

기술  
PICK

# 정답과 해설

역학과 에너지

# 01 힘의 합성

## 빈출 자료 보기

005쪽

001 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

001 (가)에서 A, B의 질량을 각각  $m_A$ ,  $m_B$ 라고 하면 A에 작용하는 힘은 빗면 아래쪽으로  $m_A g \sin \theta$ 이고, B에 작용하는 힘은  $m_B g$ 이다. A와 B가 정지해 있으므로  $m_A g \sin \theta = m_B g$ 이다. 경사각이  $30^\circ$ 이므로  $\frac{1}{2} m_A g = m_B g$ 이다. 따라서 B의 질량이  $m$ 이므로 A의 질량은  $2m$ 이다.

다. (나)에서 A와 B의 가속도의 크기는  $\frac{2mg - \frac{1}{2}mg}{2m + m} = \frac{1}{2}g$ 이다. 따라서 B가 받는 알짜힘의 크기  $F = ma = \frac{1}{2}mg$ 이다.

**바로알기** | (2) (가)에서 A가 정지해 있으므로 실이 A를 당기는 힘은 A의 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기와 같다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $mg$ 이다.

## 난이도별 필수 기출

006쪽~013쪽

- 002 ④    003 ① 나, 다, 바, ㉠, ㉡, ㉢, ㉣    004 ③  
 005 ②, ⑥    006 ③    007 해설 참조    008 해설 참조  
 009 15    010 ⑤    011 ③    012 ③    013 ⑤    014 ③  
 015 ①    016 ②    017 ③    018 ③    019 ④    020 ②  
 021 ⑤    022 ④    023 ⑤    024 ③    025 ③    026 ⑤  
 027 해설 참조    028 ④    029 ⑤    030 ①, ②    031 ①  
 032 ②    033 ③    034 ⑤    035 해설 참조

002 나. 길이, 질량, 시간과 같이 크기만으로 표시할 수 있는 물리량은 스칼라량이다. 따라서 ①은 스칼라량이다.

다. 두 개 이상의 벡터를 같은 효과를 갖는 하나의 벡터로 나타내는 것을 벡터의 합성이라고 한다. 합성할 때는 평행사변형법과 삼각형법을 이용한다.

**바로알기** | 나. ㉠은 벡터량이다. 벡터는 한 개의 벡터를 두 개 이상의 벡터로 나눌 수 있다.

003 ①은 스칼라량이므로 질량, 길이, 시간이 해당한다. 따라서 나, 다, 바이 ①에 해당한다.

㉠은 벡터량이므로 변위, 가속도, 힘이 해당한다. 따라서 나, 르, ㉢이 ㉠에 해당한다.

004 나.  $\vec{A}$ 는 수평 방향과 수직 방향으로 각각 눈금 3칸(3)이므로  $\vec{A}$ 의 크기는  $\sqrt{3^2 + 3^2} = 3\sqrt{2}$ 이다.

나.  $\vec{A} + \vec{B} + 3\sqrt{2}\vec{C} = \vec{B}$ 이다. 따라서  $\vec{A} + \vec{B} + 3\sqrt{2}\vec{C}$ 의 방향은  $\vec{B}$ 의 방향과 같다.

**바로알기** | 다.  $\vec{A} + \vec{B}$ 는 수평 방향으로 눈금 5칸(5), 수직 방향으로 눈금 3칸(3)이므로  $\vec{A} + \vec{B}$ 의 크기는  $\sqrt{5^2 + 3^2} = \sqrt{34}$ 이다.  $\vec{A} - \vec{B}$ 는 수평 방향으로 눈금 1칸(1), 수직 방향으로 눈금 3칸(3)이므로  $\vec{A} - \vec{B}$ 의 크기는  $\sqrt{1^2 + 3^2} = \sqrt{10}$ 이다. 따라서  $\vec{A} + \vec{B}$ 의 크기는  $\vec{A} - \vec{B}$ 의 크기의 3배가 아니다.

005 ①  $\vec{A} + \vec{B} = \vec{F}$ 이고  $\vec{B} + \vec{E} = \vec{A}$ 이므로  $\vec{A} + \vec{B}$ 의 크기는  $\vec{B} + \vec{E}$ 의 크기의  $\sqrt{2}$ 배이다.

③  $\vec{B} + \vec{F} + \vec{H}$ 에서  $\vec{F} + \vec{H} = 0$ 이므로  $\vec{B} + \vec{F} + \vec{H} = -\vec{D}$ 이다.

④  $\vec{E}$ 와  $\vec{F}$ 를 평행사변형법으로 합성하면  $\vec{A}$ 의 2배이다. 따라서  $\vec{E} + \vec{F} = 2\vec{A}$ 이다.

⑤  $\vec{A}$ 와  $\vec{B}$ 를 평행사변형법으로 합성하면  $\vec{F}$ 이다.  $\vec{F}$ 는  $\vec{H}$ 와 크기는 같고, 방향이 반대인 벡터이므로  $\vec{A} + \vec{B} = -\vec{H}$ 이다.

**바로알기** | ②  $\vec{D} + \vec{C} = \vec{H}$ 이고,  $\vec{D} - \vec{E} = \vec{C}$ 이므로 다른 벡터이다.

⑥  $\vec{E}$ 와  $\vec{F}$ 를 평행사변형법으로 합성하면  $\vec{A}$ 의 2배이므로  $\vec{E} + \vec{F} = 2\vec{A}$ 이고,  $\vec{C}$ 는  $\vec{A}$ 와 크기는 같고 방향이 반대인 벡터이므로  $-\vec{A}$ 이다. 따라서  $\vec{E} + \vec{F} + \vec{C} = 2\vec{A} - \vec{A} = \vec{A}$ 이다.

006  $\vec{A} - \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$ 는 수평 방향으로 눈금 3칸(3), 수직 방향으로 눈금 1칸(1)이므로  $\vec{A} - \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$ 의 크기는  $\sqrt{3^2 + 1^2} = \sqrt{10}$ 이다.

007 **모범 답안** 벡터  $\vec{A}$ 를 직각 좌표를 이용하여 벡터의 수평 성분  $\vec{A}_x$ 와 수직 성분  $\vec{A}_y$ 로 분해하면 크기가 각각  $A_x = A \cos 30^\circ$ 이고,  $A_y = A \sin 30^\circ$ 이다. 따라서  $A_x = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3}(\text{m})$ 이고,  $A_y = 20 \times \frac{1}{2} = 10(\text{m})$ 이다.

| 채점 기준                                                          | 배점    |
|----------------------------------------------------------------|-------|
| $\vec{A}$ 의 x성분의 크기 $A_x$ 와 y성분의 크기 $A_y$ 를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우 | 100 % |
| 풀이 과정 없이 $\vec{A}$ 의 x성분의 크기 $A_x$ 와 y성분의 크기 $A_y$ 만 옳게 쓴 경우   | 50 %  |

008 **모범 답안**  $\vec{F}_2$ 와  $\vec{F}_3$ 의 합력은  $+x$  방향으로 4 N,  $+y$  방향으로 1 N이다.  $\vec{F}_1$ 는  $-x$  방향으로 3 N이다. 따라서  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$ 의 합력은  $+x$  방향으로 1 N,  $+y$  방향으로 1 N이므로, 합력의 크기는  $\sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}(\text{N})$ 이다.

| 채점 기준                              | 배점    |
|------------------------------------|-------|
| 벡터의 합성을 이용하여 세 힘의 합력의 크기를 옳게 구한 경우 | 100 % |
| 풀이 과정 없이 합력의 크기만 옳게 쓴 경우           | 50 %  |

009  $\vec{F}_1$ 과  $\vec{F}_2$ 의 합력의 크기는  $\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta} = \sqrt{9^2 + 12^2 + 2 \times 9 \times 12 \times \cos 90^\circ} = 15(\text{N})$ 이다. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다. 따라서  $\vec{F}_3$ 의 크기는 15 N이다.

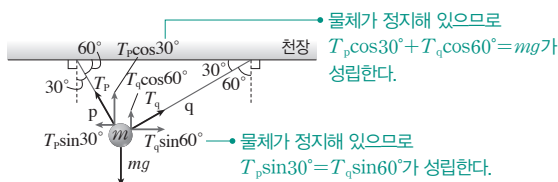
010 나. (가)에서 A와 B에 작용하는 합력의 크기와 물체의 무게는 같다. 동일한 용수철저울이므로 하나의 용수철저울에 작용하는 힘의 크기는 물체 무게의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 물체의 무게를  $w$ 라고 하면  $T_{(가)} = \frac{1}{2}w$ 이다.

나. (나)에서 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 합력은 0이다. 따라서 A와 B에 작용하는 합력의 크기는 물체의 무게와 같다.

다. (나)에서 A, B에 작용하는 합력의 크기가  $w$ 이므로  $T_{(나)} \cos 30^\circ = \frac{1}{2}w$ 에서  $T_{(나)} = \frac{\sqrt{3}}{2}w$ 이다. 따라서  $\frac{T_{(가)}}{T_{(나)}} = \frac{\frac{1}{2}w}{\frac{\sqrt{3}}{2}w} = \frac{\sqrt{3}}{3}$ 이다.

**011** (가)에서 p, q가 물체를 당기는 힘의 크기를 각각  $T$ ,  $\sqrt{2}T$ 라고 할 때, 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 수평 방향으로는  $\sqrt{2}T\cos 45^\circ = F_1$ 이고, 연직 방향으로는  $T + \sqrt{2}T\cos 45^\circ = mg$ 이다. 따라서  $T = \frac{1}{2}mg$ 이므로  $F_1 = \frac{1}{2}mg$ 이다. (나)에서 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기는  $mg\sin 45^\circ$ 이고, 물체가 정지해 있으므로  $F_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}mg$ 이다. 따라서  $\frac{F_2}{F_1} = \sqrt{2}$ 이다.

**012**



A에 작용하는 알짜힘은 0이므로 p, q가 물체에 작용하는 힘의 크기를 각각  $T_p$ ,  $T_q$ 이면  $T_p\cos 30^\circ + T_q\cos 60^\circ = mg$ ,  $T_p\sin 30^\circ = T_q\sin 60^\circ$ 이다. 따라서  $T_q = \frac{1}{\sqrt{3}}T_p$ 이므로  $T_p = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$ ,  $T_q = \frac{1}{2}mg$ 이다.

**013** ㄱ. 마찰이 없는 경사각이  $30^\circ$ 인 빗면에 놓인 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $mg\sin 30^\circ = 2 \times 10 \times \frac{1}{2} = 10(\text{N})$ 이다.

ㄴ. 빗면에 수직인 방향으로 작용하는 힘  $F_y = mg\cos 30^\circ = 2 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 10\sqrt{3}(\text{N})$ 이고,  $F_y$ 와 수직 항력이 힘의 평형을 이루므로 물체에 작용하는 수직 항력의 크기는  $10\sqrt{3} \text{ N}$ 이다.

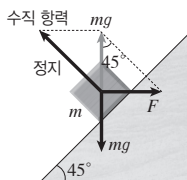
ㄷ.  $F_x = mg\sin 30^\circ$ 이고  $F_y = mg\cos 30^\circ$ 이므로 경사각이  $30^\circ$ 보다 커지면  $F_x$ 는 증가하고,  $F_y$ 는 감소한다.

**014** ㄱ. A, B가 모두 정지해 있으므로 중력에 의해 빗면에 나란한 방향으로 A, B 각각에 작용하는 힘의 크기는 같다. 따라서 A의 질량을  $M$ 이라고 할 때  $Mg\sin 30^\circ = mg\sin 60^\circ$ 이므로  $M = \sqrt{3}m$ 이다.

ㄴ. 수평면과 이루는 경사각이  $\theta$ 인 빗면이 빗면에 놓여 있는 질량이  $m$ 인 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는  $mg\cos\theta$ 이다. 따라서 빗면이 B를 수직으로 떠받치는 힘의 크기  $mg\cos 60^\circ = \frac{1}{2}mg$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 수평면과 이루는 경사각이  $\theta$ 인 빗면에 놓여 있는 물체의 가속도의 크기는  $g\sin\theta$ 이다. A, B를 연결하는 실을 끊었을 때 A의 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}g$ 이고, B의 가속도의 크기는  $\frac{\sqrt{3}}{2}g$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A의  $\sqrt{3}$ 배이다.

**015** • 그림과 같이 물체에 작용하는 중력, 수직 항력, 힘  $F$ 가 평형을 이루려면, 수직 항력과  $\vec{F}$ 의 합력은 연직 위쪽으로 크기가  $mg$ 이어야 한다.



$\tan 45^\circ = \frac{F}{mg}$ 이므로  $F = mg\tan 45^\circ = mg$ 이다.

**016** ㄴ.  $F_1 = \sqrt{3}F_2 = \sqrt{3}F_3$ 이므로  $F_2 = F_3 = \frac{\sqrt{3}}{3}F_1$ 이다. 과정 I에서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $\frac{2\sqrt{3}}{3}F_1 - F_1 = \left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1\right)F_1$

이므로 질량이  $m$ 인 물체의 가속도의 크기는  $\left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1\right)F_1 = ma$ 에서  $a = \left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - 1\right)\frac{F_1}{m}$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 크기가 같은  $F_2$ 와  $F_3$  사이의 각이  $60^\circ$ 일 때 물체가 정지해 있다. 따라서  $F_1$ 의 크기는  $F_2$ 와  $F_3$ 의 합력의 크기와 같으므로  $F_1 = 2F_2\cos 30^\circ$ 에서  $F_1 = \sqrt{3}F_2 = \sqrt{3}F_3$ 이다.

ㄷ. 과정 III에서  $F_2$ 와  $F_3$ 의 합력의 크기는  $\sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}F_1\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}F_1\right)^2} = \sqrt{\frac{2}{3}}F_1$ 이다. 따라서 과정 I에서는  $F_2$ 와  $F_3$ 의 합력의 크기가  $F_1$ 보다 크고, 과정 III에서는  $F_2$ 와  $F_3$ 의 합력의 크기가  $F_1$ 보다 작다. 따라서 I과 III에서 가속도의 방향은 서로 반대이다.

**017** ㄱ.  $\vec{F}_1$ 을  $x$ 성분과  $y$ 성분으로 분해하면  $+x$  방향으로  $2 \text{ N}$ ,  $+y$  방향으로  $2 \text{ N}$ 이므로  $\vec{F}_1$ 의 크기는  $\sqrt{2^2 + 2^2} = 2\sqrt{2}(\text{N})$ 이다.

ㄴ.  $\vec{F}_1$ 과  $\vec{F}_2$ 의 합력의 크기는  $+x$  방향으로  $4 \text{ N}$ 이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $+x$  방향으로  $1 \text{ N}$ 이다.

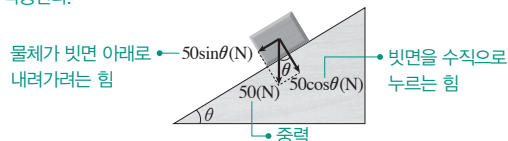
**바로알기** | ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가  $1 \text{ N}$ 이므로 물체의 가속도의 크기  $a = \frac{F}{m} = \frac{1 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = \frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이다.

**018** ㄱ. 물체가 일정한 속도로 등속도 운동을 하므로, 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 운동 방향과 나란한 방향으로 작용하는 알짜힘도 0이다. 따라서  $10 \text{ N} = 20 \text{ N} \times \cos\theta$ 이므로  $\theta = 60^\circ$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 연직 방향으로 작용하는 알짜힘도 0이다. 수평면이 물체를 떠받치는 힘의 크기를  $N$ 이라고 하면  $20\sin 60^\circ + N = 10m$ 이므로  $10\sqrt{3} + N = 10m$ 에서  $m$ 은  $\sqrt{3} \text{ kg}$ 보다 크다.

**019** • 물체에 작용하는 중력을 빗면에 나란한 성분과 빗면에 수직인 성분으로 분해하면 빗면 아래 방향으로  $50\sin\theta$ , 빗면에 수직 방향으로  $50\cos\theta$ 의 힘이 작용한다.

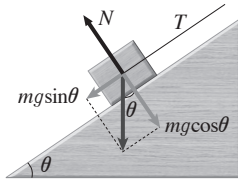


물체가 정지해 있기 위해서는 빗면과 나란한 성분의 크기가  $50\sin\theta = 30$ 이어야 하므로  $\sin\theta = \frac{3}{5}$ 이다. 각  $\theta$ 인 빗면에서 물체의 가속도의 크기는  $g\sin\theta$ 이므로 가속도의 크기는  $10 \times \frac{3}{5} = 6(\text{m/s}^2)$ 이다.

**020** ㄷ. 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘과 물체가 빗면을 수직으로 누르는 힘은 작용 반작용의 두 힘이다. 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘은 (가)에서  $m_1g\cos\theta_1$ 이고, (나)에서  $m_2g\cos\theta_2$ 이다.  $m_1 > m_2$ 이고,  $\cos\theta_1 > \cos\theta_2$ 이므로 빗면이 물체를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**바로알기** | ㄱ, ㄴ. 빗면 위에 물체가 정지해 있거나 등속도 운동을 할 때, 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 힘의 성분을 빗면에 나란한 방향과 빗면에 수직인 방향으로 나누면, 빗면에 나란한 방향의 힘인  $T$ 와

$mg\sin\theta$ 는 평형을 이루고, 빗면에 수직인 방향의 힘인  $N$ 과  $mg\cos\theta$ 도 평형을 이룬다.



실이 물체를 당기는 힘의 크기는 (가)에서  $m_1g\sin\theta_1$ 이고, (나)에서  $m_2g\sin\theta_2$ 이며  $T=mg$ 이다. 따라서  $m_1g\sin\theta_1=m_2g\sin\theta_2=mg$ 에서  $\sin\theta_1<\sin\theta_2$ 이므로  $m_1>m_2$ 이다.

**021** ㄱ. A의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서의  $\frac{4}{5}$ 배이므로

$$5 \times \left( \frac{m_A g + \frac{1}{2} m_B g}{m_A + m_B} \right) = 4 \times \left( \frac{m_B g + \frac{1}{2} m_A g}{m_A + m_B} \right) \text{에서 } m_B = 2m_A \text{이다.}$$

따라서 질량은 B가 A의 2배이므로 B의 질량은  $2m$ 이다.

ㄴ. (가)에서 A, B의 질량이 각각  $m, 2m$ 이므로 A의 가속도의 크기는  $\frac{mg+mg}{m+2m}=\frac{2}{3}g$ 이다.

ㄷ. (나)에서 B의 가속도의 크기는  $\frac{2mg+\frac{1}{2}mg}{m+2m}=\frac{5}{6}g$ 이므로, B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $2m \times \frac{5}{6}g = \frac{5}{3}mg$ 이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는  $2mg - T = \frac{5}{3}mg$ 에서  $T = \frac{1}{3}mg$ 이다.

**022** ㄱ. A가 빗면 아래 방향으로 받는 힘의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기가 같다. 따라서  $3mg\sin\theta=2mg$ 에서  $\sin\theta=\frac{2}{3}$ 이고,  $\cos\theta=\frac{\sqrt{5}}{3}$ 이다. 따라서 (가)에서 빗면이 A를 수직으로 떠받치는 힘의 크기는  $3mg \times \frac{\sqrt{5}}{3} = \sqrt{5}mg$ 이다.

ㄷ. (나)에서 A의 가속도의 크기는  $g\sin\theta=g \times \frac{2}{3}=\frac{2}{3}g$ 이고, B의 가속도의 크기는  $g$ 이다. 따라서 (나)에서 가속도의 크기는 A가 B의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3mg\sin\theta=3mg \times \frac{2}{3}=2mg$ 이고, B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $2mg$ 이다. 따라서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 같다.

