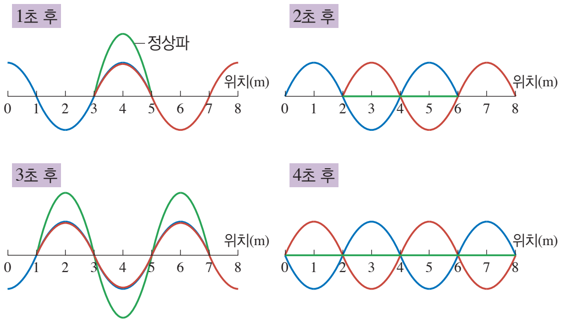
187쪽

1 (1) 4 (2) 0.25 (3) 배 **2** (1) 2 (2) 2 (3) 4 **3** 4개 **4** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

꼼꼼 문제 분석



두 파동 A와 B가 중첩하여 형성되는 정상파의 모습은 다음과 같다.



1 (1) 파장은 매질이 1회 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 A와 B의 파장은 4 m이다.

(2) A와 B의 파장은 4 m, 속력은 1 m/s이므로 파동의 속력$=\dfrac{\text{파장}}{\text{주기}}$에서 주기$=\dfrac{\text{파장}}{\text{속력}}=\dfrac{4\ \mathrm{m}}{1\ \mathrm{m/s}}=4$초이다. 진동수는 주기와 역수 관계이므로 A와 B의 진동수는 $\dfrac{1}{4\ \mathrm{s}}=0.25\ \mathrm{Hz}$이다.

(3) 4 m 지점에서 두 파동은 항상 같은 위상으로 중첩되므로 배가 된다.

2 (1) 정상파의 배는 보강 간섭이 일어나는 곳이므로 배 부분의 진폭은 두 파동의 진폭의 두 배인 2 m이다.

(2) 정상파에서 이웃한 배와 배 사이의 거리는 원래 파동의 반 파장과 같으므로 2 m이다.

(3) 정상파의 파장은 중첩되기 전 원래 파동의 파장과 같으므로 4 m이다.

3 A와 B가 4 m 지점에서 같은 위상으로 중첩되므로 4 m 지점은 정상파의 배이다. 이곳으로부터 $\dfrac{1}{4}$파장인 1 m 간격으로 마디와 배가 반복되어 나타나므로 4 m 지점을 기준으로 3 m와 5 m 지점은 마디에 해당된다. 또한 이웃한 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장이므로 마디인 지점은 1 m, 3 m, 5 m, 7 m로 총 4개이다.

4 (1) 2초 후 4 m 지점에서 A와 B의 변위는 0이므로 4 m 지점의 변위는 0이다.

(2), (3) 정상파의 파장, 진동수, 속력은 중첩되기 전 원래 파동과 같으므로 A와 B가 완전히 중첩되어 형성된 정상파의 주기는 4초이고, 속력은 1 m/s이다.

(4) 3 m 지점에서 A와 B는 항상 반대 위상으로 중첩되므로 마디이다. 따라서 3 m 지점에서 매질은 진동하지 않는다.

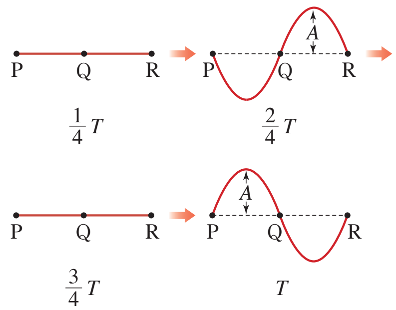
(5) 정상파의 파장은 중첩되기 전 원래 파동의 파장과 같으므로 중첩되는 두 파동의 파장이 길수록 정상파의 파장도 길어진다.

내신 만점 문제

188쪽~190쪽

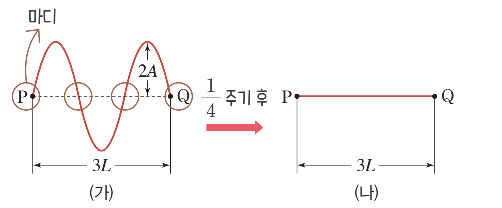
01 ① **02** ④ **03** ⑤ **04** ③ **05** ⑤ **06** ①
07 ② **08** ③ **09** ④ **10** ⑤ **11** ④
12 해설 참조

01 시간이 T만큼 지나면 처음 파형과 같아지며, 배와 마디의 위치는 변하지 않으므로 문제의 상태로부터 $\dfrac{1}{4}T$ 간격으로 파형을 그리면 다음과 같다.



따라서 $\frac{3}{4}T$에는 매질의 모든 점의 변위가 0인 상태가 된다.

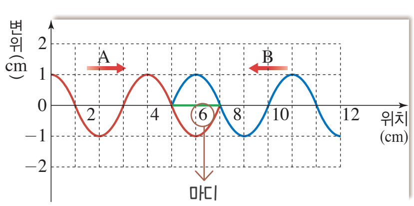
02 꼼꼼 문제 분석



이웃한 마디와 마디 사이의 거리=반 파장 ➡ $3L=\frac{\text{파장}}{2}\times3$이므로 파장$=2L$

(가)의 상태에서 처음으로 (나)의 상태가 되는 데 걸린 시간 $t_0=\frac{1}{4}$주기이므로 주기는 $4t_0$이다. 이웃한 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장이고, P와 Q 사이의 거리는 반 파장의 3배이므로 $3L=\frac{\text{파장}}{2}\times3$에서 파장은 $2L$이다. 파동의 속력$=\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$이고, 정상파의 속력은 원래 파동의 속력과 같으므로 $v_0=\frac{2L}{4t_0}=\frac{L}{2t_0}$이다.

03 꼼꼼 문제 분석



• 6 cm 지점에서 A와 B가 반대 위상으로 중첩되므로 마디이다.

• 정상파에서 이웃한 배와 마디 사이의 거리는 $\frac{1}{4}$파장이므로 6 cm 지점으로부터 1 cm만큼 떨어진 5 cm와 7 cm는 배이다.

ㄱ. 합성파의 최대 변위는 두 파동의 진폭을 합한 것과 같다. 두 파동의 진폭은 1 cm이므로 중첩된 두 파동의 변위의 최댓값은 2 cm이다.

ㄴ. 6 cm 지점에서 두 파동은 서로 반대 위상으로 중첩하므로 마디가 형성된다.

ㄷ. 정상파의 파장은 중첩되기 전 원래 파동과 같으므로 4 cm이다. 6 cm 지점이 마디이므로 이곳으로부터 $\frac{1}{4}$파장인 1 cm만큼 떨어진 5 cm, 7 cm 지점은 배이다. 이웃한 배와 배 사이의 간격은 반 파장인 2 cm이므로 1 cm, 3 cm, 9 cm, 11 cm 지점도 배에 해당된다. 따라서 0~12 cm 사이에 나타나는 배의 개수는 6개이다.