**023** ㄱ. 두 물체는 같은 줄에 연결되어 있으므로 같은 크기의 가속도로 운동한다. 따라서 두 물체의 가속도는  $30\text{ N} - 10\text{ N} = (1\text{ kg} + 3\text{ kg}) \times a$ 에서  $a=5\text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ, ㄷ. A에 작용하는 알짜힘에 대한 운동 방정식을 통해 줄에 걸리는 힘을 구하면  $1\text{ kg} \times 5\text{ m/s}^2 = T - 10\text{ N}$ 이므로  $T=15\text{ N}$ 이고, 이는 줄이 B를 당기는 힘과 같다. 따라서 용수철저울의 눈금은 두 개의 줄이 도르레를 당기는 힘과 같은  $30\text{ N}$ 을 가리킨다.

**024** ㄱ. (가)와 (나)에서 A, B를 한 덩어리로 볼 때 (가)에서의 가속도를  $a$ 라 하고 한 덩어리에 작용하는 힘에 의한 운동 방정식을 각각 적용하면  $F-4mg=5ma$ ,  $4mg+F-mg=10ma$ 이다. 두 식을 연

립하면  $F=11mg$ 이다. 따라서 (가)에서 A의 가속도의 크기  $a=\frac{7}{5}g$ 이다.

ㄴ. (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면,  $4mg+F-T=8ma$ 에서  $4mg+11mg-T=\frac{56}{5}mg$ 이므로  $T=\frac{19}{5}mg$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 알짜힘의 크기  $F=ma$ 이므로 (가)와 (나)에서 B가 받는 알짜힘의 크기는 가속도의 크기에 비례한다. 따라서 B가 받는 알짜힘의 크기는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

**025** ㄱ. A에 작용하는 두 힘은 방향이 반대이므로 A에 작용하는 알짜힘은  $+x$  방향이고 크기가  $F$ 이다. B에 작용하는 힘 중  $x$ 축과  $45^\circ$ 를 이루는 두 힘을 합성하면  $-x$  방향으로  $\sqrt{2}F$ 이다. 또 B에는  $+x$  방향으로 크기가  $2F$ 인 힘이 작용하므로 B에 작용하는 알짜힘은  $+x$  방향이고 크기가  $(2-\sqrt{2})F$ 이다. A, B의 가속도의 크기가 같으므로 질량은 물체에 작용하는 알짜힘의 크기에 비례한다. 따라서 질량은 B가 A의  $(2-\sqrt{2})$ 배이다.

ㄴ. A와 B에 작용하는 알짜힘의 방향이  $+x$  방향이므로 가속도의 방향은 같다.

**바로알기** | ㄷ. B에 작용하는 알짜힘의 크기  $(2-\sqrt{2})F$ 는 A에 작용하는 알짜힘의 크기는  $F$ 보다 작다.

**026** ㄱ. (가)에서 A와 B의 가속도의 크기는  $\frac{mg}{2m+m}=\frac{1}{3}g$ 이다.

ㄴ. (나)에서 실이 A와 B를 당기는 힘의 크기는 같다. (나)에서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는  $\frac{1}{3}mg$ 이다.

ㄷ. 빗면의 경사각을  $\theta$ 라고 할 때, (나)에서 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기는  $2mg\sin\theta=mg$ 이므로 빗면의 경사각  $\theta=30^\circ$ 이다.

**027** **모범 답안** 빗면 위에 물체가 정지해 있거나 등속도 운동을 할 때, 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 힘의 성분을 빗면에 나란한 방향과 빗면에 수직인 방향으로 나누면, 빗면에 나란한 방향의 힘인 마찰력과  $mg\sin\theta$ 는 평형을 이루고, 빗면에 수직인 방향의 힘인 수직 항력과  $mg\cos\theta$ 도 평형을 이룬다. 따라서 빗면이 A를 떠받치는 힘의 크기는  $mg\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}mg$ 이고, B의 가속도의 크기는  $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}-\frac{1}{2}\right)mg=ma$ 이므로  $\left(\frac{\sqrt{3}-1}{2}\right)g$ 이다.

| 채점 기준                                                 | 배점    |
|-------------------------------------------------------|-------|
| 빗면이 A를 떠받치는 힘의 크기와 B의 가속도의 크기를 풀이 과정과 함께 모두 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 빗면이 A를 떠받치는 힘의 크기와 B의 가속도의 크기는 옳게 썼으나 풀이 과정이 미흡한 경우   | 50 %  |

**028** (가)에서 A에 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘은  $2mg\sin 30^\circ=mg$ 이므로 p가 A를 당기는 힘의 크기는  $mg$ 이고, p가 B를 당기는 힘의 크기  $T_{(p)}=mg$ 이다. (나)에서 p가 A를 당기는 힘과 p가 B를 당기는 힘을  $T_{(p)}$ , A와 B의 가속도 크기를  $a$ 라고 할 때, A와 B에 뉴턴 운동 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$A: F - T_{(p)} = 2ma \cdots \textcircled{1}$$

$$B: \frac{1}{2}F + T_{(p)} = ma \cdots \textcircled{2}$$

식 ①, ②에서  $a = \frac{F}{2m}$ 이다.  $a = \frac{F}{2m}$ 를 ①에 대입하면  $T_{(4)} = 0$ 이다. 따라서  $T_{(7)} - T_{(4)} = mg - 0 = mg$ 이다.

**029** 같은 시간 1초 동안에 물체는  $+x$  방향으로 3 m씩 이동하므로 등속도 운동을 한다. 따라서 물체는  $+y$  방향으로 등가속도 운동을 한다. 등가속도 운동의 식  $s = \frac{1}{2}at^2$ 을 이용하면  $1 = \frac{1}{2} \times a \times 1$ 이므로 가속도의 크기  $a = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기  $F = ma = 2 \times 2 = 4(\text{N})$ 이다.

**030** ① (나)에서 A와 B의 질량을  $m$ 이라고 하면 q를 끊은 후 A, B의 가속도의 크기  $a = \frac{mg}{2m} = \frac{1}{2}g$ 이다. q를 끊은 후 B, C의 가속도의 크기가 같으므로 C의 가속도의 크기도  $\frac{1}{2}g$ 이다. 따라서 빗면에서 운동하는 C의 가속도의 크기  $g \sin \theta = \frac{1}{2}g$ 이므로  $\theta = 30^\circ$ 이다.

② (가)에서 A, B, C가 정지해 있으므로 A에 작용하는 중력과 C에 빗면 아래쪽으로 작용하는 힘의 크기가 같다.  $mg = m_C g \sin 30^\circ$ 이므로 C의 질량  $m_C = 2m$ 이다. 따라서 질량은 C가 B의 2배이다.

**바로알기** | ③ (가)에서 p가 A를 당기는 힘과 B를 당기는 힘의 크기는 같다. 따라서 A가 정지해 있으므로 p가 A와 B를 당기는 힘의 크기는  $mg$ 이다. (나)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘의 크기  $\frac{1}{2}mg$ 와 같다. 따라서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서 가 (나)에서의 2배이다.

④ C가 놓여 있는 빗면의 경사각이  $30^\circ$ 이므로 q를 끊었을 때, C의 질량을  $2m$ 이라고 하면 C에 작용하는 알짜힘은  $2mg \sin 30^\circ$ 이므로  $2mg \sin 30^\circ = 2ma$ 에서 C의 가속도의 크기는  $\frac{1}{2}g$ 이다.

⑤ A의 질량을  $m$ 이라고 하면 (가)에서 A에 작용하는 중력과 p가 A를 당기는 힘의 크기가 같으므로 (가)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기는  $mg$ 이고, (나)에서 A의 가속도의 크기가  $\frac{1}{2}g$ 이므로 A에 작용하는 알짜힘은 중력과 같은 방향으로  $\frac{1}{2}mg$ 이다. 따라서  $mg - T = \frac{1}{2}mg$ 이므로 (나)에서 p가 A를 당기는 힘의 크기는  $\frac{1}{2}mg$ 이다. 따라서 p가 A를 당기는 힘의 크기는 (가)에서 가 (나)에서의 2배이다.

⑥ (가)에서 p를 끊었을 때, A의 가속도의 크기는 중력 가속도  $g$ 이고, B와 C의 가속도의 크기는  $\frac{mg}{m+2m} = \frac{1}{3}g$ 이다. 따라서 (가)에서 p를 끊었을 때 가속도의 크기는 A가 C의 3배이다.

**031** ㄱ. (가)에서 야구공은 운동 방향과 빠르기가 변하는 가속도 운동을 한다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서 배구공이 가장 높이 올라가면 속력은 0이 되지만 배구공에는 중력이 작용한다.  
ㄷ. (가)와 (나)에서 야구공과 배구공의 가속도는 중력 가속도로 같다.

**032** ㄴ. B의 운동 방향과 같은 연직 아래 방향으로 중력이 작용한다.  
**바로알기** | ㄱ. 최고점에서 A의 운동 방향은 수평면에 나란한 방향이고, 가속도의 방향은 중력의 방향과 같은 연직 아래 방향이다. 따라서 최고점에서 A의 운동 방향과 가속도의 방향은 다르다.  
ㄷ. 등속 원운동을 하는 물체는 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다. 따라서 C에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

**033** ㄱ. A, B, C가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. B의 질량을  $m_B$ 라고 하면  $3mg = m_B g + 2mg$ 이므로 B의 질량은  $m$ 이다.

ㄴ. B의 질량이  $m$ 이므로 (나)에서 A와 B의 가속도의 크기는  $\frac{3mg - mg}{3m + m} = \frac{1}{2}g$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. (가)에서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 p가 A를 당기는 힘의 크기와 같은  $3mg$ 이고, (나)에서 B의 가속도가  $\frac{1}{2}g$ 이므로 B에 작용하는 알짜힘은  $\frac{1}{2}mg$ , p가 B를 당기는 힘의 크기는  $\frac{3}{2}mg$ 이다. 따라서 p가 B를 당기는 힘의 크기는 (가)에서 가 (나)에서의 2배이다.

**034** ㄱ. 등가속도 운동인 B와 등속 원운동의 분류는 ‘속력은 일정하고 운동 방향이 변하는 운동인가?’가 적절하다.

ㄴ. A는 등속도 운동이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. 자유 낙하 하는 물체의 운동은 속력은 변하고 운동 방향이 일정한 운동이므로 B에 해당한다.

**035** **모범 답안** 물체가  $+x$  방향으로 등가속도 운동을 하므로  $y$  방향으로 작용하는 힘의 합력은 0이다. 따라서 ㉠은 3 N이다. 물체가  $+x$  방향으로 가속도의 크기가  $2 \text{ m/s}^2$ 인 등가속도 운동을 하므로  $+x$  방향으로 작용하는 알짜힘의 크기는 4 N이므로 ㉡-2 N=4 N에서 ㉡은 6 N이다. 따라서 ㉠+㉡=9 N이다.

| 채점 기준                       | 배점    |
|-----------------------------|-------|
| ㉠+㉡의 값을 풀이 과정과 함께 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 풀이 과정 없이 ㉠+㉡의 값만 옳게 쓴 경우    | 50 %  |

## 02 포물선 운동

### 빈출 자료 보기

015쪽

**036** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) × (6) ×

**036** 공기 저항을 무시할 때 비스듬히 위로 던진 물체는 수평 방향으로 는 물체에 작용하는 힘이 0이므로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로 는 중력이 작용하므로 등가속도 운동을 한다.

**바로알기** | (4) 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간은 연직 방향의 속력에 의해서 결정된다. 연직 방향의 속력이 클수록 최고점의 높이가 크고 최고점에 도달하는 데 걸린 시간도 크다. 그런데 A와 B는 최고점의 높이가 같으므로 최고점에 도달하는 데 걸린 시간도 같다.

(5) B의 최고점의 높이가 C보다 크므로 운동하는 데 걸린 시간은 B가 C보다 크다. 그런데 수평 방향으로 이동한 거리가 같으므로 수평 방향의 속력은 C가 B보다 크다.

(6) A, B, C의 가속도는 중력 가속도로 같다.

|          |           |             |           |       |
|----------|-----------|-------------|-----------|-------|
| 037 ④    | 038 ③     | 039 ②, ④, ⑥ | 040 ⑤     | 041 ⑤ |
| 042 ③    | 043 ③     | 044 1       | 045 ②     | 046 ⑤ |
| 048 ①    | 049 해설 참조 | 050 ⑤       | 051 ③     |       |
| 052 ①, ⑥ | 053 ③     | 054 ①       | 055 해설 참조 | 056 ⑤ |
| 057 ①    | 058 ④     | 059 ①       | 060 ⑤     | 061 ④ |

**037** ㄴ. 공기 저항을 무시할 때 수평 방향으로 던진 물체는 수평 방향으로는 작용하는 힘이 0이므로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로로는 중력이 작용하므로 등가속도 운동을 한다. ㉠은 등속도 운동이고, ㉡은 등가속도 운동이다.

ㄷ. 물체를 던진 지점의 높이는 2초 동안 자유 낙하 한 거리와 같다. 따라서  $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20(\text{m})$ 이다.

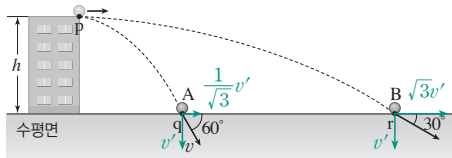
**바로알기** | ㄱ. 등속도 운동은 물체에 작용하는 힘이 0인 경우이다.

**038** ㄱ. A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 20 m를 자유 낙하 한 시간과 같다. 따라서  $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서  $20 = \frac{1}{2} \times 10 \times t^2$ 이므로 걸린 시간  $t = 2$ 초이다.

ㄴ. 2초 동안에 B는 10 m를 등가속도 운동으로 이동한다.  $s = \frac{1}{2}at^2$ 에서  $10 = \frac{1}{2} \times a \times 2^2$ 이므로 B의 가속도의 크기는  $5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 A가 p에서 r까지 운동하는 동안 가속도의 크기는  $10 \text{ m/s}^2$ 이므로 B가 q에서 r까지 운동하는 동안 가속도 크기의 2배이다.

**바로알기** | ㄷ. r에 도달하는 순간 A의 수평 방향의 속력은  $5 \text{ m/s}$ 이고 연직 방향의 속력은  $20 \text{ m/s}$ 이므로 A의 속력은  $\sqrt{5^2 + 20^2} = \sqrt{425}(\text{m/s})$ 이다. r에서 B의 속력  $v = at = 5 \times 2 = 10(\text{m/s})$ 이다. 따라서 r에서 속력은 A가 B의 2배가 아니다.

**039** • 바닥에 도달할 때 A와 B는 연직 방향으로 중력 가속도에 의해서 등가속도 운동을 하므로 속도의 수직 성분은 같다. → 연직 성분을  $v'$ 라고 하면 A의 수평 성분이  $\frac{1}{\sqrt{3}}v'$ 이고, B의 수평 성분은  $\sqrt{3}v'$ 이다.



수평 이동 거리는 속도의 수평 성분에 비례한다.

$$\rightarrow A : B = \frac{1}{\sqrt{3}}v' : \sqrt{3}v' = 1 : 3$$

① A가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간은 A가 높이  $h$ 를 자유 낙하 한 거리와 같다.  $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 이다.

③ 바닥에 도달할 때 속도의 수평 성분은 B가 A의 3배이므로 p에서 r까지의 수평 거리는 p에서 q까지의 수평 거리의 3배이다.

⑤ 수평 방향으로 물체는 등속도 운동을 하므로 높이가  $\frac{h}{2}$  지점을 지날 때 수평 방향의 속력은 B가 A의 3배이다.

**바로알기** | ② 바닥에 도달할 때 속도의 연직 성분은 같다. 속도의 연직 성분의 크기를  $v'$ 라 하면, A의 속도의 수평 성분은  $\frac{1}{\sqrt{3}}v'$ 이고, B의 속도의 수평 성분은  $\sqrt{3}v'$ 이다. 따라서 A와 B가 수평면에 도달하는 순간의 속력은 각각  $\frac{2}{\sqrt{3}}v'$ ,  $2v'$ 이다. 따라서 r에서 B의 속력은  $\sqrt{3}v$ 이다.

④ 수평으로 물체를 던지는 순간부터 수평면에 도달하는 데까지 걸린 시간은 던지는 지점의 높이  $h$ 가 결정한다. 따라서 A와 B를 던지는 지점의 높이가 같으므로 시간은 A와 B가 같다.

⑥ A와 B는 연직 방향으로 중력 가속도  $g$ 로 등가속도 운동을 한다. 따라서 포물선 운동을 하는 동안 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

**040** ㄱ. A의 수평 도달 거리가 20 m이므로  $20 = 10 \times t$ 에서 운동한 시간은 2초이고, 높이는 물체가 2초 동안 자유 낙하 한 거리와 같다.

따라서  $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20(\text{m})$ 이다.

ㄴ. A와 B의 높이가 같으므로 A와 B가 운동한 시간은 2초로 같다. 따라서  $40 = v \times 2$ 에서 ㉠은  $20 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 수평면에 도달하는 순간 B의 수평 방향의 속력은  $20 \text{ m/s}$ 이고 연직 방향의 속력도  $20 \text{ m/s}$ 이므로, 수평면에 도달하는 순간 B의 속력은  $20\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

**041** ㄱ. A의 수평 도달 거리가 20 m이므로  $20 = 10 \times t$ 에서 운동한 시간  $t = 2$ 초이고 높이는 물체가 2초 동안 자유 낙하 한 거리와 같다. 따라서  $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 2^2 = 20(\text{m})$ 이다.

ㄴ. (나)에서 높이가 40 m이므로 물체가 운동한 시간은  $h = \frac{1}{2}gt'^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times t'^2 = 40(\text{m})$ 에서  $t' = 2\sqrt{2}$ 초이다. 따라서  $v_B \times 2\sqrt{2} = 20$ 이므로  $v_B = 5\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. (가)에서 A가 수평면에 도달하는 순간 A의 수평 방향의 속력은  $10 \text{ m/s}$ 이고, 연직 방향의 속력은  $20 \text{ m/s}$ 이므로, (가)에서 A가 수평면에 도달하는 순간의 속력은  $10\sqrt{5} \text{ m/s}$ 이다.

**042** ㄱ. 비스듬히 위로 던진 물체는 수평 방향으로는 속력이 일정한 등속도 운동을, 연직 방향으로는 가속도가 일정한 등가속도 운동을 하므로, ㉠은 속력, ㉡은 가속도이다.

ㄴ. 최고점의 높이는 연직 방향의 속력이 0이 될 때의 높이이므로

$$-2gh = 0 - (v_0 \sin \theta)^2 \text{에서 최고점의 높이 } h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \text{이다.}$$

**바로알기** | ㄷ. 비스듬히 위로 던진 물체의 수평 방향으로 움직인 거리는  $\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 이므로,  $v_0$ 의 속력으로 던질 때 수평 방향으로 이동한 거리는  $\theta = 60^\circ$ 와  $\theta = 30^\circ$ 가 같다.

**043** ㄱ. p에서 B의 수평 방향의 속력과 연직 방향의 속력은  $v$ 로 같다. 따라서 p에서 B의 운동 방향과 수평면이 이루는 각이  $45^\circ$ 이므로 p에서 A의 운동 방향과 수평면이 이루는 각은  $45^\circ$ 보다 크다.

ㄴ. A와 B의 최고점의 높이가 각각  $4h$ ,  $h$ 이므로 A와 B의 연직 방향의 속력의 비는  $2 : 1$ 이다. B의 연직 방향의 속력이  $v$ 이므로 A의 연직 방향의 속력은  $2v$ 이고, p에서 q까지 운동하는 시간의 비는  $2 : 1$ 이다. A와 B의 수평 도달 거리가 같으므로 수평 방향의 속력의 비는  $1 : 2$ 이다. 즉, A의 수평 방향의 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다. A의 수평 방향의 속력이 최고점의 속력이므로 최고점에서 A의 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. p에서 A의 속력은  $\sqrt{\left(\frac{1}{2}v\right)^2 + (2v)^2} = \frac{\sqrt{17}}{2}v$ 이고, B의 속력은  $\sqrt{v^2 + v^2} = \sqrt{2}v$ 이다. 따라서 q에서 A의 운동 에너지는  $\frac{17}{8}mv^2$ 이고 B의 운동 에너지는  $mv^2$ 이므로, B의 운동 에너지는 A의 운동 에너지의  $\frac{8}{17}$ 배이다.

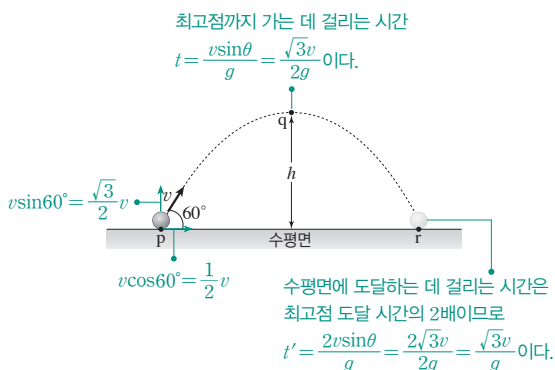
**044** 중력 가속도를  $g$ , 처음 던지는 B의 속력을  $v_0$ 이라고 하면 B의 연직 방향과 수평 방향의 속력은 각각  $\frac{1}{\sqrt{2}}v_0$ 이므로 B가 최고점까지 도달하는 데 걸린 시간은  $0 = \frac{1}{\sqrt{2}}v_0 - gt$ 에서  $t = \frac{v_0}{\sqrt{2}g}$ 이고, 포물선 운동을 하는 데 걸린 총 시간은  $\frac{v_0}{\sqrt{2}g} \times 2 = \frac{\sqrt{2}}{g}v_0$ 이다. A가 빗면을 내려 오는 데 걸린 시간은  $\frac{\sqrt{2}}{g}v_0$ 이고 가속도의 크기가  $g \times \sin 30^\circ = \frac{1}{2}g$ 이다. B가 포물선 운동을 하는 동안 A가 빗면 아래로 이동한 거리는  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}g \times \left(\frac{\sqrt{2}}{g}v_0\right)^2 = \frac{v_0^2}{2g}$ 이므로  $h_1 = \frac{v_0^2}{2g} \times \sin 30^\circ = \frac{v_0^2}{4g}$ 이다. B의 최고점의 높이는 B가  $\frac{v_0}{\sqrt{2}g}$  동안 자유 낙하 한 거리와 같으므로  $h_2 = \frac{1}{2}gt^2$ 에서  $\frac{1}{2} \times g \times \left(\frac{v_0}{\sqrt{2}g}\right)^2 = \frac{v_0^2}{4g}$ 이다. 따라서  $\frac{h_2}{h_1} = \frac{\frac{v_0^2}{4g}}{\frac{v_0^2}{4g}} = 1$ 이다.

**045** ㄷ. 포물선 운동을 하는 동안 운동 에너지의 최솟값은 물체가 최고점에 있을 때이고, 최고점에서의 속력은 수평 방향의 속력과 같다. B의 수평 방향의 속력은  $\frac{1}{4}v$ 이고, C의 수평 방향의 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이다. 따라서 B의 운동 에너지의 최솟값은  $\frac{1}{2} \times 2m \times \frac{v^2}{16} = \frac{1}{16}mv^2$ 이고, C의 운동 에너지의 최솟값은  $\frac{1}{2} \times 3m \times \frac{v^2}{4} = \frac{3}{8}mv^2$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. A와 B의 최고점의 높이가 같으므로 A와 B의 연직 방향의 속력이 같다. C는 최고점의 높이가 A와 B의  $\frac{1}{4}$ 배이므로 연직 방향의 속력은 C가 A와 B의  $\frac{1}{2}$ 배이다. A의 연직 방향의 속력을  $v$ 라고 하면 B, C의 연직 방향의 속력은 각각  $v$ ,  $\frac{1}{2}v$ 이다. A가 최고점까지 올라가는 동안 연직 방향과 수평 방향으로 움직인 거리의 비가 4 : 1이므로 평균 속력의 비도 4 : 1이다. A의 연직 방향의 평균 속력이  $\frac{1}{2}v$ 이므로 수평 방향의 속력은  $\frac{1}{8}v$ 이다. B가 최고점까지 올라가는 동안 연직 방향과 수평 방향으로 움직인 거리의 비가 2 : 1이므로 평균 속력의 비도 2 : 1이다. B의 연직 방향의 평균 속력이  $\frac{1}{2}v$ 이므로 수평 방향의 속력은  $\frac{1}{4}v$ 이다. 따라서 던지는 순간 A의 속력은  $\sqrt{v^2 + \left(\frac{1}{8}v\right)^2} = \frac{\sqrt{65}}{8}v$ 이고, B의 속력은  $\sqrt{v^2 + \left(\frac{1}{4}v\right)^2} = \frac{\sqrt{17}}{4}v$ 이므로 B가 A의 2배가 아니다.

ㄴ. A, B, C는 질량을 다르지만 가속도는 중력 가속도로 같다.

**046**



ㄱ. 중력 가속도를  $g$ 라고 하면 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{\sqrt{3}v}{2g}$ 이고, p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{\sqrt{3}v}{g}$ 이므로 물체가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간과 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 같다.

ㄴ. p에서 수평 방향 속력이  $\frac{1}{2}v$ 이므로 q에서의 속력은  $\frac{1}{2}v$ 이고, r에서의 속력은  $v$ 이다. 따라서 속력은 r에서가 q에서의 2배이다.

ㄷ. 최고점의 높이  $h = \frac{3v^2}{8g}$ 이고, p에서 r까지의 거리는  $\frac{v}{2} \times \frac{\sqrt{3}v}{g} = \frac{\sqrt{3}v^2}{2g} = \frac{4\sqrt{3}}{3}h$ 이다.

**047** ㄱ. B를 던지는 순간 B의 수평 방향과 연직 방향의 속력은 각각  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ ,  $\frac{1}{2}v$ 이다. A의 최고점의 높이는  $\frac{v^2}{2g}$ 이고, B의 최고점의 높이는  $\frac{v^2}{8g}$ 이므로 최고점의 높이는 A가 B의 4배이다.

ㄴ. A의 최고점 도달 시간은  $0 = v - gt$ 에서  $t = \frac{v}{g}$ 이고, B의 최고점 도달 시간은  $0 = \frac{1}{2}v - gt'$ 에서  $t' = \frac{v}{2g}$ 이다. A가 최고점에 있을 때 B는 수평면에 도달하므로 B의 속력은  $v$ 이다.

ㄷ.  $t = \frac{v}{g}$ 일 때, A는 최고점에 있고 B는 던진 지점으로부터  $\frac{\sqrt{3}}{2}v \times \frac{v}{g}$ 만큼 떨어진 수평면에 있으므로 A와 B 사이의 거리는  $\sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}v^2}{2g}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{2g}\right)^2} = \frac{v^2}{g}$ 이므로 A의 최고점의 높이는  $\frac{v^2}{2g}$ 의 2배이다.

**048** ㄱ. 최고점 도달 시간  $t = \frac{v_{0y}}{g}$ 이다. 따라서 A와 B의  $v_{0y}$ 의 비가 2 : 1이므로 최고점 도달 시간의 비도 2 : 1이다.

**바로알기** | ㄴ. 최고점의 높이  $H = \frac{v_{0y}^2}{2g}$ 이다. 따라서 A와 B의  $v_{0y}$ 의 비가 2 : 1이므로 최고점의 높이 비는 4 : 1이다.

ㄷ. 공이 지면에 떨어질 때 수평 방향의 변위  $R = v_{0x}t$ 이다. 따라서  $v_{0x}$ 의 비가 1 : 2이고 운동 시간의 비가 2 : 1이므로 수평 도달 거리는 같다.

**049** **모범 답안** 포물선 운동을 하는 동안 물체는 최고점에서 운동 에너지가 최소가 된다. 최고점에서는 연직 방향의 속도가 0이고 수평 방향의 속도만 있다. 따라서 최고점의 속도는 수평 방향의 속도와 같으므로 최고점에서 A, B의 속도의 비는 1 : 20이며, 질량의 비가 1 : 20이면 최고점에서의 운동 에너지의 비는 1 : 8이다. 따라서 최고점에서 B의 운동 에너지가 A의 운동 에너지의 8배이다. 따라서  $\frac{E_B}{E_A} = 8$ 이다.

| 채점 기준                                     | 배점    |
|-------------------------------------------|-------|
| $\frac{E_B}{E_A}$ 의 값을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우 | 100 % |
| $\frac{E_B}{E_A}$ 의 값만 옳게 쓴 경우            | 50 %  |

**050** ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로  $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$ 이다. 따라서 최고점의 높이  $h = \frac{v_0^2}{2g}$ 이다.

ㄴ. 최고점 도달 시간은  $v_0 - gt = 0$ 에서  $t = \frac{v_0}{g}$ 이다. 따라서 체공 시간은  $2t$ 이고, 수평 방향으로로는 등속 운동을 하므로  $v_x = \frac{d}{2t} = \frac{d}{2} \frac{g}{v_0} = \frac{gd}{2} \frac{1}{\sqrt{2gh}} = \sqrt{\frac{gd^2}{8h}}$ 이다.

ㄷ. A와 B의 최고점의 높이가 같으므로 B의 연직 방향의 속도도  $v_0$ 이다.  $d=4h$ 이면 B가 최고점까지 이동하는 동안 B가 수평 방향으로 이동한 거리는 연직 방향으로 이동한 거리의 2배이므로 평균 속력이 2배이다. 등가속도 운동을 하는 연직 방향의 평균 속력이  $\frac{1}{2}v_0$ 이면 등속도 운동을 하는 수평 방향의 속력은  $v_0$ 이다. 따라서 B가 수평면에 도달하는 순간의 속력은  $\sqrt{v_0^2 + v_0^2} = \sqrt{2}v_0$ 이다.

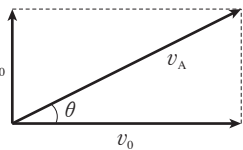
**051** ㄱ. (가)에서 A가 포물선 운동을 하는 데 걸린 시간은 같은 높이에서 자유 낙하 하는 데 걸린 시간과 같다.  $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 이다.

ㄴ. (가)에서  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,  $h = v_0t$ 이므로  $v_0^2 = \frac{gh}{2}$ 이다. (나)에서  $v_y^2 = 2gh = 4v_0^2$ ,  $h = v_x \times 2t$ 에서 연직 방향의 속력은  $2v_0$ , 수평 방향의 속력은  $\frac{1}{2}v_0$ 이다. 따라서 B가 포물선 운동을 하는 동안 속력의 최솟값은  $\frac{1}{2}v_0$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. (가)에서 A를 던지는 순간부터 수평면에 도달할 때까지 수평 방향과 연직 방향의 평균 속력이  $v_0$ 으로 같다. 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 수평면에 도달할 때의 속력은  $2v_0$ , 수평면에 도달할 때의 A의 속력은  $\sqrt{(v_0)^2 + (2v_0)^2} = \sqrt{5}v_0$ 이고, B의 속력은  $\sqrt{(2v_0)^2 + \left(\frac{1}{2}v_0\right)^2} = \frac{\sqrt{17}}{2}v_0$ 이다. 수평면에 도달할 때 A와 B의 운동 에너지가 같으므로  $\frac{1}{2} \times m_A \times (\sqrt{5}v_0)^2 = \frac{1}{2} \times m_B \times \left(\frac{\sqrt{17}}{2}v_0\right)^2$ 이다. 따라서 A의 질량은 B의 질량의  $\frac{17}{20}$ 배이다.

**052** ② B가 바닥에 떨어질 때까지 걸린 시간은  $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 이므로  $2h = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 에서  $v_0 = \sqrt{2gh}$ 이다. A는 B와 운동한 시간과 수평 방향으로 이동한 시간이 같으므로 수평 방향의 속력이 같고, 최고점의 높이가  $\frac{1}{4}h$ 이므로 연직 방향의 속력은  $\frac{1}{2}v_0$ , A의 속력은  $\frac{\sqrt{5}}{2}v_0$ 이다. 따라서 r에서 A의 속력은  $\sqrt{\frac{5}{2}}v_0$ 이다.

③ A를 던질 때 속도의 수평 성분은  $v_0$ 이고, 연직 성분은  $\frac{1}{2}v_0$ 이므로  $\tan\theta = \frac{\frac{1}{2}v_0}{v_0}$ 이다.  $v_A = \sqrt{(v_0)^2 + \left(\frac{1}{2}v_0\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2}v_0$ 이므로  $\cos\theta = \frac{2}{\sqrt{5}}$ 이다.



④ A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 B가 높이  $h$ 에서 자유 낙하 하는 시간과 같다. 따라서  $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 A가 p에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 이다.

⑤ B가 바닥에 떨어질 때까지 걸린 시간은  $\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 이므로  $2h = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$ 에서  $v_0 = \sqrt{2gh}$ 이다. B의 수평 방향의 속력은  $\sqrt{2gh}$ 이다.

**바로알기** | ① A와 B가 운동한 시간을  $t$ 라고 하면 A가 올라가는 최고 높이는  $\frac{1}{2}t$  동안 자유 낙하 하는 높이와 같다. 시간  $t$  동안 B가 자유 낙하 하는 높이가  $h$ 이므로, A가 올라가는 최고 높이는  $\frac{1}{4}h$ 이다.

⑥ A를 던질 때 속도의 수평 성분은  $v_0$ 이고, 연직 성분은  $\frac{1}{2}v_0$ 이므로  $\tan\theta = \frac{1}{2}$ 이다.

**053** ㄱ. 최고점의 높이는 연직 방향의 속도  $20\sin 30^\circ = 10(\text{m/s})$ 가 0이 될 때까지 걸린 시간인 1초 동안 자유 낙하 하는 거리와 같으므로  $H = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2 = 5(\text{m})$ 이다.

ㄴ. R은 2초 동안에 물체가 등속도 운동을 한 거리와 같다. 수평 방향의 속력은  $20\cos 30^\circ = 10\sqrt{3}(\text{m/s})$ 이고, 운동한 시간이 2초이므로  $R = 20\sqrt{3} \text{ m}$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 비스듬히 위로 던진 물체의 운동에서 수평 도달 거리는  $\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 이므로, 같은 속력으로 던질 때 수평면과 이루는 각의 합이  $90^\circ$ 이면 수평 도달 거리는 같다. 따라서  $\theta = 60^\circ$ 의 각으로 20 m/s의 속력으로 던지면  $R = 20\sqrt{3} \text{ m}$ 이다.

**054** A의 수평 방향의 속력은  $v$ 이고, B의 수평 방향의 속력은  $2v\cos 60^\circ = v$ 이다. 충돌할 때까지 A에 대한 B의 수평 방향의 상대 속력은  $2v$ 이고, 두 건물 사이의 거리를  $d$ 라고 하면 충돌할 때까지 걸린 시간은  $\frac{d}{2v}$ 이다. 충돌할 때 A와 B의 높이는 같으므로  $t$ 초 후 A의 높이  $2h - \frac{1}{2}gt^2$ 과 B의 높이  $h + \sqrt{3}vt - \frac{1}{2}gt^2$ 을 같다고 놓으면  $h = \sqrt{3}vt$ 이다.  $t = \frac{d}{2v}$ 이므로  $h = \sqrt{3}v \times \frac{d}{2v} = \frac{\sqrt{3}}{2}d$ 에서 두 건물 사이의 거리  $d = \frac{2\sqrt{3}}{3}h$ 이다.

**055** **모범 답안** 최고점에서는 중력에 의한 위치 에너지가 최대이며, 운동 에너지는 최소이다. 최고점에서 물체는 속력의 수평 방향 성분이 있으므로 운동 에너지가 0이 아니므로, 시간  $t$ 에 따른 운동 에너지  $E_k$ 의 그래프는 ㄹ이다.

출발점과 도착점에서는 중력에 의한 위치 에너지가 0이므로 중력에 의한 위치 에너지  $E_p$ 의 그래프는 ㄱ이다.

| 채점 기준                             | 배점    |
|-----------------------------------|-------|
| 두 그래프를 옳게 그리고, 그 까닭을 각각 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| 두 그래프만 옳게 고른 경우                   | 50 %  |

**056** ㄴ. p에서 물체의 속력을  $v$ 라고 하면, p와 q 사이의 거리는 시간  $t$  동안 수평 방향의 속력  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ 로 등속도 운동한 거리이므로  $\frac{\sqrt{3}}{2}vt$

이고, q와 r 사이의 연직 거리는 평균 속력  $\frac{\frac{1}{2}v + \frac{3}{2}v}{2} = v$ 로 시간  $t$  동안 등속도 운동한 거리이므로  $vt$ 이다.

ㄷ. p, q, r에서 속도의 수평 성분은  $v\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}v$ 이다. p에서 속도의 연직 성분은  $\frac{1}{2}v$ 이고, q에서 속도의 연직 성분은  $-\frac{1}{2}v$ 이다. p에서 q까지 속도 변화량은  $-v$ 이므로 q에서 r까지 속도 변화량도  $-v$ 이다. 따라서 r에서 속도의 연직 성분은  $-\frac{3}{2}v$ 이다. q에서 속력은  $v$ 이고, r에서 속력은  $\sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}v\right)^2 + \left(-\frac{3}{2}v\right)^2} = \sqrt{3}v$ 이다. 따라서 q에서 r까지 물체의 운동 에너지의 증가량은  $2E_0$ 이므로 중력에 의한 위치 에너지의 감소량도  $2E_0$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. q에서 수평면과 물체의 운동 방향이 이루는 각은  $30^\circ$ 이고, 연직 방향의 중력 가속도의 방향과 수평면이 이루는 각은  $90^\circ$ 이다. 따라서 q에서 운동 방향과 가속도의 방향이 이루는 각은  $60^\circ$ 이다.

**057** ㄴ. (가)와 (나)에서 던지는 순간의 속력이  $v$ 일 때 최고점에서 속력은 각각  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ ,  $\frac{1}{2}v$ 이므로 운동 에너지의 최솟값은  $\frac{3}{4}E_0$ ,  $\frac{1}{4}E_0$ 이다. 따라서 포물선 운동을 하는 동안 운동 에너지의 최솟값은 (가)에서가 (나)에서의 3배이다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서 던지는 순간의 속력을  $v$ 라고 하면 최고점에서의 속력은  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ 이므로 운동 에너지는  $\frac{3}{4}E_0$ 이다. 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 최고점에서 중력에 의한 위치 에너지는  $E_0 - \frac{3}{4}E_0 = \frac{1}{4}E_0$ 이다.

ㄷ. 비스듬히 위로 던진 물체의 운동에서 수평 도달 거리는  $\frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 이다. 따라서 던지는 속력이 같고, 수평면과 던지는 방향이 이루는 각의 합이  $90^\circ (= 30^\circ + 60^\circ)$ 이므로 수평 도달 거리는 같다.