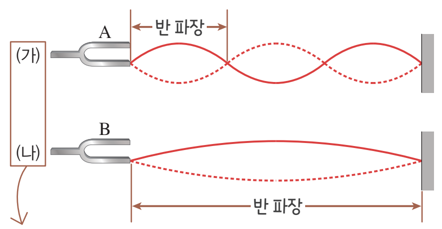
04

ㄱ. 변위의 방향은 (가)와 (나)에서 서로 반대이므로 (가)의 상태에서 처음으로 (나)의 상태가 되는 데 걸린 시간은 반 주기이다. (가)의 상태에서 처음으로 (나)의 상태가 되는 데 걸린 시간은 0.4초이므로 정상파의 주기는 0.8초이다.

ㄷ. (나)에서 반 주기인 0.4초가 지난 후는 (가)로부터 한 주기 후에 해당하므로 파형이 (가)와 같아진다. 따라서 (나)에서 0.4초가 지나면 a의 변위의 크기는 최대가 된다.

바로알기 ㄴ. 정상파의 진폭은 중첩되기 전 원래 파동의 진폭의 2배이다. 따라서 정상파가 형성되기 전 두 파동의 진폭은 $\frac{A}{2}$이다.

05 꼼꼼 문제 분석



동일한 줄에 작용하는 장력의 크기가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 서로 같다.

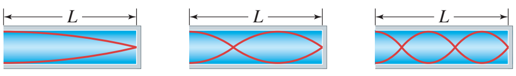
ㄴ. 줄의 길이를 $3l$이라고 하자. 이웃한 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장이고, (가)에서 줄의 길이는 반 파장의 3배이므로 줄에서 형성된 정상파의 파장은 $2l$이다. (나)에서 줄의 길이는 반 파장에 해당하므로 줄에 형성된 정상파의 파장은 $6l$이다. 따라서 줄에 형성된 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. 이때 줄에 형성된 정상파의 진동수와 소리의 진동수는 서로 같으므로 줄에서 발생한 소리의 파장도 (나)에서가 (가)에서의 3배이다.

ㄷ. 줄에서 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같고, 줄에 형성된 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서의 3배이다. 줄에서 형성된 정상파의 진동수는 파장에 반비례하므로 (가)에서가 (나)에서의 3배이다. 따라서 소리굽쇠의 진동수는 A가 B의 3배이다.

바로알기 ㄱ. A와 B에 동일한 줄이 연결되어 있고, 두 줄에 작용하는 장력의 크기가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.

06

꼼꼼 문제 분석



f_1, λ_1 (가) | f_2, λ_2 (나) | f_3, λ_3 (다)

- (가): 기본 진동 → $\lambda_1=4L, f_1$
- (나): 3배 진동 → $\lambda_2=\frac{4}{3}L, f_2=3f_1$
- (다): 5배 진동 → $\lambda_3=\frac{4}{5}L, f_3=5f_1$

ㄱ. 한쪽 끝이 막힌 관에서 정상파의 파장 $\lambda_n=\frac{4l}{n}$이고, (가)는 기본 진동에 해당하므로 $\lambda_1=4L$이다.

바로알기 ㄴ. 정상파의 속력은 (가), (나), (다)에서 모두 같으므로 파동의 속력=진동수×파장에 따라 진동수와 파장의 곱이 같아야 한다. 따라서 $f_2\lambda_2=f_3\lambda_3$이다.

ㄷ. 한쪽 끝이 막힌 관에서 정상파의 진동수 $f_n=\frac{v}{4l}n$이고, (나)는 3배 진동, (다)는 5배 진동에 해당한다. 파동의 속력을 v라고 하면, $f_2=\frac{3v}{4L}$이고, $f_3=\frac{5v}{4L}$이므로 (다)에서 들리는 소리가 (나)에서 들리는 소리보다 높다.

다른 풀이 ㄱ. (가)에서 관의 길이 L은 이웃한 배와 마디 사이의 거리와 같다. 이웃한 배와 마디 사이의 거리는 $\frac{1}{4}$파장이므로 $\lambda_1=4L$이다.

07

ㄴ. (가)와 (나)에서 공기의 온도가 같으므로 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.

바로알기 ㄱ. 양쪽 끝이 열린 관에 형성된 정상파의 파장 $\lambda_n=\frac{2l}{n}$이므로 (가)에서 정상파의 파장은 $\frac{2\times0.4}{1}=0.8$ m이다.

ㄷ. (나)는 2배 진동에 해당하므로 (나)에서 정상파의 파장은 $\frac{2\times0.4}{2}=0.4$ m이다. 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같으므로 파동의 속력=진동수×파장에 따라 진동수는 파장과 반비례한다. 정상파의 파장은 원래 파동의 파장과 같고, (가)에서가 (나)에서보다 길므로 음파의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

다른 풀이 ㄱ. (가)에서 관의 길이는 정상파의 이웃한 배와 배 사이의 거리와 같으므로 반 파장에 해당한다. 따라서 (가)에서 정상파의 파장은 0.4m×2=0.8 m이다.

ㄷ. (나)에서 관의 길이는 이웃한 배와 배 사이의 거리의 2배이므로 파장에 해당한다. 따라서 (나)에서 정상파의 파장은 0.4 m이다. 음파의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같고, 파장은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 음파의 진동수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

08

ㄱ. 원통 속에 형성된 정상파에서 이웃한 배와 마디 사이의 거리가 40 cm이므로 정상파의 파장, 즉 소리의 파장은 40 cm×4=160 cm=1.6 m이다. 소리의 속력이 340 m/s이므로 소리의 진동수$=\frac{\text{속력}}{\text{파장}}=\frac{340\text{ m/s}}{1.6\text{ m}}=212.5$ Hz이다. 이 소리는 줄의 진동에 의해 발생한 것이므로 줄에 형성된 정상파의 진동수 또한 212.5 Hz이다.

ㄷ. 줄에 형성된 정상파의 파장은 0.4 m이고, 진동수는 212.5 Hz이므로 줄에 형성된 파동의 속력=진동수×파장=212.5 Hz×0.4 m=85 m/s이다.

바로알기 ㄴ. 줄에 형성된 정상파에서 이웃한 마디와 마디 사이의 거리가 20 cm이므로 정상파의 파장은 20 cm×2=40 cm=0.4 m이다.

09

ㄱ. 팬플루트의 관의 윗구멍에 바람을 불었을 때 소리가 나는 까닭은 관 속의 공기가 진동하여 정상파를 형성하기 때문이다.

ㄴ. 관에서 나는 소리의 파장은 관의 길이에 비례한다. 따라서 긴 관에서 나는 소리의 파장은 짧은 관에서 나는 소리의 파장보다 길다. 관에서 나는 소리의 속력은 관의 길이와 관계없이 일정하므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 짧은 관에서 나는 소리가 긴 관에서 나는 소리보다 높다.

바로알기 ㄷ. 관에서 소리가 날 때 매질인 공기는 동일하므로 소리의 속력은 관의 길이와 관계없이 일정하다.

10

ㄱ. 양쪽이 고정된 줄을 튕기면 정상파가 형성되면서 소리가 난다.