**058** p에서 물체의 운동 에너지  $E_0 = \frac{1}{2}mv^2$ 이라고 하면 q에서 물체의 속력이  $v'$ 일 때  $v' \cos 30^\circ = v$ 이므로  $v' = \frac{2}{\sqrt{3}}v$ 이다. 따라서 q에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{2}{3}mv^2$ 이다. r에서 물체의 속력을  $v''$ 라고 하면  $v'' \cos 60^\circ = v$ 이므로  $v'' = 2v$ 이다. 따라서 r에서 물체의 운동 에너지는  $2mv^2$ 이다. q에서 r까지 운동할 때 물체의 운동 에너지 증가량은  $2mv^2 - \frac{2}{3}mv^2 = \frac{4}{3}mv^2$ 이다. 운동 에너지의 증가량은 중력에 의한 위치 에너지의 감소량과 같으므로  $E_1 - E_2 = \frac{4}{3}mv^2 = \frac{8}{3}E_0$ 이다.

**059** A, B가 수평면에 도달하는 데 걸리는 시간은 같으므로 A와 B가 수평면에 도달하는 순간 속도의 연직 방향 성분의 크기는 같고, 수평 도달 거리가 A가 B의 2배이므로 수평 방향 성분의 크기는 B가 A의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 A와 B가 지면에 도달하는 순간의 속력은 각각  $v_A = \sqrt{(v \cos 60^\circ)^2 + (v \sin 60^\circ)^2} = v$ ,  $v_B = \sqrt{\left(\frac{1}{2}v \cos 60^\circ\right)^2 + (v \sin 60^\circ)^2} = \frac{\sqrt{13}v}{4}$ 이므로, 수평면에서 A와 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times m_A \times v^2 = \frac{1}{2} \times m_B \times \frac{13}{16}v^2$ 에서  $\frac{m_B}{m_A} = \frac{16}{13}$ 이다.

**060** ㄱ. 포물선 운동을 하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다. p와 q에서 수평 방향의 속력은 같다. q에서 물체의 운동 방향과 수평면이 이루는 각은  $45^\circ$ 이므로 수평 방향의 속력과 연직 방향의 속력은 같다. p에서 물체의 운동 에너지가  $\frac{1}{3}E_0$ 이므로 q에서 물체의 운동 에너지는  $\frac{2}{3}E_0$ 이다. q에서 중력에 의한 위치 에너지가  $E_0$ 이므로 물체의 역학적 에너지는  $\frac{5}{3}E_0$ 이다. 따라서 ㉠은  $\frac{4}{3}E_0$ 이고, ㉡은  $\frac{2}{3}E_0$ 이다. ㄴ. q에서 물체의 운동 에너지가  $\frac{2}{3}E_0 = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로 q에서 물체의 속력은  $\sqrt{\frac{4E_0}{3m}}$ 이다.

ㄷ. q에서 물체의 운동 에너지  $\frac{2}{3}E_0$ 와 r에서 물체의 운동 에너지  $\frac{5}{3}E_0$ 을 이용하면  $v_q^2 = \frac{4E_0}{3m}$ ,  $v_r^2 = \frac{10E_0}{3m}$ 이다. 수평 방향 속력  $v_x^2 = \frac{2E_0}{3m}$ 으로 일정하므로, 이를 이용하여 q, r에서 연직 방향 속력을 구하면 각각  $\sqrt{\frac{8E_0}{3m}}$ ,  $\sqrt{\frac{2E_0}{3m}}$ 이고, 연직 방향 속력의 차가  $gt = \sqrt{\frac{8E_0}{3m}} - \sqrt{\frac{2E_0}{3m}}$ 이므로  $t = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2E_0}{3m}}$ 이다. t를 수평 방향 속도  $v_x$ 에 곱하면 수평 이동 거리를 구할 수 있다. 따라서  $v_x t = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2E_0}{3m}} \times \sqrt{\frac{2E_0}{3m}} = \frac{2E_0}{3mg}$ 이다.

**061** 수평면과  $60^\circ$ 의 각으로 속력  $v$ 로 던져진 물체의 수평 방향 속력은  $v \cos 60^\circ = \frac{v}{2}$ 이다. 수평면과  $30^\circ$ 의 각을 이루는 p에서도 수평 방향 속력은  $\frac{v}{2}$ 이다. p에서 연직 방향 속력은  $\frac{\sqrt{3}}{6}v$ 이므로 p에서 속력은  $v' = \sqrt{\frac{v^2}{4} + \frac{3v^2}{36}} = \frac{v}{\sqrt{3}}$ 이다. 중력 가속도를  $g$ , 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면 역학적 에너지는 보존되므로  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh' + \frac{1}{2}mv'^2$ 에서  $\frac{1}{2}v^2 = gh' + \frac{1}{6}v^2$ 이고, p의 높이  $h' = \frac{v^2}{3g}$ 이다. 최고점의 높이는 연직 방향의 속력  $\frac{\sqrt{3}}{2}v$ 가 0이 될 때의 높이이다. 따라서  $h = \frac{3v^2}{8g}$ 이므로 p의 높이  $h' = \frac{8}{9}h$ 이다.

## 03 등속 원운동

### 빈출 자료 보기

023쪽

**062** (1)  $\times$  (2)  $\circ$  (3)  $\times$  (4)  $\times$  (5)  $\circ$  (6)  $\circ$

**063** (1)  $\times$  (2)  $\times$  (3)  $\circ$  (4)  $\circ$  (5)  $\circ$  (6)  $\times$

**062** (2) 물체의 주기는  $2t_0$ 이다.

(5) 물체가 시계 반대 방향으로 회전하므로  $t = t_0$ 일 때 물체의 가속도의 방향은  $+x$  방향이다.

(6) 등속 원운동에서 가속도의 크기  $a = v\omega$ 이므로  $t = 2t_0$ 일 때 물체의 가속도의 크기는  $\frac{\pi v_0}{t_0}$ 이다

**바로알기** | (1) (가), (나)는 물체가 시계 반대 방향으로 등속 원운동을 할 때, 물체 속도의  $x$ ,  $y$  성분  $v_x$ ,  $v_y$ 를 시간에 따라 나타낸 것이다.

(3) 물체의 각속도  $\omega = \frac{2\pi}{2t_0} = \frac{\pi}{t_0}$ 이다.

(4) 물체의 속력은  $v_0$ 이다.

**063** A와 B의 각속도는 같고, 원운동의 속력  $v = r\omega$ 이고 구심 가속도  $a = r\omega^2$ 이므로 속력과 구심 가속도 모두 반지름에 비례한다. B의 반지름이 A의 반지름의 2배이므로 속력도 2배이다. A의 속력이  $v$ 이므로 B의 속력은  $2v$ 이다.

**바로알기** | (1) 등속 원운동은 가속도의 크기는 일정하지만 가속도의 방향이 원의 중심 방향으로 계속 변한다. 따라서 등가속도 운동은 아니다.

- (2) 원운동의 방향은 원의 접선 방향이고 가속도의 방향은 원의 중심 방향이므로, 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 항상 수직이다.  
 (6) A와 B에 작용하는 구심력의 크기  $F = mr\omega^2$ 이다. 따라서 A와 B의 각속도는 같고, 질량은 A가 B의 2배, 반지름은 B가 A의 2배이므로 A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 같다.

## 난이도별 필수 기출

024쪽~029쪽

- 064 ⑤    065 ③    066 ②    067 ⑤    068 ③    069 ⑤  
 070 ④, ⑥    071 해설 참조    072 ④    073 ⑤    074 ③  
 075 ③    076 ③    077 ②    078 ③    079 ③    080 ③  
 081 (가) 중력, (나) 전기력, (다) 마찰력    082 ⑤    083 ①  
 084 ④    085 ⑤    086 ⑤    087 ⑤

**064** ㄱ. 등속 원운동에서는 물체의 운동 방향이 계속해서 접선 방향으로 변한다. 따라서 등속 원운동에서는 물체의 속도가 변하는 가속도 운동을 한다. 따라서 ①은 속력이다.

ㄴ. 등속 원운동에서 주기와 진동수는 반비례 관계이다. 원운동의 주기가 0.1초이면 진동수는 10 Hz이므로 물체는 원 궤도를 1초 동안에 10회전을 한다. 따라서 ②은 10이다.

ㄷ. 원운동을 하는 물체는 한 주기( $T$ ) 동안에 원 궤도를 1회전하므로 이동 거리는  $2\pi r$ 이다. 따라서 원운동의 속력  $v = \frac{2\pi \times 2}{0.1} = 40\pi$ (m/s)이다.

**065** ㄱ. A와 B에 작용하는 구심력의 크기는  $m_A \frac{v^2}{d} = m_B \frac{v^2}{2d}$ 이다. 따라서 질량은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 등속 원운동에서 속력  $v = r\omega$ 이다. A와 B의 속력이 같고, 반지름이 B가 A의 2배이므로 각속도는 A가 B의 2배이다.

**바로알기** | ㄷ. 등속 원운동에서 가속도의 방향은 원의 중심 방향이다. 따라서 시간  $t = \frac{\pi d}{v}$  일 때 물체는  $\pi$ 만큼 회전하므로 가속도의 방향은  $+x$  방향이다.

**066** ㄷ. 원운동에서 구심 가속도의 크기  $a = r\omega^2$ 이다. 따라서 A와 B의 각속도가 같으므로 가속도의 크기는 B가 A의 2배이다.

**바로알기** | ㄱ. A와 B의 각속도가 같으므로 주기  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 에서 A와 B의 주기는 같다.

ㄴ. 원운동에서 속력  $v = r\omega$ 이다. 따라서 A와 B의 각속도가 같으므로 속력은 B가 A의 2배이다.

**067** ㄱ. A의 각속도가  $2\omega = \frac{2\pi}{T}$ 이므로 A의 주기  $T = \frac{\pi}{\omega}$ 이다.

ㄴ. B의 가속도의 크기  $a = 3r\omega^2$ 이다.

ㄷ. A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 각각  $8mr\omega^2$ ,  $6mr\omega^2$ 이다. 따라서 물체에 작용하는 구심력의 크기는 B가 A의  $\frac{3}{4}$ 배이다.

**068** • 알짜힘의 크기: A와 B에 작용하는 알짜힘은 구심력이다. A와 B가 같은 각속도로 원운동을 하므로 각속도를  $\omega$ 라고 하면 A에 작용하는 알짜힘  $F_A = mr\omega^2$ , B에 작용하는 알짜힘의 크기  $F_B = 4mr\omega^2$ 이다. 따라서 알짜힘의 크기 비는 1 : 4이다.

• 속력: 등속 원운동에서 속력  $v = r\omega$ 이다. A와 B의 각속도가 같으므로 속력은 반지름에 비례한다. 따라서 속력의 비는 1 : 2이다.

**069** ⑤ A의 속력은  $\frac{2\pi rn}{t_0}$ 이므로 A의 질량을  $m$ 이라고 할 때 A에

작용하는 구심력은  $m \frac{\left(\frac{2\pi rn}{t_0}\right)^2}{r} = Mg$ 이다. 따라서  $m = \frac{Mgt_0^2}{4\pi^2 rn^2}$ 이다.

**바로알기** | ① 진동수는 1초 동안 회전하는 횟수이므로 A의 진동수는  $\frac{n}{t_0}$ 이다.

② A의 속력  $v = \frac{s}{t} = \frac{2\pi rn}{t_0}$ 이다.

③ 등속 원운동에서 A의 운동 방향은 접선 방향이고, 가속도의 방향은 원의 중심 방향이다. 따라서 물체의 가속도 방향은 운동 방향에 수직이다.

④ A에 작용하는 구심력은 추에 작용하는 중력  $Mg$ 이다.

**070** ① 물체가 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간이 2초이므로 주기가 2초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 진동수는  $\frac{1}{2}$  Hz = 0.5 Hz이다.

② 물체의 각속도  $\omega = \frac{2\pi}{2} = \pi$ (rad/s)이다.

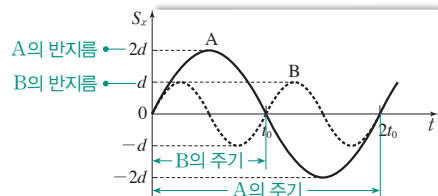
③ 원운동의 회전 반지름이  $\frac{5}{\pi}$  m이고, 주기가 2초이므로 원운동의 속력  $v = \frac{2\pi \times \frac{5}{\pi}}{2} = 5$ (m/s)이다.

⑤ 등속 원운동을 하는 물체의 가속도의 크기는  $\frac{v^2}{r}$ 으로 일정하다. 따라서 p에서 물체의 가속도의 크기는  $\frac{5^2}{\frac{5}{\pi}} = 5\pi$ (m/s<sup>2</sup>)이다.

**바로알기** | ④ p에서 y 방향의 속력은 5 m/s이고, q에서 x 방향의 속력이 3 m/s이면 y 방향의 속력은 4 m/s이다. 따라서 물체의 y 방향의 속력은 p에서 q에서의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

⑥ 등속 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력은 원의 중심 방향으로 작용하므로 가속도의 방향도 원의 중심 방향이다. 따라서 p에서 물체의 가속도 방향은  $-x$  방향이다.

**071** • 물체에 작용하는 구심력의 크기  $F = mr\omega^2$ 이다.



**모범 답안** 원운동을 하는 A의 주기는  $2t_0$ , 반지름은  $2d$ 이다. 원운동을 하는 B의 주기는  $t_0$ , 반지름은  $d$ 이다. A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 각각  $F_A = 2m \times \left(\frac{2\pi}{2t_0}\right)^2 \times 2d = \frac{4\pi^2 md}{t_0^2}$ ,  $F_B = m \times \left(\frac{2\pi}{t_0}\right)^2 \times d = \frac{4\pi^2 md}{t_0^2}$ 이다. 따라서 A와 B에 작용하는 구심력의 크기는 같으므로  $\frac{F_B}{F_A} = 10$ 이다.

| 채점 기준                                                      | 배점    |
|------------------------------------------------------------|-------|
| 풀이 과정과 함께 $F_A$ , $F_B$ 를 구하고, $\frac{F_B}{F_A}$ 를 옳게 쓴 경우 | 100 % |
| 풀이 과정 없이 $\frac{F_B}{F_A}$ 만 옳게 쓴 경우                       | 50 %  |

**072** ㄱ. 등속 원운동을 하는 물체의 속력은  $x$  방향 또는  $y$  방향 속력의 최댓값과 같으므로 1초일 때 물체의 속력은 4 m/s이다.  
 ㄴ. 원운동을 하는 물체의 속력이 4 m/s이고 주기가 4초이므로 원운동의 반지름은  $T = \frac{2\pi r}{v}$ 에서  $r = \frac{Tv}{2\pi} = \frac{4 \times 4}{2\pi} = \frac{8}{\pi}$ (m)이다. 원운동을 하는 물체의 가속도의 크기  $a = \frac{v^2}{r} = \frac{4^2}{\frac{8}{\pi}} = 2\pi$ (m/s<sup>2</sup>)이다.

**바로알기** | ㄴ. 물체가 시계 방향으로 회전하고 2초일 때 물체는  $-y$  방향으로 운동하므로, 가속도의 방향은 물체의 운동 방향에 수직이다. 따라서 가속도의 방향은  $-x$  방향이다.

**073** ㄱ. A, B의 원운동 반지름은 각각 5 m, 2 m이고, 속력은  $2v$ ,  $v$ 이므로 A와 B의 주기는 각각  $T_A = \frac{2\pi \times 5}{2v} = \frac{5\pi}{v}$ ,  $T_B = \frac{2\pi \times 2}{v} = \frac{4\pi}{v}$ 이다. 따라서 주기는 A가 B보다 크다.

ㄴ. A, B의 가속도 크기는 각각  $a_A = \frac{4v^2}{5}$ ,  $a_B = \frac{v^2}{2}$ 이므로 가속도의 크기는 A가 B의  $\frac{8}{5}$ 배이다.

ㄷ. 가속도의 방향은 항상 원의 중심 방향이다. 따라서 B가 (0, 2)의 위치에 있을 때 가속도의 방향은  $-y$  방향이다.

**074** ㄱ. 물체의 중력에 의한 위치 에너지의 최댓값과 최솟값의 차이가 80 J이고 물체의 질량이 2 kg이므로, 물체가 중력에 의한 위치 에너지의 최댓값과 최솟값을 가질 때 높이차가 4 m이다. 따라서 원운동의 반지름은 2 m이므로 물체의 속력은  $\frac{2\pi \times 2}{2} = 2\pi$ (m/s)이다.

ㄴ. 원운동의 반지름은 2 m이고, 물체의 속력은  $2\pi$  m/s이므로 물체의 가속도의 크기  $a = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi \text{ m/s})^2}{2 \text{ m}} = 2\pi^2 \text{ m/s}^2$ 으로 일정하므로 중력에 의한 위치 에너지가 최솟값일 때 물체의 가속도 크기는  $2\pi^2 \text{ m/s}^2$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 물체의 구심 가속도의 크기는  $2\pi^2 \text{ m/s}^2$ 이므로 중력 가속도의 크기인  $10 \text{ m/s}^2$ 보다 크다. 따라서 물체에 작용하는 중력의 크기는 물체에 작용하는 구심력의 크기보다 작다. 중력에 의한 위치 에너지가 최솟값일 때 물체에 작용하는 구심력의 방향은 연직 위 방향이고, 물체에 작용하는 중력의 크기는 구심력의 크기보다 작으므로 막대가 물체에 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이다. 중력에 의한 위치 에너지가 최솟값일 때 막대가 물체에 작용하는 힘의 방향은 중력의 방향과 반대이다.

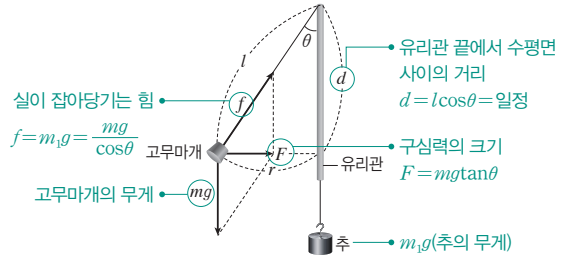
**075** ㄱ. 각속도  $\omega = \frac{v}{r}$ 이므로 A가 B의 2배이다.

ㄷ. 구심력  $F = mr\omega^2$ 이므로 A가 B의  $\frac{4}{3}$ 배이다.

**바로알기** | ㄴ. 주기  $T = \frac{2\pi r}{v}$ 이므로 B가 A의 2배이다.

**076** A에 작용하는 구심력의 크기는  $mg \tan 60^\circ = \sqrt{3}mg$ 이고, A의 원운동의 반지름은  $\frac{\sqrt{3}}{2}l$ 이므로  $\sqrt{3}mg = m \frac{v^2}{\frac{\sqrt{3}}{2}l}$ 에서 A의 속력  $v = \sqrt{\frac{3}{2}lg}$ 이다.

**077** • 고무마개의 질량이  $m$ , 추의 질량이  $m_1$ 일 때 고무마개에 작용하는 힘을 표시해 보면 그림과 같다.



ㄴ. I과 II에서 실이 고무마개를 잡아당기는 힘을 각각  $f_1$ ,  $f_2$ , 유리관과 실이 이루는 각도를 각각  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ , 유리관 끝에서 수평면 사이의 거리를  $d$ 라고 하면,  $f_1 = m_1g = \frac{mg}{\cos \theta_1} = mg \frac{l_1}{d}$ ,  $f_2 = 2m_1g = \frac{mg}{\cos \theta_2} = mg \frac{l_2}{d}$ 에서  $m_1 : 2m_1 = l_1 : l_2$ 이다. 따라서  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{2}$ 이다.

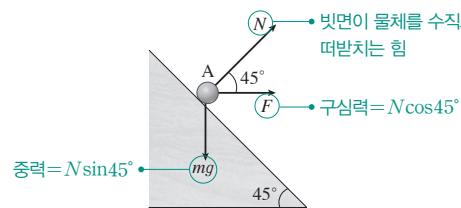
**바로알기** | ㄱ. 고무마개에 작용하는 구심력  $F = mgtan\theta$ 이다. 고무마개의 주기를  $T$ 라고 하면,  $mgtan\theta = mr \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 = m l \sin \theta \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$ 에서  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \theta}{g}}$ 이다. 유리관 끝에서 수평면 사이의 거리가 일정하므로  $l \cos \theta$ 의 값은 같다. 따라서 I과 II에서 주기와 진동수는 같다.  
 ㄷ. 고무마개의 구심 가속도를  $a$ 라고 하면,  $mgtan\theta = ma$ 에서  $a = gtan\theta$ 이므로  $\theta > 45^\circ$ 이면  $a > g$ 이다.

**078** ㄱ. 등속 원운동에서 물체의 운동 방향은 원의 접선 방향이고 가속도의 방향은 원의 중심 방향이다. 따라서 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 수직이다.

ㄴ. 실이 추를 당기는 힘의 크기를  $T$ 라고 하면  $T$ 의 연직 성분과 수평 성분이 각각 추에 작용하는 중력, 구심력과 같다.  $T \cos \theta = 20$  N에서  $T \times \frac{4}{5} = 20$  N이므로  $T = 25$  N이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 물체에 작용하는 중력의  $\frac{5}{4}$ 배이다.

**바로알기** | ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는  $25 \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$ 이다.  $25 \times \frac{3}{5} = 2 \times \frac{v^2}{3}$ 이므로 속력  $v = \frac{3\sqrt{10}}{2}$  m/s이다.

**079** • 등속 원운동을 하는 A에 작용하는 힘을 표시해 보면 그림과 같다.



$N \sin 45^\circ = mg$ 에서  $N = \sqrt{2}mg$ 이다. A에 작용하는 구심력의 크기를  $F$ 라고 하면  $F = N \cos 45^\circ = \sqrt{2}mg \times \frac{\sqrt{2}}{2} = mg$ 이고, A의 원운동의 반지름  $r = h \tan 45^\circ = h$ 이다. 따라서 구심력  $F = mh \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2$ 이므로 주기  $T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$ 이다.

**080** ㄱ. 추와 연결된 실이 당기는 힘의 크기는  $3mg$ 이다. A와 연결된 실과 유리관이 이루는 각을  $\theta$ 라고 하면  $3mg \cos \theta = 2mg$ 이므로  $\cos \theta = \frac{2}{3}$ 이고, (가)에서 A의 원운동 반지름은  $l \sin \theta = \frac{\sqrt{5}}{3}l$ 이다.

(나)에서 B의 원운동 반지름은  $l$ 이므로 원운동의 반지름은 A가 B의  $\frac{\sqrt{5}}{3}$ 배이다.

$$\therefore mgtan\theta = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = ml\sin\theta\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \text{이므로}$$

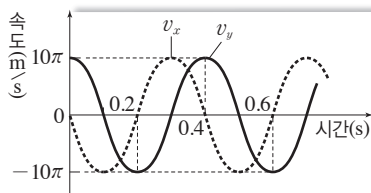
$$\text{주기 } T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{2l}{3g}} \text{이다.}$$

**바로알기** | ㄷ. (가)에서 A에 작용하는 구심력은  $3mgsin\theta = \sqrt{5}mg$ 이고, (나)에서 B에 작용하는 구심력의 크기는  $3mg$ 이다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는 B에 작용하는 구심력의 크기의  $\frac{\sqrt{5}}{3}$ 배이다.

**081** 원운동을 하는 물체는 항상 원의 중심 방향으로 구심력이 작용한다. (가)에서는 중력, (나)에서는 전기력, (다)에서는 마찰력이 구심력이 된다.

**082** ㄱ. (가)에서 원운동의 반지름은 2 m이고 주기는 0.4초이다. 따라서 원운동의 속력  $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi \times 2}{0.4} = 10\pi$ (m/s)이다.

ㄴ. (가)에서 물체가 시계 반대 방향으로 등속 원운동을 할 때, 물체의 속도의  $x, y$  성분  $v_x, v_y$ 를 시간에 따라 나타내면 그림과 같다. 따라서 ㉠은 속도의  $y$  성분  $v_y$ 이다.



ㄷ. 물체에 작용하는 구심력의 크기는  $m\frac{v^2}{r} = 2 \times \frac{(10\pi)^2}{2} = 100\pi^2$ (N)이다.

**083** 중력 가속도를  $g$ 라고 할 때 등속 원운동을 하는 A에 작용하는 구심력은 B에 작용하는 중력과 같으므로  $m\frac{v^2}{r} = 2mg$ 에서 원운동을 하는 물체의 속력  $v = \sqrt{2rg}$ 이다. 원운동을 하는 A의 주기  $T = \frac{2\pi r}{\sqrt{2rg}}$ 이다. A가 p에서 q까지  $180^\circ$  회전하므로 운동한 시간  $t = \frac{2\pi r}{\sqrt{2rg}} \times \frac{1}{2}$ 이다. C의  $h$ 는 시간  $t$  동안 자유 낙하 한 거리이므로  $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{\pi^2 r}{4}$ 이다.

**084** ㄴ. 실이 물체를 당기는 힘의 크기는  $mg\cos\theta$ 이다. 따라서 실이 물체를 당기는 힘의 크기는 q에서 p에서보다 크다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $mgsin\theta$ 이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 p에서 q에서보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. 연직선과 실이 이루는 각을  $\theta$ , 물체의 질량을  $m$ 이라고 하면 실이 물체를 당기는 힘의 크기는  $mg\cos\theta$ 이고, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $mgsin\theta$ 이므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 변한다. 따라서 p와 q에서 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 다르다.

**085** ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $mgsin\theta$ 이다. 실에 매달려 운동하는 물체가 양 끝에 있을 때 물체에 작용하는 알짜힘이 가장 크다. 따라서 가속도의 크기는  $t_0$ 일 때가  $2t_0$ 일 때보다 작다.

ㄴ. 물체가 한 번 왕복 운동하는 동안 물체의 운동 에너지의 최댓값이 2회 나타난다. 따라서 물체의 운동 방향은  $t_0$ 일 때와  $3t_0$ 일 때가 서로 반대이다.

ㄷ. 최저점( $t_0$ ), 최고점( $2t_0$ )의 높이차를  $h$ 라고 하면  $mgh = E$ 이므로  $h = \frac{E}{mg}$ 이다.

**086** ㄱ. 길이  $l$ 인 실이 물체를 당기는 힘의 크기를  $F$ , p가 물체를 당기는 힘의 크기를  $F_p$ 라 하면, 물체가 정지해 있으므로  $F$ 의 수평 방향 성분은  $F\sin\theta = F_p$ , 연직 방향 성분은  $F\cos\theta = mg$ 이다. 따라서  $\tan\theta = \frac{F_p}{mg}$ 이므로 p가 물체를 당기는 힘의 크기는  $mgtan\theta$ 이다.

ㄴ. p를 끊어 물체가 진자 운동을 할 때 물체의 속력의 최댓값은 최저점과 최고점의 높이차를  $h$ 라고 하면  $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2$ 에서  $v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gl(1-\cos\theta)}$ 이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는  $mgsin\theta$ 이므로 p를 끊었을 때 물체에 작용하는 알짜힘의 최댓값은  $mgsin\theta$ 이다.

**087** ㄱ. A, B의 운동 에너지의 최댓값은 같고, 질량은 B가 A보다 크므로 최저점에서 속력은 A가 B보다 크다. 따라서 최고점은 A가 B보다 커야 하므로  $\theta_1 > \theta_2$ 이다.

ㄴ. 운동 에너지의 최댓값을  $E_0$ , 최고점과 최저점 사이의 높이를  $h$ 라고 하면  $mgh = E_0$ 이므로 질량이 작은 A의 최고점과 최저점의 높이차가 크다. 따라서 (가)에서 최고점과 최저점의 높이차는  $\frac{l}{4}$ 보다 크다.

ㄷ. 추의 역학적 에너지가 보존되므로 최저점을 지날 때 추의 운동 에너지  $E_k = mv^2 = \frac{1}{2}mgl \dots$  ①이다. 최저점에서 추에 작용하는 힘은 실이 추를 당기는 힘  $F$ 와 중력이므로  $\frac{2mv^2}{l} = F - 2mg \dots$  ②이다. 식 ①, ②를 정리하면  $F = 3mg$ 이다.

## 최고수준 도전 기출

030쪽~031쪽

088 ⑤   089 ⑤   090 ③   091 ③   092 ②   093 ⑤  
094 ②   095 ③

**088** 중력 가속도가  $g$ 일 때, (가)에서 중력, 수직 항력,  $F$ 가 힘의 평형을 이루므로 수직 항력과  $F$ 의 합력은 연직 위쪽으로 크기가  $m_1g$ 이다. 따라서  $F = m_1g\tan 60^\circ$ 이다.

(나)에서 중력, 수직 항력,  $F$ 가 힘의 평형을 이루므로 수직 항력과  $F$ 의 합력은 연직 위쪽으로 크기가  $m_2g$ 이다. 따라서  $F = m_2g\sin 60^\circ$ 이다.

(가)와 (나)에서  $\sqrt{3}m_1g = \frac{\sqrt{3}}{2}m_2g$ 이므로  $\frac{m_2}{m_1} = 2$ 이다.

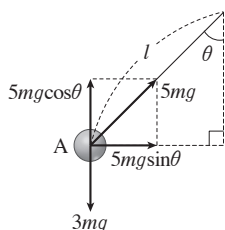
**089** ㄱ. ㄴ. A, B의 변위의 수평 성분이 같으므로 A, B의 속도의 수평 성분은 같다. A와 B의 속도의 수평 성분을  $v_0$ 이라고 하면, B가 올라가는 최고 높이는  $\frac{1}{2}t$  동안 자유 낙하 하는 높이와 같으므로  $\frac{1}{4}L$ 이다. 따라서 B를 던지는 속도의 연직 성분을  $v_y$ 라고 하면,

$\frac{1}{4}L = \frac{1}{2}v_y \times \frac{1}{2}t$ 에서  $v_y = \frac{L}{t}$ 이다.  $v_0 = \frac{2L}{t}$ 이므로  $v_y = \frac{1}{2}v_0$ 이고 수평 성분은  $v_0$ 이므로  $\tan\theta = \frac{1}{2}$ 이다.

ㄷ. A의 속력은  $v_0$ 이고, B의 속력은  $\sqrt{v_0^2 + \left(\frac{v_0}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}}{2}v_0$ 이므로 던지는 순간의 속력은 B가 A보다 크다.

**090** 던지는 순간 B의 속도를  $v_B$ 라고 하면 수평면과 이루는 각이  $45^\circ$ 이므로 속도의 연직 성분의 크기와 수평 성분의 크기는  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_B$ 로 같다. 최고점 높이는 A가 B의 2배이므로 던진 순간부터 수평면에 도달할 때까지 걸린 시간은 A가 B의  $\sqrt{2}$ 배이다. 그런데 수평 도달 거리는 같으므로 A의 속도의 수평 성분의 크기는  $\frac{1}{2}v_B$ 이다. 최고점 높이는 A가 B의 2배이므로 던지는 순간 속도의 연직 성분의 크기는 A가 B의  $\sqrt{2}$ 배이다. 따라서 A의 속도의 연직 성분의 크기는  $v_B$ 이므로 던지는 순간 A의 속도의 크기  $v_A = \sqrt{\left(\frac{1}{2}v_B\right)^2 + v_B^2} = \frac{\sqrt{5}}{2}v_B$ 이다. q에서 A의 운동 에너지  $E_A = \frac{1}{2} \times m \times \left(\frac{\sqrt{5}}{2}v_B\right)^2 = \frac{5}{8}mv_B^2$ 이고, q에서 B의 운동 에너지를  $E_B = \frac{1}{2} \times 2m \times v_B^2 = mv_B^2$ 이므로  $\frac{E_B}{E_A} = \frac{8}{5}$ 이다.

**091** ㄱ. 실이 A에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력  $5mg$ 와 같다. 실이 A에 작용하는 힘을 분해하면 그림과 같다.



$5mg \cos\theta = 3mg$ 이므로  $\cos\theta = \frac{3}{5}$ 이고,  $\sin\theta = \frac{4}{5}$ 이다. 따라서 A에 작용하는 구심력의 크기는  $5mg \sin\theta = 5mg \times \frac{4}{5} = 4mg$ 이다.

ㄴ. 질량이  $m$ 인 물체가 구심력의 크기가  $F$ , 반지름이  $r$ 인 원운동을 할 때, 원운동의 반지름  $r = l \sin\theta = \frac{4}{5}l$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 구심력의 크기가  $F$ , 반지름이  $r$ 인 원운동을 할 때 A의 속력  $v = \sqrt{\frac{4mg \times \frac{4}{5}l}{3m}} = \sqrt{\frac{16lg}{15}}$ 이다.

**092** A와 B가 충돌하는 높이가 5 m, 0일 때 B가 자유 낙하 한 거리가 각각 5 m, 10 m이므로 충돌하는 데 걸린 시간은  $t \propto \sqrt{h}$ 에서  $1 : \sqrt{2}$ 이다. A와 B가 충돌하려면 A의 수평 방향으로 이동 거리가 20 m가 되어야 하므로  $v_0 \cos\theta \times t = 20$ 이다. 그런데  $\theta$ 가 일정하므로 속력의 비는  $\sqrt{2} : 1$ 이다. 따라서 ㉠ =  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$ 이다.

**093** ㄱ. p의 좌표가  $(d, d)$ , r의 좌표가  $(-d, d)$ 이므로 원점과 p를 잇는 직선과 원점과 r를 잇는 직선이 이루는 각은  $90^\circ$ 이다. 따라서 p에서  $v_x$ ,  $v_y$ 는 같다. 원운동을 하는 물체의 속력을  $v$ 라고 하면  $v \cos 45^\circ = \frac{5\sqrt{2}}{2}$ 이므로, 원운동을 하는 물체의 속력  $v = 5$  m/s이다.

따라서 q에서  $v_y = 3$  m/s이므로  $v_x = 4$  m/s이고, ㉡은 ㉠의  $\frac{4\sqrt{2}}{5}$ 배이다.

ㄴ. 원점과 p를 잇는 직선과 원점과 r를 잇는 직선이 이루는 각은  $90^\circ$ 이므로 물체가  $90^\circ$ 를 회전하는 데 걸리는 시간이 2초이다. 따라서 원궤도를 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간은 8초이고, 원운동의 속력이 5 m/s이므로 원운동의 반지름을  $d$ 라고 하면  $5 = \frac{2\pi d}{8}$ 에서  $d = \frac{20}{\pi}$  m이다.

ㄷ. 원운동의 가속도 크기는  $\frac{v^2}{r}$ 이므로 q에서 가속도의 크기는  $\frac{5\pi}{4}$  m/s<sup>2</sup>이다.

**094** 물체가 등가속도 직선 운동을 하므로  $2as = v^2 - v_0^2$ 에서  $2 \times a \times 2 = 16 - 4$ 이므로 물체의 가속도의 크기  $a = 3$  m/s<sup>2</sup>이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기  $F = ma = 2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$ 이므로 O에서 p까지 물체에  $x$ 축 방향과 나란하게 작용하는 크기는  $6 \cos 60^\circ = 6 \times \frac{1}{2} = 3$  (N)이다.

**095** 중력 가속도가  $g$ 일 때 수평면과  $60^\circ$ 의 각으로 속력  $v$ 로 던져진

물체의 수평 도달 거리  $d = \frac{v^2 \sin 2\theta}{g} = \frac{v^2 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{g}$ 이고, 수평 방향 속력

$v_x = v \cos 60^\circ = \frac{v}{2}$ 이다. 수평면으로부터 높이  $h$ 인 곳에서 운동 방향이

수평면과  $30^\circ$ 의 각을 이룰 때에도 수평 방향 속력  $v_x = \frac{v}{2}$ 이다. 따라서

$\tan 30^\circ = \frac{v_y}{v_x} = \frac{v_y}{\frac{v}{2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ 에 대입하여 높이  $h$ 인 곳에서의  $v'$ 의 연직

방향 속력  $v_y$ 를 구하면  $v_y = \frac{\sqrt{3}}{6}v$ 이다. 따라서  $v' = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \frac{v}{\sqrt{3}}$ 이다.

역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh + \frac{1}{2}mv'^2$ 에서  $\frac{1}{2}v^2 = gh + \frac{1}{6}v^2$ 이므로  $h = \frac{v^2}{3g}$ 이다. 따라서  $h = \frac{2\sqrt{3}}{9}d$ 이다.

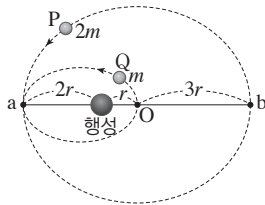
## 04 케플러 법칙과 중력

### 빈출 자료 보기

033쪽

**096** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

**096** (1) 위성에 작용하는 중력의 최댓값은 Q가 P의 2배이므로 행성의 중심에서 a까지의 거리는 행성의 중심에서 O까지의 거리의 2배이다. 행성의 중심에서 O까지의 거리를  $r$ 이라고 하면 행성의 중심에서 a까지의 거리는  $2r$ , O에서 b까지의 거리는  $3r$ 이다. 따라서 행성의 중심에서 b까지의 거리는 행성의 중심에서 a까지 거리의 2배이다.



(2) P가 a에서 b까지 이동하는 동안 행성으로부터의 거리가 멀어지므로 P의 속력은 감소한다.

(4) 위성의 가속도 크기의 최솟값은 P가 b를 지날 때, Q가 a를 지날 때이다. 행성의 중심에서 b까지의 거리는 행성의 중심에서 a까지 거리의 2배이다. 따라서 가속도 크기의 최솟값은 Q가 P의 4배이다.

(5) 위성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. P의 공전 궤도의 긴반지름은  $3r$ 이고, Q의 공전 궤도의 긴반지름은  $\frac{3}{2}r$ 이므로 위성의 공전 주기는 P가 Q의  $2\sqrt{2}$ 배이다.

**바로알기** | (3) 중력의 크기는 두 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 행성의 중심에서 a까지의 거리는 행성의 중심에서 O까지의 거리의 2배이므로, Q에 작용하는 중력의 크기는 O에서 a에서의 4배이다.

## 난이도별 필수 기출

034쪽~041쪽

|       |           |       |       |       |
|-------|-----------|-------|-------|-------|
| 097 ① | 098 해설 참조 | 099 ③ | 100 ② | 101 ⑤ |
| 102 ③ | 103 ④     | 104 ③ | 105 ④ | 106 ② |
| 108 ① | 109 ①     | 110 ② | 111 ⑤ | 112 ⑤ |
| 114 ⑤ | 115 ⑤     | 116 ② | 117 ② | 118 ② |
| 120 ④ | 121 ①, ③  | 122 ② | 123 ③ | 124 ⑤ |
| 126 ④ | 127 ③     | 128 ④ |       | 125 ⑤ |

**097** ㄱ. 케플러 제1법칙은 타원 궤도의 법칙으로 태양계의 모든 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 운동을 한다. 따라서 ㉠은 태양이다.

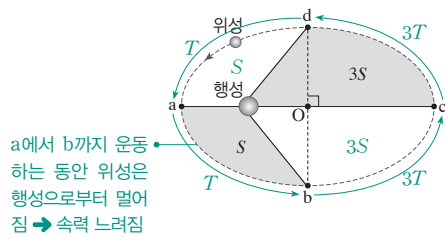
**바로알기** | ㄴ. 케플러 제2법칙은 면적 속도 일정 법칙으로, 행성이 태양으로부터 멀어질수록 행성의 속력은 작아진다. 따라서 ㉡은 '멀어'가 적절하다.