ㄴ. 줄의 길이가 짧아질수록 파장이 짧아진다. 이때 같은 줄에서 발생하는 소리의 속력은 일정하므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 지판을 눌러 줄의 길이가 짧아지면 파장이 짧아지고, 진동수가 커져 높은 소리가 난다.

ㄷ. 줄의 진동에 의한 소리의 진동수가 몸통 안 공기의 진동수와 일치하면 공명이 일어나 큰 소리가 난다.

11

ㄴ. 소리의 속력=진동수×파장이므로 소리의 속력은 500 Hz×0.68 m= 340 m/s이다.

ㄷ. 유리관에서 정상파가 형성될 때 물 표면에서는 공기가 진동하지 않으므로 마디가 형성된다.

바로알기 ㄱ. 소리가 처음 크게 들리는 지점 L_1과 소리가 두 번째로 크게 들리는 지점 L_2의 차는 유리관 속에 형성된 정상파의 반 파장과 같다. 따라서 유리관 속에 형성된 정상파의 파장은 $2\times(50.5\ \mathrm{cm}-16.5\ \mathrm{cm})=68\ \mathrm{cm}$이다. 따라서 소리의 파장은 68 cm이다.

12 모범 답안 소리의 속력은 340 m/s이고, 소리굽쇠의 진동수는 680 Hz이므로 소리의 속력=진동수×파장에 따라 소리의 파장$=\dfrac{\text{속력}}{\text{진동수}}=\dfrac{340\ \mathrm{m/s}}{680\ \mathrm{Hz}}=0.5\ \mathrm{m}$이다. l_2-l_1은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리와 같으므로 소리의 반 파장과 같다. 따라서 $l_2-l_1=\dfrac{0.5\ \mathrm{m}}{2}=0.25\ \mathrm{m}$이다.

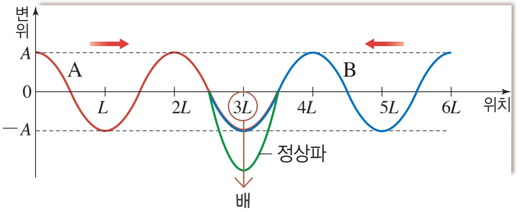
채점 기준	배점
l_2-l_1을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
l_2-l_1만 옳게 쓴 경우	50 %

실력 UP 문제

191쪽

01 ③ **02** ② **03** ① **04** ④

01 꼼꼼 문제 분석

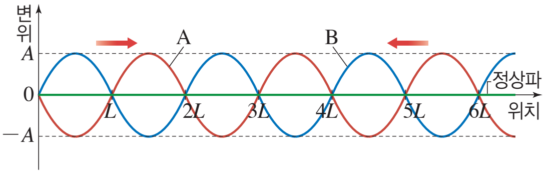


$3L$ 지점에서 두 파동은 같은 위상으로 중첩되므로 $3L$인 지점은 배에 해당된다.

ㄱ. 정상파의 파장은 중첩되기 전 원래 파동의 파장과 같으므로 $2L$이다.

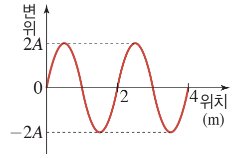
ㄴ. $3L$ 지점에서 A와 B는 같은 위상으로 중첩되므로 배에 해당된다. 이웃한 배와 배 사이의 거리는 반 파장이므로 L, $2L$, $3L$ 지점은 배이다.

바로알기 ㄷ. $\dfrac{5T}{2}$ 동안 A와 B는 파장의 $\dfrac{5}{2}$배인 $5L$만큼 이동하므로 이때 형성된 정상파의 모습은 다음과 같다.

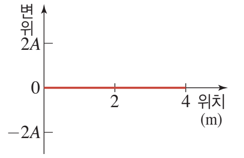


따라서 $t=\dfrac{5T}{2}$일 때 $5L$ 지점의 변위는 0이다.

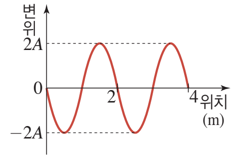
02 ㄴ. 정상파의 주기가 4초이므로 시간 t에 따른 정상파의 파형은 다음과 같다.



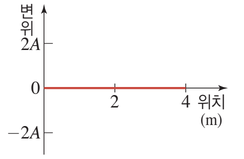
$t=0$



$t=\dfrac{1}{4}$주기=1초



$t=\dfrac{1}{2}$주기=2초



$t=\dfrac{3}{4}$주기=3초

따라서 t가 될 수 있는 것은 1초와 3초이다.

바로알기 ㄱ. 정상파의 속력은 중첩되기 전 원래 파동의 속력과 같으므로 0.5 m/s이다. (가)에서 정상파의 파장이 2 m임을 알 수 있으므로 파동의 속력$=\dfrac{\text{파장}}{\text{주기}}$에서 주기$=\dfrac{2}{0.5}=4(\mathrm{s})$이다.

ㄷ. (가)의 순간부터 2초가 지났을 때는 반 주기가 지났을 때이므로 변위의 방향이 (가)와 반대가 된다. 따라서 정상파의 변위의 최댓값은 $2A$로 (가)와 같다.

03 꼼꼼 문제 분석

구분	배의 개수	진동수
A	2	f_1
A	4	f_2
B	3	f_2

동일한 줄에 형성된 정상파이므로 파동의 속력이 같다.
➡ 진동수는 파장에 반비례한다.

두 줄에 형성된 정상파의 진동수가 같다.
➡ 파동의 속력은 파장에 비례한다.

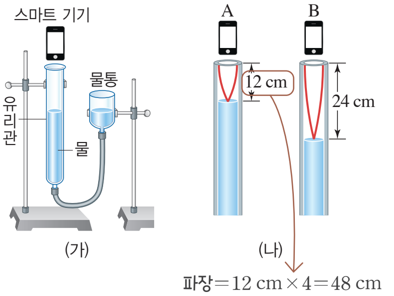
ㄱ. 양 끝이 고정된 줄이므로 배의 개수와 관계없이 줄의 양 끝에는 항상 마디가 형성된다.

바로알기 ㄴ. 양 끝이 고정된 줄에 형성되는 정상파의 파장은 $\lambda_n=$

$\frac{2l}{n}$이다. A와 B의 길이를 L이라고 하면, A에서 배의 개수가 2개일 때 $n=2$이므로 A에 형성된 정상파의 파장은 L이고, 배의 개수가 4개일 때 $n=4$이므로 A에 형성된 정상파의 파장은 $\frac{L}{2}$이다. 동일한 줄 A에서 파동의 속력은 같으므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 $f_1 : f_2 = 1 : 2$이다.
ㄷ. 파동의 진동수가 같을 때 파동의 속력은 파장에 비례한다. A와 B의 진동수가 f_2로 같을 때 A에 형성된 정상파의 파장은 $\frac{L}{2}$이고, B에서 배의 개수는 3개이므로 $n=3$에서 B에 형성된 정상파의 파장은 $\frac{2L}{3}$이다. 따라서 줄에 형성된 파동의 속력은 A가 B의 $\frac{3}{4}$배이다.

04 꼼꼼 문제 분석

첫 번째 공명이 일어나는 지점은 이웃한 마디와 배 사이의 거리 또는 한쪽 끝이 막힌 관악기의 기본 진동과 같으므로 $\frac{1}{4}$파장인 곳이다.



(나)에서 매질인 공기의 성질과 온도는 일정하므로 A, B의 속력은 서로 같다.

ㄴ. (나)에서 처음 공명이 일어나는 지점은 B가 A의 2배이므로 파장도 B가 A의 2배이다. 소리의 속력은 A와 B가 서로 같으므로 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 소리의 진동수는 A가 B의 2배이다.
ㄷ. 소리가 크게 들리는 지점 사이의 간격은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리이므로 반 파장에 해당한다. 두 번째 공명음이 들리는 지점을 y_2라고 하면, 24 cm$=y_2-$12 cm에서 $y_2=$36 cm이다. 따라서 A의 경우 유리관 입구로부터 36 cm인 지점에서 두 번째 공명음을 들을 수 있다.
바로알기 ㄱ. 처음으로 공명이 일어나는 지점은 한쪽 끝이 막힌 관악기의 기본 진동에 해당하므로 $\lambda_n=\frac{4l}{n}$에 따라 소리의 파장은 유리관 입구에서 공명이 일어난 지점 까지의 길이의 4배이다. 따라서 A의 파장은 48 cm이다.

중단원 핵심 정리 192쪽~193쪽

① 진동수	② 큰	③ 작은	④ 큰	⑤ 작은	⑥ 크게
⑦ 작게	⑧ 같은	⑨ 반대	⑩ 짝수	⑪ 홀수	⑫ 반대
⑬ 보강	⑭ 정상파	⑮ 배	⑯ 마디	⑰ 2	⑱ 반$\left(\frac{1}{2}\right)$
⑲ 진동수	⑳ $\frac{1}{2}$				

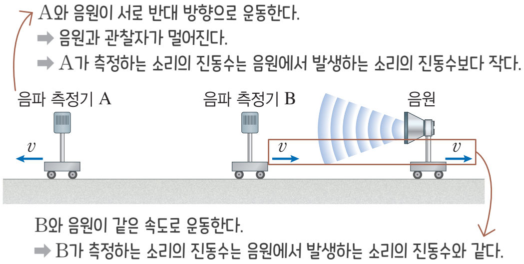
중단원 마무리 문제 194쪽~197쪽

01 ⑤	**02** ③	**03** ⑤	**04** ⑤	**05** ④	**06** ③
07 ①	**08** ②	**09** ③	**10** ②	**11** ②	**12** ①
13 ②	**14** ①	**15** 해설 참조		**16** 해설 참조	
17 해설 참조					

01 ㄱ. (가)에서 물방개가 정지한 상태에서 다리만 움직이므로 파원의 진동수는 변하지 않는다. 따라서 물결파의 진동수는 A와 B에서 서로 같다.
ㄴ. (나)에서 물방개가 오른쪽으로 일정한 속력으로 이동하므로 물결파의 파장은 C에서 길어지고 D에서 짧아진다. 물결파의 속력은 일정하므로 물결파의 진동수는 C에서가 D에서보다 작다.
ㄷ. 물결파의 진동수를 f, 물방개의 속력을 v_S라고 하면, 도플러 효과에 의해 D에서 측정되는 물결파의 진동수는 $\frac{v}{v-v_S}f$이다. 따라서 물방개의 속력이 증가하면 D에서 측정되는 물결파의 진동수도 증가한다.

02 구급차가 A 쪽으로 다가오고 있으므로 도플러 효과에 따라 A가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f_A=\frac{v}{v-v_S}f=\frac{340}{340-20}f=\frac{34}{32}f$이다. 구급차는 B로부터 멀어지고 있으므로 도플러 효과에 따라 B가 듣는 사이렌 소리의 진동수 $f_B=\frac{v}{v+v_S}f=\frac{340}{340+20}f=\frac{34}{36}f$이다. 따라서 $f_A : f_B=\frac{1}{8} : \frac{1}{9}=9 : 8$이다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. A와 음원은 서로 반대 방향으로 운동하고 있으므로 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 A가 측정한 소리의 진동수는 $\dfrac{V-v}{V+v}f_0$이다.

ㄷ. 음원의 속력이 $2v$로 증가하면, 음원은 B로부터 멀어지는 방향으로 운동하므로 B가 측정한 소리의 진동수는 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 $\dfrac{V+v}{V+2v}f_0$으로 f_0보다 작다.

바로알기 ㄱ. 음원과 B는 같은 속도로 운동하므로 B가 측정한 음원의 진동수는 음원과 B가 정지한 상태에서 측정한 진동수와 같다. 따라서 B가 측정한 소리의 진동수는 f_0이다.

04 ㄱ. A가 정지해 있는 음파 측정기 C 쪽으로 다가오고 있으므로 C가 측정한 A의 소리의 진동수는 도플러 효과에 따라 $\dfrac{v}{v-v_S}f_A=\dfrac{v}{v-\dfrac{v}{7}}f_A=\dfrac{7}{6}f_A$이다.

ㄴ. B가 정지해 있는 음파 측정기 C 쪽으로 다가오고 있으므로 C가 측정한 B의 소리의 진동수는 도플러 효과에 따라 $\dfrac{v}{v-v_S}f_B=\dfrac{v}{v-\dfrac{2v}{7}}f_B=\dfrac{7}{5}f_B$이다. C가 측정하는 A와 B의 소리의 진동수는 서로 같으므로 $f_A : f_B=6 : 5$이다.

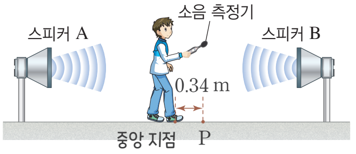
ㄷ. C가 B를 향해 v_C의 일정한 속력으로 이동하면, C가 측정하는 B의 진동수는 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 $\dfrac{v+v_C}{v-\dfrac{2v}{7}}f_B$이므로 C가 측정하는 B의 소리의 진동수는 f_B보다 크다.

05 ㄴ. C에서 마루와 골이 만나는 것으로 보아 S_1과 S_2에서 발생한 음파가 반대 위상으로 만난다. 따라서 C에서는 상쇄 간섭이 계속 일어나므로 C에서 소리의 세기는 0이다.

ㄷ. $\dfrac{T}{2}$가 지난 직후, 파동은 $\dfrac{1}{2}$회 진동하므로 A에서는 마루와 마루가 만나고, B에서는 골과 골이 만나 중첩된다. 따라서 음파의 진폭은 A와 B에서 서로 같다.

바로알기 ㄱ. A에서 골과 골이 만나는 것으로 보아 S_1과 S_2에서 발생한 음파가 같은 위상으로 만난다. 따라서 A에서는 보강 간섭이 일어난다.

06 꼼꼼 문제 분석



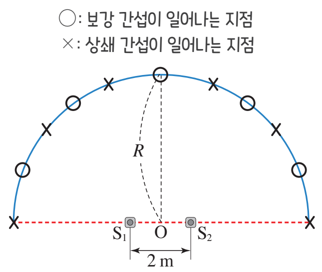
학생이 A와 B의 중앙 지점에서 B를 향해 0.34 m만큼 이동한 지점을 P라고 하면, A와 B에서 P까지의 경로차=0.68 m
➡ 반 파장의 짝수 배이므로 P에서 보강 간섭이 일어난다.