ㄷ. 케플러 제3법칙은 조화 법칙으로, 행성의 공전 주기의 제곱은 행성 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 ㉢은 제곱, ㉣은 세제곱이다.

**098** **모범 답안** 태양계 행성들의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다.  $y$ 축이 공전 궤도의 긴반지름의 세제곱이고,  $x$ 축은 공전 주기의 제곱이므로 토성의 공전 주기의 제곱은  $1000$ 이다. 따라서 토성의 공전 주기는  $10\sqrt{10}$ 인데, 지구의 공전 주기가  $1$ 년이므로 토성의 공전 주기는  $10\sqrt{10}$ 년이다.

| 채점 기준                         | 배점    |
|-------------------------------|-------|
| 토성의 공전 주기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우 | 100 % |
| 토성의 공전 주기만 옳게 쓴 경우            | 50 %  |

**099** • 운동하는 데 걸린 시간은 면적에 비례하므로, a에서 b까지 가는 데 걸린 시간이  $T$ 이면 b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은  $3T$ 이다.  
→ 위성의 공전 주기 =  $T + 3T + T + 3T = 8T$



ㄱ. 위성의 속력은 태양으로부터의 거리가 멀어질수록 속력이 느려지므로, 위성의 속력은 a에서 b까지 운동하는 동안 느려진다.

ㄴ. 위성이 운동하는 데 걸린 시간은 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적에 비례한다. 따라서 위성이 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간이  $T$ 이므로, b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은  $3T$ , c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은  $3T$ , d에서 a까지 운동하는 데 걸린 시간은  $T$ 이다. 따라서 위성의 공전 주기는  $8T$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 위성에 작용하는 중력은 행성과 위성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 행성과 a 사이의 거리는 행성과 c 사이의 거리의  $\frac{1}{2}$ 배보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 최댓값은 최솟값의 4배보다 크다.

**100** ㄴ. 위성이 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{2}{6}T = \frac{1}{3}T$ 이므로, c에서 d까지 행성과 위성을 연결하는 선분이 휩쓸고 지나가는 면적은  $2S$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 위성이 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간이  $\frac{1}{6}T$ 이므로 b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간도  $\frac{1}{6}T$ 이다. 따라서 위성이 a에서 c까지 운동하는 데 걸리는 시간은  $\frac{2}{6}T = \frac{1}{3}T$ 이다.

ㄷ. 위성에는 중력만 작용하므로 역학적 에너지는 보존된다. 따라서 위성의 역학적 에너지는 b에서와 d에서가 같다.

**101** ㄱ. 동일한 타원 궤도를 돌고 있는 A와 B의 주기는 같다. 주기를  $T$ 라고 하면 A와 B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{T}{6}$ .

q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{T}{3}$ , r에서 s까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{T}{3}$ , s에서 p까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{T}{6}$ 이다. 따라서 B의 공전 주기는 A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간의 6배이다.

ㄴ. A와 B의 주기가 같으므로 A가 p에서 q까지 운동하는 동안 걸린 시간은 B가 r에서 s까지 운동하는 동안 걸린 시간의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. A가 q에서 r까지 운동하는 시간은  $\frac{T}{3}$ 이다.  $\frac{T}{3}$  동안 B와 행성을 연결하는 선분이 휩쓸고 지나가는 면적은  $2S$ 이다.

**102** ㄱ. 동일한 타원 궤도를 돌고 있는 P와 Q의 주기는 같다. P와 Q가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은  $t_0$ , b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은  $2t_0$ , c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은  $2t_0$ , d에서 a까지 운동하는 데 걸린 시간은  $t_0$ 이다. 따라서 P와 Q의 주기는  $6t_0$ 이다.  
ㄴ. P와 Q의 공전 주기가 같으므로 Q가 d에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은  $t_0 + t_0 = 2t_0$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. P가 a에서 b까지 이동하는 데 걸린 시간은  $t_0$ 이고, Q가 c에서 d까지 이동하는 데 걸린 시간은  $2t_0$ 이다. 따라서 P가 b를 통과하는 순간 Q는 d를 통과하지 못한다.

**103** A와 B의 공전 주기는 각각  $2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $2\pi\sqrt{\frac{(4r)^3}{GM}}$ 이므로 공전 주기는 B가 A의 8배이다. 따라서 지구와 A를 연결하는 선분이 한 주기 동안 휩쓸고 지나가는 면적이  $\pi r^2$ 이면 지구와 B를 연결하는 선분이 같은 시간 동안 휩쓸고 지나가는 면적은  $\frac{1}{8} \times 16\pi r^2 = 2\pi r^2$ 이다. 따라서 ㉠은 2S이다.

**104** ㄱ. 중력은 질량이 있는 물체들 사이에 서로 당기는 힘으로,  $F = G\frac{2m^2}{r^2}$ 이다.

ㄴ. 중력은 서로 당기는 방향으로 작용하는 힘이다. 따라서 B에 작용하는 중력의 방향은  $-x$  방향이다.

**바로알기** | ㄷ. 작용 반작용의 법칙에 따라 서로 당기는 힘의 크기는 항상 같다. 따라서 A가 받는 힘의 크기가  $F$ 이면 B가 받는 힘의 크기도  $F$ 이다.

**105** ㄱ. 반지름이  $r$ 인 원 궤도를 속력  $v$ 로 등속 원운동을 하는 행성의 공전 주기는  $\frac{2\pi r}{v}$ 이다. 따라서 ㉠은  $\frac{2\pi r}{v}$ 이다.

ㄷ. 주기의 제곱은 반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 ㉡은  $r^3$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 질량이  $m$ 인 행성과 질량이  $M$ 인 태양 사이에 작용하는 중력이 구심력으로 작용한다. 따라서 ㉢은 중력으로 거리의 제곱에 반비례하는 힘이다.

**106** ㄷ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 행성과 위성 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로, 행성의 중심에서 q까지의 거리는 행성의 중심에서 p까지 거리의 2배이다.

**바로알기** | ㄱ. 위성의 속력이 최대인 p는 행성과 위성 사이의 거리가 가장 가까운 지점이고, 위성의 속력이 최소인 q는 행성과 위성 사이의 거리가 가장 먼 지점이다.

ㄴ. 타원 궤도의 긴반지름은 p와 q 사이 거리의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

**107** ㄱ. 중력의 크기는 행성 중심으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 거리가  $r$ 일 때  $2F_0$ 이므로 거리가 2배 떨어진 곳에서 중력은  $F_0$ 이 된다. 따라서 ㉠은  $2r$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 거리가  $2r$ 인 곳에서  $F_0 = G\frac{Mm}{4r^2}$ 이다.

ㄷ. 반지름이  $r$ 인 원 궤도를 돌고 있는 위성의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 주기는  $2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다. 타원 궤도를 돌고 있는 A의 긴반지름은  $\frac{3}{2}r$ 이므로 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{27r^3}{8GM}}$ 이다. 따라서  $T^2 = \frac{27\pi^2}{2GM}r^3$ 이다.

**108** ㄱ. 위성에 작용하는 중력은 위성의 질량에 비례하고, 위성과 행성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 행성과 위성 사이의 가장 가까운 지점은 A와 B가 같은데, A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 B에 작용하는 중력 크기의 최댓값의 2배이므로 A의 질량이 B의 질량의 2배이다.

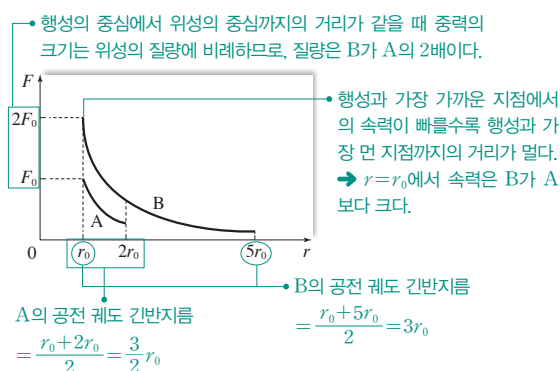
**바로알기** | ㄴ. 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. B의 공전 주기가 A의 공전 주기의  $3\sqrt{3}$ 배이므로 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 3배이다. A의 타원 궤도의 긴반지름이  $2r$ 이므로 B의 타원 궤도의 긴반지름은  $6r = \frac{r+\textcircled{1}}{2}$ 이므로 ㉠은  $11r$ 이다.

ㄷ. 가속도 크기의 최솟값은 행성으로부터 가장 먼 지점을 지날 때이고, 가속도의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 A, B의 거리의 비가 3 : 11이므로 가속도 크기의 최솟값은 A가 B의  $\frac{121}{9}$ 배이다.

**109** A에 작용하는 중력 크기의 최댓값이  $\frac{4}{3}F = G\frac{Mm}{r^2}$ 이면 B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은  $F = G\frac{M(3m)}{R^2}$ 이므로  $R = 2r$ 이다.

공전 주기는 B가 A의  $\sqrt{\frac{27}{8}}$ 배이므로 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의  $\frac{3}{2}$ 배이다. B의 공전 궤도의 긴반지름은  $\frac{R+2R}{2} = \frac{3}{2}R = 3r$ 이므로 A의 공전 궤도의 긴반지름은  $L_A = \frac{r+r'}{2} = 2r$ 에서  $r' = 3r$ 이다. 중력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 ㉠은  $\frac{4}{3}F \times \frac{1}{9} = \frac{4}{27}F$ 이다.

**110**



ㄷ. A의 공전 궤도의 긴반지름은  $\frac{3}{2}r_0$ 이고, B의 공전 궤도의 긴반지름은  $3r_0$ 이므로 B의 공전 주기는 A의 공전 주기의  $2\sqrt{2}$ 배이다. 따라서 B가  $r=r_0$ 에서  $r=5r_0$ 으로 이동하는 데 걸린 시간은 A가  $r=r_0$ 에서  $r=2r_0$ 으로 이동하는 데 걸린 시간의  $2\sqrt{2}$ 배이다.

**바로알기** | ㄱ.  $r=r_0$ 에서 중력의 크기  $F$ 는 위성의 질량에 비례하므로 질량은 B가 A의 2배이다.  $r=r_0$ 에서 속력은 B가 A보다 크므로,  $r=r_0$ 에서 운동 에너지는 B가 A의 2배보다 크다.

ㄴ. 중력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 B가 행성으로부터 가장 가까운 지점을 지날 때의 거리와 가장 먼 지점을 지날 때 거리의 비는 1 : 5이므로 중력의 크기는 25 : 1이다. 따라서 B에 작용하는 중력 크기의 최솟값은  $\frac{2}{25}F_0$ 이다.

**111** 행성에서 A까지 거리의 최솟값을  $r_0$ 이라고 하면 최댓값은  $2r_0$ 이고, 타원 궤도의 긴지름은  $3r_0$ 이다. 주기는 B가 A의  $2\sqrt{2}$ 배이므로 타원 궤도의 긴반지름은 B가 A의 2배이다. 따라서 B의 긴지름은  $6r_0$ 이고 행성에서 B까지 거리의 최솟값과 최댓값의 비가 1 : 2이므로, 행성에서 B까지 거리의 최솟값과 최댓값은 각각  $2r_0$ ,  $4r_0$ 이다. 행성으로부터 떨어진 거리가  $2r_0$ 일 때 A, B에 작용하는 중력의 크기는 각각  $F$ ,  $8F$ 이므로 B의 질량은 A의 8배이다. 따라서  $\frac{m_B}{m_A} = 8$ 이다.

**112** ㄱ. A와 B의 궤도가 만나는 지점인 p에서의 속력이 빠를수록 행성과 가장 먼 지점까지의 거리가 크다. 따라서 p에서 속력은 B가 A보다 크다.

ㄴ. 행성의 질량을  $M$ 이라고 하면 A에 작용하는 중력 크기의 최댓값을  $F_A$ , B에 작용하는 중력 크기의 최솟값을  $F_B$ 라고 하면  $F_A = G \frac{Mm}{R^2}$ 이고  $F_B = G \frac{M(2m)}{r^2}$ 이다. A에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 B에 작용하는 중력 크기의 최솟값의  $\frac{25}{2}$ 배이므로  $r^2 = 25R^2$ 에서  $r = 5R$ 이다. 따라서 A의 타원 궤도에서 행성과 가장 먼 지점까지의 거리는  $2R$ 이다. 가속도의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 A의 가속도 크기의 최솟값은 행성으로부터 떨어진 거리가  $2R$  지점을 지날 때이고, B의 가속도 크기의 최댓값은 행성으로부터 떨어진 거리가  $R$  지점을 지날 때이므로, A의 가속도 크기의 최솟값은 B의 가속도 크기의 최댓값의  $\frac{1}{4}$ 배이다.

ㄷ. A의 공전 궤도의 긴반지름은  $\frac{R+2R}{2} = \frac{3}{2}R$ 이고, B의 공전 궤도의 긴반지름은  $\frac{R+5R}{2} = 3R$ 이다. 따라서 공전 주기는 B가 A의  $2\sqrt{2}$ 배이다.

**113** ㄴ. 위성의 가속도 크기의 최솟값은 A와 B가 행성으로부터 가장 멀리 떨어져 있을 때이다. 타원 궤도에서 행성과 가장 먼 지점까지의 거리는 A가 B보다 작으므로 위성의 가속도 크기의 최솟값은 A가 B보다 크다.

ㄷ. p에서 A와 B의 중력에 의한 위치 에너지는 A와 B가 같고, 운동 에너지는 속력이 큰 B가 A보다 크다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 크고 역학적 에너지는 보존되므로, 타원 궤도를 돌고 있는 위성의 역학적 에너지는 B가 A보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. p에서의 속력이 빠를수록 타원 궤도에서 행성과 가장 먼 지점까지의 거리는 크므로, p에서 속력은 B가 A보다 크다.

**114** P의 가속도 크기가 최댓값일 때 P와 행성 사이의 거리를  $r_0$ 이라고 하면, 최솟값일 때 P와 행성 사이의 거리는  $2r_0$ 이므로 P의 긴반지름은  $\frac{r_0+2r_0}{2} = \frac{3}{2}r_0$ 이다. Q의 가속도 크기가 최댓값일 때 Q와 행성 사이의 거리는  $3r_0$ 이고, 최솟값일 때 Q와 행성 사이의 거리는  $5r_0$ 이므로 Q의 긴반지름은  $\frac{3r_0+5r_0}{2} = 4r_0$ 이다. P와 Q의 공전 주기가 각각  $T_P, T_Q$ 일 때,  $T_P : T_Q = 3\sqrt{3} : 16\sqrt{2}$ 이므로 공전 주기는 Q가 P의  $\frac{16\sqrt{6}}{9}$ 배이다. 따라서 ㉠은  $\frac{16\sqrt{6}}{9}T$ 이다.

**115** ㄱ. 행성의 질량을  $M$ 이라고 하면 B와 C에 작용하는 중력 크기의 최댓값은  $G \frac{M(2m)}{\ominus^2} = G \frac{Mm}{(2r)^2} \times 2$ 이므로 ㉠은  $2r$ 이다.

ㄴ. 위성의 가속도 크기는 위성의 질량에는 관계없고, 위성과 행성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 위성의 가속도 크기의 최솟값은 B가 A의  $\frac{4}{25}$ 배이다.

ㄷ. 위성의 공전 주기의 제곱은 공전 궤도 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 B와 C의 공전 궤도의 긴반지름은 B가  $\frac{7}{2}r$ 이고, C가  $3r$ 이다. 따라서 공전 주기는 B가 C보다 크므로 위성이 행성으로부터의 거리가 최소인 지점에서 최대인 지점으로 운동하는 데 걸린 시간은 B가 C보다 크다.

**116** ㄷ. A의 반지름이  $r$ 이고, B에 작용하는 중력의 최댓값과 최솟값이 각각  $4F_0, F_0$ 이므로 행성에서 가장 가까운 지점까지의 거리는  $r$ , 가장 먼 지점까지의 거리는  $2r$ 이다. 즉, A의 공전 궤도 반지름은  $r$ , B의 공전 궤도 긴반지름은  $\frac{3}{2}r$ 이다. 따라서 B의 공전 주기는 A의 공전 주기의  $\sqrt{\frac{27}{8}}$ 배이다.

**바로알기** | ㄱ. A의 원운동의 반지름과 B가 행성으로부터 가장 가까운 지점까지의 거리가 같고, A에 작용하는 중력과 B에 작용하는 중력의 최댓값이 각각  $F_0, 4F_0$ 이므로 질량은 B가 A의 4배이다.

ㄴ. A의 가속도의 크기는 B의 가속도 크기의 최솟값의 4배이다.

**117** ㄴ. P가 b에서 d까지 운동하는 데 걸리는 시간이  $T$ 이므로 P의 주기는  $4T$ 이다. Q의 긴반지름이  $\frac{3}{2}r$ 이므로 Q의 공전 주기는 P의 공전 주기의  $\sqrt{\frac{27}{8}}$ 배인  $3\sqrt{6}T$ 이다. 따라서 Q가 a에서 c까지 운동하는 데 걸리는 시간은  $\frac{3\sqrt{6}}{2}T$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. P는 가속도의 크기는 일정하지만 가속도의 방향이 행성의 중심 방향으로 계속해서 변한다. 따라서 등가속도 운동은 아니다.

ㄷ. 가속도의 크기는 위성의 질량에는 관계없고 거리의 제곱에 반비례하므로, d에서 가속도의 크기는 P와 Q가 같다.

**118** A의 궤도 긴반지름은  $\frac{R+3R}{2} = 2R$ 이고, B의 반지름은  $R$ 이다. 따라서 A의 공전 주기인  $3t_0 - t_0 = 2t_0$ 은 B의 공전 주기의  $2\sqrt{2}$ 배이다. 따라서 B의 공전 주기는  $\frac{\sqrt{2}}{2}t_0$ 이다.

**119** ㄴ. A의 속력의 최댓값은 A가 q를 통과할 때이다. q에서의 속력이 A가 B보다 크므로 B가 행성으로부터 먼 지점의 타원 궤도를 돌고 있는 것이다. 따라서 A의 속력의 최댓값은 B의 속력보다 크다.

ㄷ. A가 1번 공전하는 동안 B는 8번 공전하므로, 공전 주기는 A가 B의 8배이다. 공전 궤도 긴반지름의 세제곱은 공전 주기의 제곱에 비례하므로, A의 궤도 긴반지름은 B의 공전 반지름의  $\sqrt[3]{8^2} = 4$ (배)이다. B의 반지름을  $R$ 이라고 하면 A의 긴반지름은  $4R$ 이다. 따라서 A에 작용하는 중력 크기의 최솟값은 A가 p를 통과할 때이므로 행성으로부터의 거리는  $7R$ 이고, 중력의 크기는 위성의 질량에 비례하고 거리의 제곱에 반비례하므로 A에 작용하는 중력의 최솟값은 B에 작용하는 중력 크기의  $\frac{1}{98}$ 배이다.