ㄱ. 소리의 속력이 340 m/s이고, 진동수가 500 Hz이므로 소리의 파장$=\dfrac{340\text{ m/s}}{500\text{ Hz}}=0.68$ m이다.

ㄴ. A와 B에서 같은 위상의 소리가 발생하므로 A와 B로부터 거리가 같은 지점은 같은 위상의 소리가 중첩되어 보강 간섭이 일어난다. 따라서 A와 B의 중앙 지점에서 측정한 소리의 세기는 A의 소리의 세기보다 크다.

바로알기 ㄷ. A와 B 사이의 거리를 L, 파장을 λ라고 하면, 학생이 A와 B의 중앙 지점에서 B를 향해 0.34 m만큼 움직였을 때 A와 학생 사이의 거리는 $\dfrac{L}{2}+\dfrac{\lambda}{2}$이고, B와 학생 사이의 거리는 $\dfrac{L}{2}-\dfrac{\lambda}{2}$이다. 이때 A와 B에서 학생까지의 경로차는 $\lambda=0.68$ m로 반 파장의 짝수 배이고, A와 B에서 같은 위상의 소리가 발생하므로 이 지점에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 이곳에서 측정한 소리의 세기는 B의 소리의 세기보다 크다.

07 꼼꼼 문제 분석

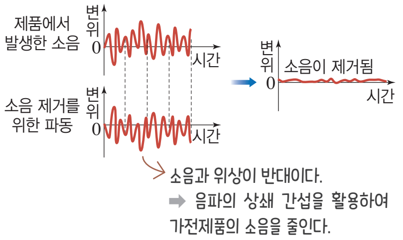


이웃한 상쇄 간섭과 상쇄 간섭 사이에는 보강 간섭이 일어나므로 보강 간섭이 일어나는 지점은 5개이다.

ㄱ. S_1과 S_2에서 진동수가 같은 소리가 같은 위상으로 발생하므로 S_1과 S_2를 이은 직선의 중점인 O에서는 같은 위상의 음파가 중첩된다. 따라서 O에서 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄴ. 이웃한 상쇄 간섭과 상쇄 간섭 사이에는 보강 간섭이 일어나는 지점이 존재한다. 반원에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 6개이므로 보강 간섭이 일어나는 지점은 5개이다.
ㄷ. S_1과 S_2에서 반원의 양 끝까지의 경로차는 2 m이다. 소리의 파장이 2 m라면 반원의 양 끝까지의 경로차는 반 파장의 짝수배로 보강 간섭이 일어나게 되어 반원의 양 끝에서 상쇄 간섭이 일어나는 상황과 모순이 된다.

08 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 자동차 엔진의 배기 소음은 자동차의 소음기에서 두 통로의 길이를 반 파장의 홀수 배만큼 차이 나게 하여 제거한다. 이는 음파의 상쇄 간섭을 활용한 예이다.
바로알기 ㄱ. 집에서 영화를 감상할 때 여러 개의 스피커에서 나온 음파의 위상이 일치하도록 스피커를 배치하면 소리가 증폭되어 현장감을 높일 수 있다. 이는 음파의 보강 간섭을 활용한 예이다.
ㄴ. 충격파 발생기에서 나온 충격파를 특정 지점에 위치한 환자의 결석에 집중하여 환자의 결석을 분쇄하는 체외 충격파 쇄석기는 음파의 보강 간섭을 활용한 예이다.

09 ㄱ. 두 파동이 중첩하여 형성된 정상파의 진폭이 $2A$이므로 두 파동의 진폭은 A이다.
ㄴ. P와 Q 사이의 거리는 이웃한 마디와 마디 사이의 거리의 2배이므로 $\frac{\text{파장}}{2}\times2=2\text{ m}$에서 정상파의 파장은 2 m이다. 파동의 속력이 2 m/s이므로 정상파의 진동수$=\frac{\text{속력}}{\text{파장}}=\frac{2\text{ m/s}}{2\text{ m}}=1\text{ Hz}$이다.
바로알기 ㄷ. 정상파의 진동수가 1 Hz이므로 주기는 1초이다. 0.5초는 반 주기에 해당하므로 0.5초가 지난 순간 정상파는 $\frac{1}{2}$회 진동하여 위상이 반대로 된다. P⊢— 2 m —⊣Q와 같이 정상파가 형성되려면 정상파가 $\frac{1}{4}$회 또는 $\frac{3}{4}$회 진동하여야 한다. 따라서 이는 문제의 순간으로부터 0.25초 또는 0.75초가 지났을 때 정상파의 모습에 해당한다.

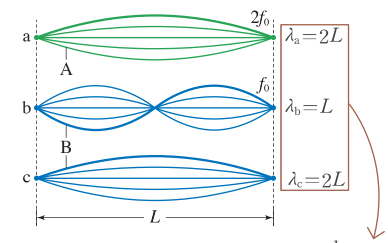
10 ㄴ. 정상파의 주기 $T=8$초이므로 (나)로부터 3초가 지난 순간인 6초는 $\frac{3T}{4}$에 해당된다. (가)에서 $\frac{3T}{4}$가 지난 순간, 중첩되는 두 파동의 위상은 서로 반대가 되므로 정상파의 변위는 0이 된다. 따라서 P에서 정상파의 변위는 y_P보다 작다.
바로알기 ㄱ. 정상파의 진동수는 중첩되기 전 원래 파동과 같으므로 정상파의 주기도 원래 파동과 같다. 따라서 정상파의 주기는 8초이다.
ㄷ. P에서 정상파의 변위는 최댓값을 가지지 않으므로 P는 배에 해당되지 않는다.

11 ㄴ. 양쪽 끝이 고정된 줄에 형성된 기본 진동의 정상파의 파장은 $\lambda_n=\frac{2l}{n}$에 따라 줄의 길이의 2배이다. 따라서 (나)에서 줄을 튕겼을 때 발생하는 정상파의 파장은 1 m이다.
바로알기 ㄱ. 동일한 줄에 작용하는 장력의 크기가 같을 때 파동의 속력은 같으므로 줄에서 전달되는 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같다.
ㄷ. 파동의 속력은 (가)와 (나)에서 서로 같고, 정상파의 파장은 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 정상파의 진동수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 줄에서 발생하는 소리의 진동수는 정상파의 진동수와 같으므로 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

12 ㄱ. 양쪽 끝이 고정된 A와 B에 기본 진동의 정상파가 형성되었으므로 정상파의 파장은 줄의 길이의 2배이다. 따라서 A에서 파장은 $4L$이고, B에서 파장은 $2L$이므로 파장은 A가 B의 2배이다.
바로알기 ㄴ. A와 B의 진동수가 같으므로 A와 B에서 발생하는 소리의 높낮이는 서로 같다.
ㄷ. 파동의 속력$=$진동수$\times$파장에서 파장은 A가 B의 2배이고, 진동수는 A와 B가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 파장에 비례한다. 따라서 줄에서 파동의 속력은 A가 B의 2배이다.

13 (나)에서 공기의 온도가 15 °C일 때 음파의 속력이 340 m/s이므로 (가)의 관 내부에서 음파의 속력은 340 m/s이다. 한쪽 끝이 막힌 관에 형성된 정상파의 파장은 $\lambda_n=\frac{4l}{n}$이므로 기본 진동에 해당되는 (가)의 정상파의 파장은 4 m이다. 따라서 정상파의 진동수$=\frac{\text{속력}}{\text{파장}}=\frac{340\text{ m/s}}{4\text{ m}}=85\text{ Hz}$이다.
다른 풀이 관의 길이는 이웃한 배와 마디 사이의 거리이므로 1 m$=\frac{1}{4}$파장이다. 정상파의 파장은 4 m이고, 공기의 온도가 15 °C일 때 음파의 속력은 340 m/s이므로 정상파의 진동수는 $\frac{340\text{ m/s}}{4\text{ m}}=85\text{ Hz}$이다.

14 꼼꼼 문제 분석



① 양쪽 끝이 고정된 줄에 생긴 정상파의 파장 $\lambda_n=\frac{2l}{n}$이다.

② 이웃한 배와 배, 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장과 같다.
→ a의 반 파장은 줄의 길이와 같다.
→ b의 반 파장의 두 배는 줄의 길이와 같다.
→ c의 반 파장은 줄의 길이와 같다.

ㄱ. 줄을 튕겼을 때 가한 진동의 진동수와 줄의 고유 진동수가 일치하여 공명이 일어나 진폭이 크게 증가한다. 그 결과 줄에는 양 끝이 마디인 정상파가 형성되며, 이 진동이 공기를 진동시켜 소리가 난다.

바로알기 ㄴ. 줄에서 파동의 속력은 줄에 형성된 정상파의 파장과 진동수의 곱과 같다. A에 형성된 정상파 a의 파장은 $2L$이고, 진동수는 $2f_0$이므로 A의 속력은 $4f_0L$이다. B에 형성된 정상파 b의 파장은 $\frac{2l}{n}=\frac{2L}{2}=L$이고, 진동수는 f_0이므로 B의 속력은 f_0L이다. 따라서 줄에서 파동의 속력은 A가 B의 4배이다.

ㄷ. b와 c는 B에 형성된 정상파이므로 속력이 서로 같다. C의 파장은 $2L$로 b의 파장의 2배이므로 c의 진동수는 $\frac{1}{2}f_0$이다. 따라서 진동수는 a가 c의 4배이므로 a와 c는 2옥타브 음의 차이가 난다.

15 음원과 관찰자가 모두 운동하는 경우 도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 $f'=\frac{v\pm v_O}{v\mp v_S}f$이다.

모범 답안 영희와 소방차가 서로 반대 방향으로 운동하여 멀어지고 있으므로 영희가 듣는 사이렌 소리의 진동수는 $\frac{v-v_O}{v+v_S}f$이다. 영희가 듣는 소리의 사이렌 진동수는 f보다 작으므로 소방차에서 발생한 사이렌 소리보다 낮은 소리를 듣는다.

채점 기준	배점
도플러 효과의 일반적인 관계식에 따라 영희가 듣는 사이렌 소리의 진동수를 f와 비교하여 옳게 서술한 경우	100 %
영희가 듣는 사이렌 소리의 진동수가 f보다 작다고만 서술한 경우	40 %

16 모범 답안 마이크로 외부 소음을 감지한 뒤 스피커를 통해 외부 소음과 반대 위상인 파동을 발생시키면 소음과 상쇄 간섭이 일어나 비행기 내부에서 소음이 잘 들리지 않는다.

채점 기준	배점
음파의 상쇄 간섭으로 소음이 잘 들리지 않음을 마이크와 스피커의 역할을 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
음파의 상쇄 간섭으로 소음이 잘 들리지 않는다고만 서술한 경우	40 %

17 모범 답안 (1) 양쪽 끝이 열린 관에 형성된 정상파의 파장 $\lambda_n=\frac{2l}{n}$에서 (가)와 (나)의 정상파는 기본 진동에 해당되고, 관의 길이는 (나)가 (가)보다 길므로 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서보다 길다.
(2) (가)와 (나)에서 공기의 온도가 같으므로 (가)와 (나)에 형성된 정상파의 속력은 서로 같고, 진동수는 파장에 반비례한다. 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서보다 길므로 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 (가)에서가 (나)에서보다 높은 소리가 난다.

다른 풀이 (1) 이웃한 배와 배 사이의 거리는 반 파장과 같다. (가)와 (나)에서 이웃한 배와 배 사이의 거리는 (나)가 길므로 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서보다 길다.

	채점 기준	배점
(1)	(가)와 (나)에서 정상파의 파장을 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
	정상파의 파장이 (나)에서가 (가)에서보다 길다고만 쓴 경우	20 %
(2)	(가)와 (나)에서 나는 소리의 높낮이를 진동수를 바탕으로 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %
	(가)에서가 (나)에서보다 높은 소리가 난다고만 쓴 경우	20 %

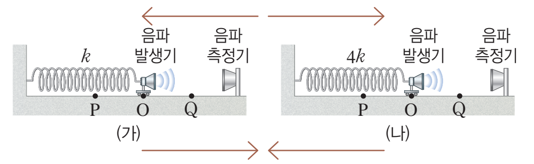
중단원 고난도 문제 198쪽~199쪽

01 ① **02** ⑤ **03** ③ **04** ④ **05** ③ **06** ⑤ **07** ②

01 꼼꼼 문제 분석

점 O → 점 P 이동: 음파 측정기로부터 멀어지면서 속력이 감소한다.

점 O → 점 Q 이동: 음파 측정기에 가까워지면서 속력이 감소한다.



점 P → 점 O 이동: 음파 측정기에 가까워지면서 속력이 증가한다.

점 Q → 점 O 이동: 음파 측정기로부터 멀어지면서 속력이 증가한다.

선택지 분석

ㄱ. (가)에서 음파 발생기가 O에서 P로 이동하는 동안 음파 측정기에서 측정하는 소리의 진동수는 증가한다.

~~ㄴ~~. 음파 발생기가 O에서 Q로 이동하는 동안 음파 측정기에서 측정하는 소리의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 작다.

~~ㄷ~~. (나)에서 음파 측정기가 측정하는 소리의 진동수는 (가)에서 측정하는 진동수보다 항상 크다. 크거나 작다.

전략적 풀이 ❶ 용수철에 매달려 왕복 운동하는 물체의 속력이 평형점에서 최대이고, 용수철이 최대로 늘어나거나 압축되었을 때는 순간적으로 정지하여 속력이 0임을 이용한다.

ㄱ. (가)에서 음파 발생기가 O에서 P로 이동하는 동안 음파 발생기의 속력을 v_S, 소리의 속력을 v라고 하면, 도플러 효과에 따라 음파 측정기가 측정하는 소리의 진동수 $f'=\frac{v}{v+v_S}f$이다. 음파 발생기가 O에서 P로 이동하는 동안 v_S는 감소하므로 f'는 증가한다.