**바로알기** | ㄱ. 속력은 행성에 가까울수록 크므로 A의 속력은 p에서가 q에서보다 작다.

**120** Q에 작용하는 중력이 구심력이므로  $G \frac{Mm_Q}{r^2} = \frac{m_Q v_Q^2}{r}$ 에서 Q의 속력  $v_Q = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. Q의 주기  $T_Q = \frac{2\pi r}{v_Q} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다. P의 타원 궤도의 긴반지름이  $2r$ 이므로 P의 주기  $T_P = 2\sqrt{2}T_Q = 4\pi \sqrt{\frac{2r^3}{GM}}$ 이다.

**121** ① A에 작용하는 중력이 구심력이므로  $G \frac{Mm_A}{r^2} = \frac{m_A v_A^2}{r}$ 에서 A의 속력  $v_A = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다.

③ p에서 B의 중력에 의한 위치 에너지는 A와 같고, B의 운동 에너지는 A보다 크다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 크다. 역학적 에너지는 보존되므로 q에서 B의 역학적 에너지는 A의 역학적 에너지보다 크다.

**바로알기** | ② A의 주기  $T_A = \frac{2\pi r}{v_A} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다. 그런데 B의 타원 궤도의 긴반지름이  $2r$ 이므로 B의 주기  $T_B = 2\sqrt{2}T_A = 4\pi \sqrt{\frac{2r^3}{GM}}$ 이다. 따라서 B가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은  $2\pi \sqrt{\frac{2r^3}{GM}}$ 이다.

④ 타원 궤도를 돌고 있는 위성의 속력은 행성으로부터 가장 가까운 거리를 지날 때 가장 크다. 따라서 B의 속력은 p에서 q에서보다 크다.

⑤ 행성으로부터 같은 거리만큼 떨어진 지점을 지날 때 위성의 속력이 클수록 행성으로부터 떨어진 최대 거리가 크다. 따라서 p에서 B의 속력은 원운동을 하는 A의 속력인  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 보다 크다.

⑥ 위성의 가속도 크기는 행성과 위성 사이 거리의 제곱에 반비례한다. B의 가속도 크기의 최댓값은 B가 p를 지날 때이다. 따라서 B의 가속도 크기의 최댓값과 A의 가속도 크기는 같다.

**122** ㄴ.  $\frac{4\pi^2}{GM}r_A^3 = \frac{4\pi^2}{8GM}r_B^3$ 이므로  $2r_A = r_B$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 반지름이  $r$ 인 원 궤도를 돌고 있는 A의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r_A}}$ 이므로 주기는  $2\pi \sqrt{\frac{r_A^3}{GM}}$ 이다. 따라서  $T^2 = \frac{4\pi^2}{GM}r_A^3$ 이다.

ㄷ. A의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r_A}}$ 이고, B의 속력은  $\sqrt{\frac{8GM}{2r_A}}$ 이다. 따라서 인공위성의 속력은 A가 B의  $\frac{1}{2}$ 배이다.

**123** ㄱ. 등속 원운동을 하는 위성에는 행성의 중력이 구심력으로 작용하므로 A, B에 작용하는 구심력은 각각  $G\frac{Mm}{r^2}$ ,  $\frac{4GMm}{(2r)^2} = G\frac{Mm}{r^2}$ 이다. 따라서 A, B에 작용하는 구심력의 크기는 같다.

ㄴ. A, B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 으로 같고, 질량은 B가 A의 2배이므로, 위성의 운동 에너지는 B가 A의 2배이다.

**바로알기** | ㄷ. A, B의 공전 주기는 각각  $2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $2\pi \sqrt{\frac{(2r)^3}{2GM}}$ 이므로 공전 주기는 B가 A보다 크다.

**124** ㄱ. 위성에 작용하는 중력이 구심력 역할을 한다. 따라서 ㉠은 중력이다.

ㄴ. 중력이 구심력이므로  $\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 에서 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다.

따라서 ㉡은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다.

ㄷ.  $T^2 = \frac{4\pi^2}{GM}r^3$ 이므로 위성의 궤도 반지름은  $\sqrt[3]{\frac{GM}{4\pi^2}T^2}$ 이다. 따라서

㉢은  $\sqrt[3]{\frac{GM}{4\pi^2}T^2}$ 이다.

**125** ㄱ. A와 B에 작용하는 중력이 구심력이고, A와 B에 작용하는 구심력의 크기가 같으므로  $G\frac{Mm_A}{r^2} = G\frac{Mm_B}{16r^2}$ 에서  $16m_A = m_B$ 이다. 따라서 질량은 B가 A의 16배이다.

ㄴ. A와 B의 속력은 각각  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $\sqrt{\frac{GM}{4r}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. 따라서 속력은 A가 B의 2배이다.

ㄷ. A와 B의 공전 주기는 각각  $2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $2\pi \sqrt{\frac{(4r)^3}{GM}} = 16\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다. 따라서 위성의 공전 주기는 B가 A의 8배이다.

**126** ㄴ. 위성의 공전 주기  $T = \frac{2\pi r}{v}$ 이다. p의 속력이 q의 속력의 2배이므로 주기는 q가 p의 2배이다.

ㄷ.  $M_A = 4M_B$ 이고 위성의 질량이 같으므로 p에 작용하는 중력의 크기는 q에 작용하는 중력의 크기의 4배이다.

**바로알기** | ㄱ. 원운동의 반지름을  $r$ , A, B의 질량을  $M_A$ ,  $M_B$ 라고 하면, p, q의 속력은 각각  $\sqrt{\frac{GM_A}{r}}$ ,  $\sqrt{\frac{GM_B}{r}}$ 이고, 속력은 p가 q의 2배이므로  $M_A = 4M_B$ 이다.

**127** ㄱ. 원운동을 하는 물체의 속력보다 큰 속력으로 발사하면 물체는 타원 궤도를 따라 운동한다. 따라서 타원 궤도를 돌고 있는 B의 속력은 A의 속력  $v$ 보다 크다.

ㄴ. A의 주기는  $\frac{2\pi r}{v}$ 이고, 타원 궤도를 돌고 있는 B의 주기는 A의 주기보다 크다. 따라서 B의 주기는  $\frac{2\pi r}{v}$ 보다 크다.

**바로알기** | ㄷ. 등속 원운동을 하고 있는 A의 가속도의 크기는  $\frac{v^2}{r}$ 이다. B의 가속도가 최소일 때의 지구와 물체 사이의 거리는  $r$ 보다 크다. 따라서 B의 가속도 크기의 최솟값은  $\frac{v^2}{r}$ 보다 작다.

**128** ㄱ. 원운동을 하는 물체의 속력보다 큰 속력으로 던지면 물체는 타원 궤도를 따라서 운동한다. 따라서 타원 궤도를 돌고 있는 B의 속력은 원운동을 하고 있는 A의 속력  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 보다 크다.

ㄷ. 동일한 타원 궤도를 돌고 있는 B와 C의 공전 주기는 같다.

**바로알기** | ㄴ. P에서는 지구와 A, C 사이의 거리가 같다. 따라서 질량에 관계없이 가속도의 크기는 같다.

## 05 탈출 속도

### 빈출 자료 보기

043쪽

**129** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

**130** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

**129** (1) 탈출 속도는 B가 A의 2배이므로  $\sqrt{\frac{2GM_0}{R_0}} \times 2 = \sqrt{\frac{2G \times \textcircled{1}}{4R_0}}$ 이다. 따라서  $\textcircled{1}$ 은  $16M_0$ 이다.

(3) 표면 온도가 높고 탈출 속도가 작은 A에서 질량이 작은 수소 기체가 가장 적게 존재한다.

(5) 동일한 물체이므로 물체의 질량은 같고, A와 C의 질량이 같으므로 행성의 중심에서 물체까지의 거리가 클수록 중력에 의한 위치 에너지가 크다. 따라서 동일한 물체가 행성의 표면으로부터 같은 높이를 지나 는 순간, 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 A에서가 C에서보다 크다.

**바로알기** | (2) C의 탈출 속도는  $\sqrt{\frac{2GM_0}{\frac{1}{4}R_0}} = 2\sqrt{\frac{2GM_0}{R_0}}$ 이다.

(4) 천체의 표면에 정지해 있는 동일한 물체에 작용하는 중력의 크기는  $\frac{\text{행성의 질량}}{(\text{행성의 반지름})^2}$ 에 비례한다. 따라서 A와 B에 작용하는 중력의 크기는 같다.

**130** (1) A의 추진 원리는 A와 분출하는 연료 사이에 작용 반작용의 법칙으로 설명할 수 있다.

(2) A의 중력에 의한 위치 에너지는 행성의 중심에서 멀어질수록 크다. 따라서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 q에서가 p에서보다 크다.

(3) 가속도의 방향은 물체에 작용하는 중력의 방향과 같다. 따라서 p에서 A와 B에 작용하는 중력의 방향이 같으므로 p에서 A와 B의 가속도 방향은 같다.

(5) p에서 A와 B의 중력에 의한 위치 에너지는 같고, p에서 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. p와 q에서 A의 역학적 에너지는 같으므로  $-G\frac{Mm}{r} + \frac{1}{2}mv^2 = -G\frac{Mm}{3r}$ 이다. 따라서 p에서 A의 속력은  $\sqrt{\frac{4GM}{3r}}$ 으로 원운동을 하고 있는 B의 속력보다 크다. p에서 A와 B의 중력에 의한 위치 에너지는 같고, 운동 에너지는 A가 B보다 크므로 역학적 에너지는 A가 B보다 크다.

**바로알기** | (4) p에서 A와 B가 행성으로부터 떨어진 거리가 같으므로 중력에 의한 위치 에너지는  $-G\frac{Mm}{r} = -E_0$ 으로 같다. 원운동을 하고 있는 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times m \times \left(\sqrt{\frac{GM}{r}}\right)^2 = G\frac{Mm}{2r}$ 이므로 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}E_0$ 이다.

ㄴ. 행성의 표면에 탈출 속도로 발사된 물체가 행성으로부터 무한히 먼 지점에 도달하는 순간 물체의 역학적 에너지는 0이므로, 행성으로부터 무한히 먼 지점에서 행성의 중력에 의한 위치 에너지도 0이다. 따라서  $\textcircled{1}$ 은 0이다.

**바로알기** | ㄷ. 반지름이 R이고 질량이 M인 행성의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로  $\textcircled{2}$ 은  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이다.

**132** ① A가 행성의 중력에 의해서 행성으로 떨어지므로 A의 속력은 원운동을 하는 B의 속력보다 작다.

② B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. B는 지구 중력에 의해서 원운동을 하므로 B의 속력  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 은 탈출 속력보다 작다.

**바로알기** | ③ B에 작용하는 구심력의 크기는 B에 작용하는 중력이다. B는 행성으로부터 떨어진 거리가 A보다 크므로 B에 작용하는 중력인 구심력은 A에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

④ 지면에 떨어지는 A의 던지는 속력은 원운동을 하는 B의 속력보다 작다. 원운동을 하는 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이므로 A를 던지는 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 보다 작다.

⑤ 원운동을 하는 물체에 작용하는 구심력은 중력이다. 물체의 질량을 m이라고 하면  $m\frac{v^2}{r} = G\frac{Mm}{r^2}$ 이므로 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다.

⑥ 등속 원운동을 하는 물체의 가속도 크기는 일정하지만, 가속도의 방향이 원의 중심 방향으로 계속해서 변한다. 따라서 등속 원운동을 하는 B는 등가속도 운동이 아니다.

**133** A의 중력에 의한 위치 에너지는  $-E_0 = -G\frac{Mm}{r}$ 이므로, B의 중력에 의한 위치 에너지는  $-G\frac{2Mm}{2r} = -E_0$ 이다. B에 작용하는 중력이 구심력이므로 B의 속력을 v라고 하면  $2m \times \frac{v^2}{2r} = G\frac{M(2m)}{4r^2}$ 이므로  $v = \sqrt{\frac{GM}{2r}}$ 이다. 따라서 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 2m \times \left(\sqrt{\frac{GM}{2r}}\right)^2 = G\frac{Mm}{2r} = \frac{1}{2}E_0$ 이므로 B의 역학적 에너지는  $-E_0 + \frac{1}{2}E_0 = -\frac{1}{2}E_0$ 이다.

**134** ㄱ. (가)에서 위성의 중력에 의한 위치 에너지가  $-G\frac{2Mm}{R} = -E_0$ 이다. (가)에서 원운동을 하는 위성의 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로 위성의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times m \times \left(\sqrt{\frac{2GM}{R}}\right)^2 = G\frac{Mm}{R}$ 이므로 위성의 운동 에너지는  $\frac{1}{2}E_0$ 이다.

ㄴ. (나)에서 위성의 중력에 의한 위치 에너지는  $-G\frac{M(2m)}{2R} = -\frac{1}{2}E_0$ 이다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 행성의 반지름을 r이라고 하면 (가)에서 행성의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{4GM}{r}}$ 이고, (나)에서 행성의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이다. 따라서 행성의 탈출 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

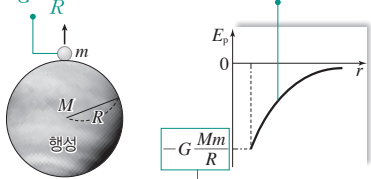
## 난이도별 필수 기출

044쪽~047쪽

|       |          |       |       |       |       |
|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 131 ③ | 132 ①, ② | 133 ④ | 134 ⑤ | 135 ⑤ | 136 ⑤ |
| 137 ① | 138 ⑤    | 139 ④ | 140 ④ | 141 ⑤ | 142 ④ |
| 143 ④ | 144 ②    | 145 ④ | 146 ③ |       |       |

**131** ㄱ. 탈출 속력은 물체가 행성의 중력을 벗어나 무한히 멀어질 수 있는 최소한의 속력이다. 따라서  $\textcircled{1}$ 은 '최소한'이 적절하다.

**135** 행성 표면에서 물체의 역학적 에너지  $= \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R}$  행성 표면으로부터 멀어질수록 중력에 의한 위치 에너지가 커진다.



(-)값을 갖는 것은 물체가 행성에 속박되어 있음을 의미한다.

- ㄱ. 중력에 의한 위치 에너지가 (-)값을 갖는 것은 물체가 행성의 중력에 속박되어 있음을 의미한다.  
 ㄴ. 물체가 행성 표면으로부터 멀어질수록 중력에 의한 위치 에너지는 증가한다.  
 ㄷ. 행성 표면에 있는 물체가 행성을 벗어나기 위해서는 역학적 에너지는  $\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} \geq 0$ 이다. 따라서 행성을 탈출하는 데 필요한 운동 에너지의 최소값은  $G\frac{Mm}{R}$ 이다.

**136** ㄱ. A와 B의 질량은 각각  $\frac{4}{3}\pi(10R)^3\rho$ ,  $\frac{4}{3}\pi(R)^35\rho$ 이다. 따라서 질량은 A가 B보다 크다.

ㄴ. 천체의 표면에 정지해 있는 물체에 작용하는 중력의 크기는  $\frac{\text{행성의 질량}}{(\text{행성의 반지름})^2}$ 에 비례한다. A의 질량이 B의 질량의 200배이고, A의 반지름이 B의 반지름의 10배이므로  $\frac{\text{행성의 질량}}{(\text{행성의 반지름})^2}$ 의 값은 A가 B의 2배이다. 따라서 중력의 크기는 A에서 B에서의 2배이다.

ㄷ. A의 질량은  $\frac{4}{3}\pi(10R)^3\rho$ 이고, 반지름이  $10R$ 이므로 A의 탈출 속도는  $\sqrt{2G\left(\frac{4}{3}\pi\frac{(10R)^3\rho}{10R}\right)} = \sqrt{2G\left(\frac{4\pi\rho}{3}\right)} \times 10R$ 이다. B의 질량은  $\frac{4}{3}\pi(R)^35\rho$ 이고, 반지름이  $R$ 이므로 B의 탈출 속도는

$\sqrt{2G\left(\frac{4}{3}\pi\frac{(R)^35\rho}{R}\right)} = \sqrt{2G\left(\frac{4\pi\rho}{3}\right)} \times \sqrt{5}R$ 이다. 따라서 탈출 속도는 A가 B의  $2\sqrt{5}$ 배이다.

**137** ㄱ. 행성의 탈출 속도는  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로 ㉠은 11.2보다 작다.

**바로알기** ㄴ. 지구의 주요 대기 성분인 산소의 평균 속도의 크기가 지구의 탈출 속도인 11.2 km/s보다 작으므로 우주 공간으로 날아가지 못하고 지구의 대기를 이룬다.

ㄷ. 분자량이 작은 헬륨 기체의 분자의 평균 속도가 지구형 행성의 탈출 속도보다 커서 헬륨 기체가 우주 공간으로 날아간다. 따라서 산소의 평균 속도의 크기는 헬륨의 평균 속도의 크기보다 작다.

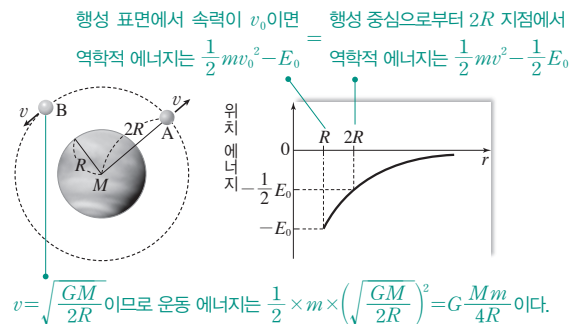
**138** ㄱ. 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 행성 표면에서의 역학적 에너지와 q에서 역학적 에너지는 같다. 따라서  $\frac{1}{2}mv^2 - G\frac{Mm}{R} = -G\frac{Mm}{4R}$ 이므로 행성의 표면에서의 속도  $v = \sqrt{\frac{3GM}{2R}}$ 이다.

ㄴ. p와 q에서 역학적 에너지가 같다. 따라서 p에서 속력을  $v'$ 라고 하면  $\frac{1}{2}mv'^2 - G\frac{Mm}{2R} = -G\frac{Mm}{4R}$ 에서  $v' = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이므로 p에서 속도  $v' = \frac{\sqrt{3}}{3}v$ 이다.

ㄷ. 물체가 p에서 q까지 운동하는 동안 행성에 의한 중력이 감소하므로 물체의 가속도의 크기는 감소한다.

**139** 지구의 질량을  $M$ , 인공위성의 질량을  $m$ 이라고 할 때, 인공위성의 중력에 의한 위치 에너지는  $-G\frac{Mm}{r} = -E_0$ 이고, 인공위성의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{r}}$ 이므로, 이 인공위성을 지구로부터 탈출시키기 위한 운동 에너지의 최소값은  $\frac{1}{2} \times m \times \left(\sqrt{\frac{2GM}{r}}\right)^2 = G\frac{Mm}{r} = E_0$ 이다.

**140**



ㄱ. A의 중력에 의한 위치 에너지가  $-G\frac{Mm}{R} = -E_0$ 이다. 원운동을 하는 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이므로 B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times m \times \left(\sqrt{\frac{GM}{2R}}\right)^2 = G\frac{Mm}{4R} = \frac{1}{4}E_0$ 이다. 따라서  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{4}E_0$ 이므로  $v = \sqrt{\frac{E_0}{2m}}$ 이다. A의 행성 표면에서 속력을  $v_0$ 이라고 하면 역학적 에너지 보존 법칙에 따라  $\frac{1}{2}mv_0^2 - E_0 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}E_0$ 이다. 따라서  $v_0 = \sqrt{\frac{3E_0}{2m}}$ 이므로  $v_0 = \sqrt{3}v$ 이다.

ㄷ. B의 역학적 에너지는  $\frac{1}{4}E_0 - \frac{1}{2}E_0 = -\frac{1}{2}E_0$ 이다.