❷ 용수철에 매달려 왕복 운동하는 물체의 역학적 에너지가 보존됨을 이용하여 음파 발생기의 속력을 비교한다.

ㄴ. 음파 발생기의 역학적 에너지는 보존되므로 용수철이 변형된 길이를 x, 용수철 상수를 k, 음파 발생기의 최대 속력을 V라고 하면 $\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}mV^2$에서 $V=x\sqrt{\frac{k}{m}}$이다. 용수철 상수는 (나)가 (가)의 4배이므로 음파 발생기의 최대 속력 V는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 음파 발생기가 O에서 Q로 이동하는 동안 음파 측정기가 측정하는 소리의 진동수 $f''=\frac{v}{v-v_S}f$이고, v_S는 감소한다. 이때 v_S의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 이동하는 동안 $v-v_S$의 값은 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 따라서 음파 측정기가 측정하는 소리의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. 음파 발생기가 P와 Q를 왕복 운동하는 동안 측정하는 소리의 진동수는 $\frac{v}{v\mp v_S}f$이다. v_S의 최댓값은 (나)에서가 (가)에서보다 2배 크지만, 평형점 O를 기준으로 음파 측정기의 운동 방향에 따라 v_S의 부호가 달라지므로 음파 측정기가 측정하는 소리의 진동수는 (나)에서가 (가)에서보다 항상 크지는 않다. 예를 들어 음파 발생기가 Q에서 O로 이동할 때 음파 측정기가 측정하는 소리의 진동수는 $\frac{v}{v+v_S}f$이고, v_S은 증가한다. 이 과정에서 $v+v_S$의 값은 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 음파 측정기가 측정하는 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

02 꼼꼼 문제 분석

검사기에서 방출된 초음파의 진동수	검사기로 되돌아온 초음파의 진동수	정지한 혈액 속에서 초음파의 속력
f_0	f	V

혈액 속에서 초음파가 혈액과 같은 방향으로 진행할 때: $V+v$
혈액 속에서 초음파가 혈액과 반대 방향으로 진행할 때: $V-v$

- 검사기에서 방출된 초음파가 혈액 안의 한 지점에 도달할 때는 정지한 음원에서 발생한 초음파가 멀어지는 관찰자에 도달하는 상황과 같다.
- 초음파가 혈액에서 반사되어 검사기로 되돌아올 때는 멀어지는 음원에서 발생한 초음파가 정지해 있는 관찰자에 도달하는 상황과 같다.

선택지 분석

ㄱ. 검사기에서 방출된 초음파가 혈액 안의 한 지점에 도달할 때까지의 초음파의 진동수는 $\frac{V}{V+v}f_0$이다.

ㄴ. $f=\frac{V-v}{V+v}f_0$이다.

ㄷ. v는 V보다 작다.

전략적 풀이 ❶ 초음파와 혈액의 운동 방향에 따라 혈액 안에서 초음파의 속력이 달라짐을 이용한다.

ㄱ. 검사기에서 방출된 초음파가 혈액 안의 한 지점에 도달할 때까지는 정지해 있는 음원에서 발생한 초음파가 멀어지는 관찰자에 도달하는 상황과 같다. 이때 초음파와 같은 방향으로 움직이는 혈액 속에서 초음파의 속력은 $V+v$이므로 검사기에서 방출된 초음파가 혈액 안의 한 지점에 도달할 때까지의 초음파의 진동수를 f_1이라고 하면 $f_1=\frac{(V+v)-v}{V+v}f_0=\frac{V}{V+v}f_0$ ⋯ ㉠이다.

❷ 혈액에서 반사되어 검사기로 되돌아오는 초음파는 멀어지는 음원에서 발생한 초음파가 정지해 있는 관찰자에게 도달하는 상황과 같음을 이해한다.

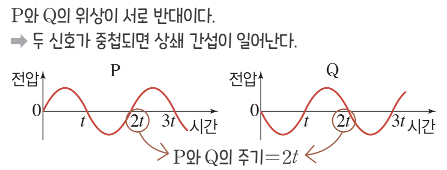
ㄴ. 혈액에서 반사되어 검사기로 되돌아오는 초음파는 멀어지는 음원에서 발생한 초음파가 정지해 있는 관찰자에게 도달하는 상황과 같다. 이때 혈액과 초음파의 운동 방향은 서로 반대이므로 초음파의 속력은 $V-v$이다. 검사기에서 방출된 초음파가 혈액 안의 한 지점에 도달할 때까지의 초음파의 진동수는 f_1이므로

$f=\frac{V-v}{(V-v)+v}f_1=\frac{V-v}{V}f_1$ ⋯ ㉡이다.

㉡에 ㉠을 대입하면 $f=\frac{V-v}{V+v}f_0$이다.

ㄷ. $f=\frac{V-v}{V+v}f_0$을 혈액의 속력 v로 정리하면 $v=\frac{f_0-f}{f_0+f}V$이다. 따라서 v는 V보다 작다.

03 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. P의 주기는 $2t$이다.

ㄴ. '같은'은 ㉠으로 적절하다.

ㄷ. '작다'는 ㉡으로 적절하다. 크다

전략적 풀이 ❶ 전압-시간 그래프로 신호의 주기를 파악한다.

ㄱ. 전압-시간 그래프에서 P가 1번 진동하는 데 걸린 시간이 $2t$이므로 P의 주기는 $2t$이다.

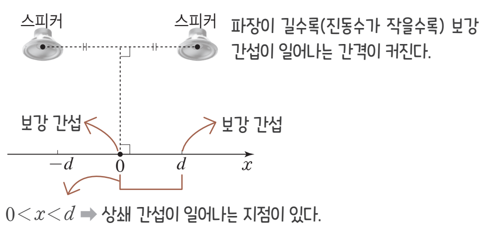
❷ 두 개의 스피커에서 음파가 같은 위상으로 발생할 때, 두 스피커로부터 거리가 같은 지점에서 보강 간섭이 일어남을 이해한다.

ㄴ. 과정 (다)에서는 A, B에 P가 입력되어 같은 위상의 소리가 발생하고 있으므로 경로차가 0인 지점에서는 보강 간섭이 일어나 소리의 세기가 가장 크다. 따라서 '같은'은 ㉠으로 적절하다.

❸ 두 개의 스피커에서 음파가 반대 위상으로 발생할 때, 두 스피커로부터 거리가 같은 지점에서 상쇄 간섭이 일어남을 이해한다.

ㄷ. 과정 (라)에서는 위상이 서로 반대인 P와 Q가 중첩되므로 상쇄 간섭이 일어나 소리의 세기가 0이 된다. 과정 (마)에서는 B에서 Q의 신호만이 발생하고, 소리의 세기가 가장 큰 지점에 소음 측정기를 고정하였으므로 소리의 세기가 0보다 크다. 따라서 '크다'가 ㉡으로 적절하다.

04 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

ㄱ. $0<x<d$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.

ㄴ. 진동수가 f보다 작아지는 경우에 $x>d$인 지점에서 첫 번째 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 보강 간섭된 소리의 진동수는 스피커에서 발생한 소리의 진동수보다 크다. 진동수와 같다.

전략적 풀이 ❶ 두 스피커에서 나오는 소리가 같은 위상으로 만날 때 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 만날 때 상쇄 간섭이 일어남을 파악한다.

ㄱ. $x=0$으로부터 거리가 증가함에 따라 보강 간섭과 상쇄 간섭이 교대로 나타난다. $x=0$과 $x=d$에서 보강 간섭이 일어나므로 $0<x<d$에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.

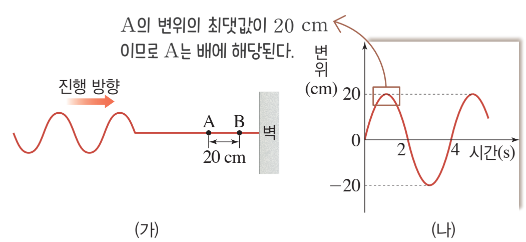
❷ 중첩되는 두 파동의 파장의 변화에 따라 간섭이 일어나는 간격이 달라짐을 이해한다.

ㄴ. 소리의 속력=진동수×파장에서 소리의 속력이 일정할 때 진동수는 파장에 반비례하므로 진동수가 작아지면 파장은 길어진다. 파장이 길어지면 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격이 커진다. 따라서 진동수가 f일 때 $x=d$에서 첫 번째 보강 간섭이 일어났으므로 진동수가 f보다 작아지는 경우에 $x>d$인 지점에서 첫 번째 보강 간섭이 일어난다.

❸ 파동의 진동수는 파원에 의해 결정됨을 이해한다.

ㄷ. 파동의 진동수는 일정하므로 진동수가 같은 두 파동이 중첩하는 경우에도 진동수는 변하지 않는다. 따라서 보강 간섭된 소리의 진동수는 스피커에서 발생한 소리의 진동수와 같다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

① 10 cm ② 20 cm ③ 40 cm
④ 60 cm ⑤ 80 cm

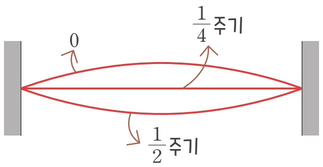
전략적 풀이 ❶ 변위의 최댓값이 진폭의 2배인 지점은 정상파의 배에 해당됨을 파악한다.

(나)에서 A의 변위의 최댓값이 진폭의 2배인 20 cm이므로 A는 정상파의 배에 해당된다.

❷ 정상파에서 이웃한 배와 배 또는 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장에 해당됨을 이용하여 정상파의 파장을 구한다.

A와 B는 배이고, 그 사이에 마디가 1개 있으므로 A와 B 사이의 거리는 이웃한 배와 배 사이의 거리이다. 즉, A와 B 사이의 거리인 20 cm는 정상파의 반 파장에 해당되므로 정상파의 파장은 40 cm이다.

06 꼼꼼 문제 분석



줄이 마루가 된 순간의 시각을 0이라고 하면 직선이 되었을 때는 $\frac{1}{4}$주기, 골이 되었을 때는 $\frac{1}{2}$주기만큼 시간이 지났을 때이다.

선택지 분석

~~①~~ $\frac{1}{10}$초 ~~②~~ $\frac{1}{20}$초 ~~③~~ $\frac{1}{40}$초

~~④~~ $\frac{1}{60}$초 ⑤ $\frac{1}{80}$초

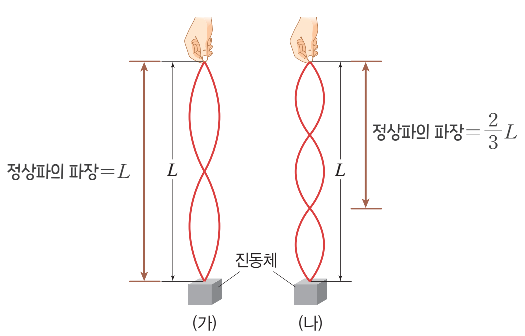
전략적 풀이 ❶ 줄의 진동 주기를 파악한다.

줄이 20 Hz의 진동수로 진동하고, 주기는 진동수와 역수 관계이므로 줄의 주기 $T=\frac{1}{20}$초이다.

❷ 줄의 위치를 바탕으로 줄의 운동 모습이 찍힌 시간 간격을 파악한다.

그림과 같이 3개의 선이 찍히려면 시간 간격이 $\frac{1}{4}$주기가 되어야 한다. 즉, $\frac{T}{4}$, $\frac{3T}{4}$, $\frac{5T}{4}$, … 간격으로 줄의 모습이 찍힌 것을 의미한다. 줄의 주기 $T=\frac{1}{20}$초이므로 $\frac{T}{4}=\frac{1}{80}$초, $\frac{3T}{4}=\frac{3}{80}$초, $\frac{5T}{4}=\frac{5}{80}=\frac{1}{16}$초, … 이다.

07 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

~~ㄱ~~. 줄에서 파동의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 같다.

ㄴ. 줄에서 발생한 정상파의 진동수는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

~~ㄷ~~. (가)에서 발생한 소리의 파장은 L이다. 보다 길다.

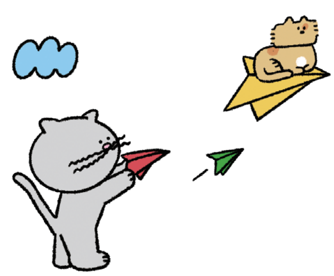
전략적 풀이 ❶ 동일한 줄에 작용하는 장력의 크기가 같을 때 발생한 파동의 속력은 같으므로 파장과 진동수가 반비례 관계임을 이용한다.

ㄱ. 동일한 줄에 같은 질량의 진동체를 매달았으므로 (가)와 (나)에서 줄에 작용하는 장력의 크기는 서로 같다. 따라서 (가)와 (나)에서 줄을 통해 진행하는 파동의 속력은 서로 같다.

ㄴ. 이웃한 마디와 마디 사이의 거리는 반 파장과 같다. (가)에서 줄의 길이는 반 파장의 두 배와 같고, (나)에서 줄의 길이는 반 파장의 3배와 같다. 따라서 줄에서 발생한 정상파의 파장은 (가)에서 L이고, (나)에서 $\frac{2}{3}L$이다. (가)와 (나)의 줄에서 발생한 파동의 속력은 서로 같으므로 줄에서 발생한 정상파의 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 정상파의 진동수는 (가)에서가 (나)에서의 $\frac{2}{3}$배이다.

❷ 정상파의 진동수와 소리의 진동수는 서로 같음을 이용하여 파동의 속력은 파장에 비례함을 파악한다.

ㄷ. (가)에서 진동체의 진동수와 소리의 진동수는 서로 같으므로 파동의 속력은 파장에 비례한다. 소리의 속력은 줄에 생긴 파동의 속력보다 크므로 (가)에서 발생한 소리의 파장은 L보다 길다.



Memo

Memo