**바로알기** ㄴ. B가 속도  $v$ 로 등속 원운동을 하므로  $v$ 는 탈출 속도보다 작다. 따라서 A가  $v$ 의 속력으로 행성의 중심으로부터  $2R$ 만큼 떨어진 지점을 지나므로, A는 행성의 중력장을 벗어날 수 없다.

**141** ㄱ. A의 중력에 의한 위치 에너지는  $-E_0 = -G\frac{Mm}{R}$ 이고, A에 작용하는 구심력=중력이므로  $m\frac{v^2}{R} = G\frac{Mm}{R^2}$ 에서 A의 속도  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이다. 따라서 A의 운동 에너지는  $G\frac{Mm}{2R} = \frac{1}{2}E_0$ 이므로 A의 역학적 에너지는  $-E_0 + \frac{1}{2}E_0 = -\frac{1}{2}E_0$ 이다.

ㄴ. B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이므로 B의 운동 에너지는

$\frac{1}{2} \times 2m \times \left(\sqrt{\frac{GM}{2R}}\right)^2 = \frac{1}{2}E_0$ 이다.

ㄷ. A의 탈출 속도는  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이고, B의 탈출 속도는  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이므로 탈출 속도는 A가 B의  $\sqrt{2}$ 배이다.

**142** ㄴ. A와 B의 탈출 속도가 같으므로 지구의 중력장을 벗어날 수 있는 운동 에너지의 최소값은 질량에 비례한다. 따라서 B가 A의 2배이다.

ㄷ. C의 질량을  $m'$ 라고 하면 C에 작용하는 구심력이 중력이므로  $m'\frac{v^2}{r} = G\frac{Mm'}{r^2}$ 이므로 C의 속도  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. C의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{r}} = \sqrt{2}v$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 행성 표면에서 탈출 속도는  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로 물체의 질량에 관계없다. 따라서 A와 B의 탈출 속도는 같다.

**143** (가)와 (나)에서 운동량의 총합은 항상 같다. (나)에서 로켓의 속력을  $v'$ 라고 하면  $5mv = -0.2mv + 4mv'$ 이므로  $v' = 1.3v$ 이다.

**144** ㄴ. (가)와 (나)에서 운동량의 총합은 같으므로  $(M+m)v_0 = Mv_2 + m(v_0 - v_1)$ 이므로  $v_2 = v_0 + \frac{m}{M}v_1$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 행성의 탈출 속도는  $\left(\frac{\text{행성의 질량}}{\text{행성의 반지름}}\right)$ 이 클수록 크다. 따라서 로켓의 질량에 관계없다.

ㄷ. 로켓의 운동량은 보존되므로 (가)와 (나)에서 운동량의 크기는 같다.

**145** (가)와 (나)에서 운동량의 총합은 같다. (가)에서 운동량의 총합은  $3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 (나)에서도 운동량의 총합은  $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. (나)에서 A와 B의 운동 방향이 같고, A와 B 사이의 거리가 1초당 3 m씩 멀어지므로 A의 속력을  $v$ 라고 하면 B의 속력은  $(v+3)$ 이다. 따라서  $9 = 1 \times v + 2(v+3)$ 에서  $v = 1 \text{ m/s}$ 이므로, (나)에서 B의 속력은  $4 \text{ m/s}$ 이고, B의 운동 에너지는  $\frac{1}{2} \times 2 \times 4^2 = 16 \text{ (J)}$ 이다.

**146** ㄱ. 우주선은 작용 반작용의 법칙에 따라 연료를 분출하면서 추진력을 얻는다. 따라서 ㉠은 작용 반작용이다.

ㄴ. 우주선의 질량을 줄여 더 큰 가속도를 얻기 위해서 우주선의 연료 통을 여러 단으로 구성한다.

**바로알기** | ㄷ. 우주선은 운동량 보존 법칙에 따라 배출된 연료만큼의 운동량을 얻는다. 따라서 ㉡은 운동량이다.

## 06 가속 좌표계와 등가 원리

### 빈출 자료 보기

049쪽

**147** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

**148** (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

**147** 가속도 운동을 하는 엘리베이터 안은 가속 좌표계이므로 엘리베이터 안에 탄 사람은 관성력을 받는다. 엘리베이터 안에 타고 있는 사람이 받는 관성력의 방향은 엘리베이터의 가속도 방향의 반대 방향이다.

**바로알기** | (1) (가)에서 엘리베이터가 위쪽으로 움직이면서 빨라지고 있으므로 철수에 작용하는 관성력의 방향은 아래쪽이다.

(4) (다)에서는 엘리베이터가 등속으로 운동하고 있으므로 가속도는 0이다. 따라서 철수에 작용하는 관성력은 0이다.

(5) (다)에서 더 빠른 속력으로 운동하더라도 등속으로 움직일 경우 가속도가 0이므로 철수에 작용하는 관성력은 0이다. 따라서 철수의 몸무게는 변하지 않고 일정하다.

**148** (가)와 같이 지표면에 정지해 있는 우주선 안은 중력이 작용하는 공간이다. (나)와 같이 중력이 작용하지 않는 우주 공간에서 중력 가속도의 크기로 운동하는 우주선 안에서는 관성력을 느끼게 되는데, 가속도의 크기가 중력 가속도의 크기와 같으므로 (나)에서 철수는 자신이 중력을 받는지, 관성력을 받는지 구분할 수 없다.

**바로알기** | (1) 철수의 몸무게는 (가)와 (나)에서 같다.

(2) (가)에서 우주선은 지표면에 정지해 있으므로 철수에게 작용하는 관성력은 0이다.

(4) (가)와 (나)에서 우주선 안에 있는 물체에는 같은 가속도가 작용한다. 따라서 우주선 바닥으로부터 같은 높이에 들고 있던 공을 놓게 되면 (가)와 (나)에서 동시에 바닥에 닿는다.

### 난이도별 필수 기출

050쪽~055쪽

|                    |                  |              |                  |              |
|--------------------|------------------|--------------|------------------|--------------|
| <b>149</b> ②       | <b>150</b> ①, ③  | <b>151</b> ① | <b>152</b> ①     | <b>153</b> ① |
| <b>154</b> ③       | <b>155</b> 해설 참조 | <b>156</b> ② | <b>157</b> ④     |              |
| <b>158</b> ① ㄱ ② ㄹ | <b>159</b> ④     | <b>160</b> ⑤ | <b>161</b> ①     | <b>162</b> ① |
| <b>163</b> ④       | <b>164</b> ①, ③  | <b>165</b> ① | <b>166</b> 해설 참조 | <b>167</b> ① |
| <b>168</b> ②       | <b>169</b> ①     | <b>170</b> ⑤ | <b>171</b> ①     | <b>172</b> ⑤ |

**149** ㄷ. 버스의 가속도를 증가시키면 물체에 작용하는 관성력의 크기가 커진다. 따라서 실과 연직선이 이루는 각  $\theta$ 도 커진다.

**바로알기** | ㄱ. A의 좌표계에서 물체는 정지한 것으로 보인다. 따라서 물체에 작용하는 중력, 실이 물체를 당기는 힘, 관성력의 합력이 0인 것이다. 그러므로 관성력은 0이 아니다.

ㄴ. B의 좌표계에서 물체는 버스와 함께 버스의 운동 방향으로 등가속도 운동을 한다. 따라서 B의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

**150** ① 철수는 버스 안에서 물체와 함께 운동하므로, 철수가 볼 때 물체는 정지해 있다.

③ 철수가 볼 때 물체가 버스의 운동 방향으로 기울어져 있으므로 관성력 방향도 버스의 운동 방향인  $+x$  방향이다.

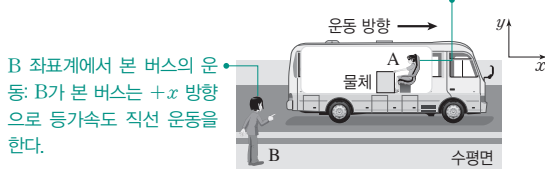
**바로알기** | ② 영희는 버스 밖에서 버스가 운동하는 것을 보고 있다. 따라서 영희가 볼 때 물체는 버스와 함께 등가속도 운동을 한다.

④ 영희는 관성력을 느낄 수 없다. 따라서 영희의 좌표계에서 관성력의 방향은 없다.

⑤ 철수가 볼 때 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

⑥ 물체에 작용하는 관성력 방향이  $+x$  방향이므로 버스의 가속도 방향은  $-x$  방향이다. 버스의 가속도 방향이 버스의 운동 방향과 반대 방향이므로 영희가 볼 때 버스가 점점 느려지는 등가속도 운동을 한다. 따라서 영희의 좌표계에서 버스의 가속도는 0이 아니다.

A 좌표계에서 본 물체의 운동: 물체가  $-x$  방향으로 운동하므로 관성력의 방향은  $-x$  방향이다. 따라서 버스의 가속도 방향은  $+x$  방향임을 알 수 있다.



B 좌표계에서 본 버스의 운동: B가 본 버스는  $+x$  방향으로 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄴ. A의 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력 방향이  $-x$  방향이라는 것은 버스의 가속도 방향이 운동 방향과 같다는 것을 의미한다. 따라서 B가 관찰할 때 버스의 속력은 증가한다.

**바로알기** | ㄱ. A가 물체를 가만히 놓았을 때 물체가  $-x$  방향으로 운동했다는 것은  $-x$  방향으로 관성력이 작용했다는 것이다.

ㄷ. A가 관찰할 때 물체는  $-x$  방향으로 관성력을 받는다. 따라서 물체는 등가속도 운동을 한다.

152 ㄴ. 철수가 본 물체는 정지 상태이다. 따라서 철수의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

**바로알기** | ㄱ. 영희는 버스 밖에서 수평면에 정지해 있으므로, 영희의 좌표계에서는 관성력을 표현할 수 없다.

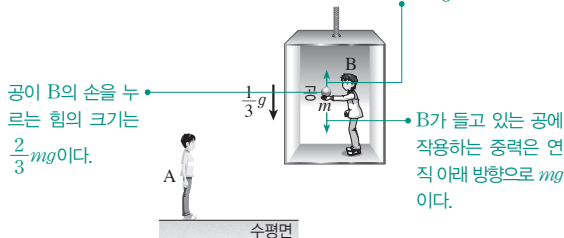
ㄷ. 버스의 속력이 일정하게 감소하고 있으므로 버스의 가속도 방향은  $-x$  방향이고, 물체에 작용하는 관성력의 방향은  $+x$  방향이다. 따라서 용수철은 원래 길이보다 늘어나 있다. 따라서  $L > L_0$ 이다.

153 ㄱ. 버스는 오른쪽 방향으로 등가속도 운동을 하고 있으므로 물체는 벽면 방향으로 관성력을 받는다. 버스의 가속도가 일정하므로 관성력의 크기도 일정하다. 따라서 물체는 벽면과 충돌 전까지 등가속도 운동을 한다.

**바로알기** | ㄴ. 충돌 직후 물체의 운동 방향은 오른쪽 방향이지만 물체는 벽면 방향으로 관성력을 계속 받는다. 따라서 물체의 운동 방향과 관성력의 방향이 반대 방향이므로 물체는 벽면과 충돌한 이후에 속력이 느려진다.

ㄷ. 충돌 전후 물체는 벽면과의 충돌에 의해 운동량이 변한다.

B가 탄 엘리베이터의 가속도가 중력 방향으로  $\frac{1}{3}g$ 이므로 B의 좌표계에서 공에 작용하는 관성력은 연직 위 방향으로  $\frac{1}{3}mg$ 이다.

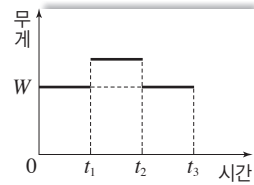


ㄱ. 엘리베이터의 가속도 방향이 연직 아래 방향이므로 B의 좌표계에서 볼 때 공에 작용하는 관성력 방향은 연직 위 방향이다.

ㄴ. A의 좌표계에서 볼 때 공은 엘리베이터와 함께 움직인다. 따라서 공에 작용하는 알짜힘의 크기는 질량과 가속도의 곱인  $\frac{1}{3}mg$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 공의 무게는  $mg$ 인데 A의 좌표계에서 보는 공의 알짜힘은  $\frac{1}{3}mg$ 이므로, 그 차이인  $\frac{2}{3}mg$ 만큼 B의 손이 공을 떠받치고 있는 것이다. 따라서 공이 B의 손에 작용하는 힘의 크기도  $\frac{2}{3}mg$ 이다.

**모범 답안**  $0 \sim t_1$  동안은 등속도 운동을 하므로 관성력이 0이다. 따라서 물체의 무게는  $W$ 이다.  $t_1 \sim t_2$  동안은 연직 아래로 운동하면서 속력이 감소하므로 가속도의 방향은 연직 위 방향이다. 따라서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 중력 방향이므로 중력에 관성력이 더해져 무게가  $W$ 보다 크다.  $t_2 \sim t_3$  동안은 정지 상태이므로 물체의 무게는  $W$ 이다. 따라서 이를 그래프로 대략적으로 나타내면 다음과 같다.



| 채점 기준                            | 배점    |
|----------------------------------|-------|
| 그래프 그리기와 까닭에 대한 설명이 모두 옳은 경우     | 100 % |
| 그래프 그리기와 까닭에 대한 설명 중 한 가지만 옳은 경우 | 50 %  |

ㄷ. 버스는  $+x$  방향으로 등가속도 운동을 하므로 철수의 좌표계에서 관성력의 방향은 버스의 가속도 방향의 반대인  $-x$  방향이다.

**바로알기** | ㄱ. 철수는 버스 안에 타고 있으므로 철수의 좌표계에서 자기 자신은 정지해 있는 것으로 느낀다. 따라서 철수는 버스가 정지한 것으로 느낀다.

ㄴ. 영희의 좌표계에서 물체는 중력과 빗면이 떠받치는 힘의 합력으로  $+x$  방향으로 등가속도 운동을 한다. 따라서 영희의 좌표계에서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

철수가 공을 놓은 순간부터 공에 작용하는 힘은 중력뿐이므로 영희는 공이 등가속도 직선 운동을 하는 것으로 본다. 따라서 공은 연직 위쪽으로 처음 속도  $v_0$ 로 던져진 물체와 같은 운동을 한다.

철수는 등가속도 운동을 하는 버스 안에 있으므로 공에 작용하는 관성력을 포함하여 공의 운동을 표현해야 한다. 공에는 중력과  $-x$  방향의 관성력이 동시에 작용하므로 철수가 관찰한 공의 운동 경로는 ㄱ이다. 또 영희는 수평면에서 있으므로 영희가 볼 때 공에 작용하는 힘은 중력뿐이다. 따라서 철수가 공을 놓는 순간의 버스 속력을 처음 속도로 하는 수평으로 던진 물체의 운동을 관찰하게 되므로 영희가 관찰한 공의 운동 경로는 ㄴ이다.

ㄴ. 수평면에 정지해 있는 영희가 볼 때 A의 무게가 10 N이므로 정지 상태에서 측정한 이 물체의 무게는 10 N이다. 그런데 2초 이후에 A가 실을 당기는 힘의 크기가 작아졌으므로 A는 위 방향으로 관성력을 받은 것이다.

ㄷ. 2초부터 4초까지 A가 실을 당기는 힘의 크기가 일정하므로 A에 작용하는 알짜힘도 일정하다. 따라서 엘리베이터의 가속도 크기는 일정하다.

**바로알기** | ㄱ. 2초 이후 엘리베이터의 가속도 방향은 운동 방향과 같은 방향이므로 엘리베이터의 속력은 3초일 때가 1초일 때보다 크다.

ㄴ. 철수가 관찰할 때 추는 정지해 있으므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 추의 중력, 실이 추를 당기는 힘, 그리고 원심력이 알짜힘 0을 만든다.

ㄷ. 추에 작용하는 원심력의 크기는 구심력의 크기와 같으므로 추의 질량을  $m$ , 중력 가속도를  $g$ 라고 하면  $F_{\text{원}} = mg \tan \theta$ 이다. 또 속력이 포함된 식으로 표현하면  $F_{\text{원}} = \frac{mv^2}{r}$ 이다. 즉, 놀이기구의 속력이 증가하면 원심력의 크기가 증가하고,  $\theta$ 는 커진다.

**바로알기** | ㄱ. 캡슐은 등속 원운동을 한다. 등속 원운동은 속력은 일정하지만 운동 방향이 계속 변하는 운동이다. 따라서 캡슐은 등속도 운동을 하지 않는다.

**161** ㄱ. 철수와 영희는 함께 등속 원운동을 하고 있으므로 각속도가 같다.

**바로알기** | ㄴ. 철수와 영희는 회전축을 중심으로 같은 직선상에서 등속 원운동을 한다. 따라서 철수와 영희는 상대방이 정지해 있는 것으로 본다.

ㄷ. 의자로부터 수평 방향으로 받는 힘의 크기는 원심력의 크기와 같다. 철수와 영희의 각속도를  $\omega$ 라고 하면 철수의 원심력 크기  $F_{\text{철}} = 2mr\omega^2$ , 영희의 원심력 크기  $F_{\text{영}} = m(2r)\omega^2$ 으로 같다. 따라서 의자로부터 수평 방향으로 받는 힘의 크기는 철수와 영희가 같다.

**162** ㄴ. 영희가 보았을 때 A에 작용하는 관성력 방향은 연직 아래 방향이고, 용수철이 A에 작용하는 힘은 연직 위 방향이므로 서로 반대 방향이다.

**바로알기** | ㄱ. 철수가 보았을 때 A에 작용하는 자기력의 크기가 중력의 크기보다 큰데 용수철이 원래 길이보다 늘어나 있으므로, 엘리베이터의 가속도 방향이 연직 위 방향이라는 것을 알 수 있다. 따라서 철수의 좌표계에서 엘리베이터의 가속도 방향은 엘리베이터의 운동 방향과 반대 방향이다.

ㄷ. 철수가 보았을 때 B에 작용하는 알짜힘은 연직 위 방향이다. 따라서 엘리베이터 바닥이 B에 작용하는 힘의 크기가 B에 작용하는 중력의 크기와 자기력의 크기의 합보다 크다.

**163** A: 빛이 우주선의 운동 방향과 반대로 휘어지는 것으로 보아 가속도의 방향은 운동 방향과 같다.

C: 우주선의 가속도 크기가 클수록 관성력이 커진다. 따라서 P가 관찰한 빛은 더 많이 휘어진다.

**바로알기** | B: P에게 작용하는 관성력의 방향은 우주선의 가속도 방향과 반대이다.

**164** ① 중력에 의해 시공간이 휘어져 빛의 경로가 휘어진다.

③ 빛이 휘어진 정도가 (가)에서 더 크다는 것은 (나)에서 우주선의 가속도 크기가 중력 가속도의 크기보다 작다는 것을 의미한다.

**바로알기** | ② (나)에서 빛이 휘어진 것은 중력이 아니라 관성력 때문이다.

④ (나)에서 빛은  $-y$  방향으로 휘어졌다. 이것은 우주선의 가속도 방향이  $+y$  방향인 것이므로 우주선의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 같다.

⑤ 등가 원리에 따르면 가속 좌표계에서 관성력과 중력은 구별할 수 없다.

⑥ (나)의 우주선이 아무리 빨라져도 등속도 운동을 하면 관성력이 작용하지 않으므로 빛이 휘어지지 않는다.

**165** ㄴ. 외부를 볼 수 없다면 중력이 작용하는 상황과 같은 크기의 관성력이 작용하는 가속 좌표계의 상황을 구별할 수 없다. 이것을 등가 원리라고 한다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서 물체는 중력에 의한 중력 가속도  $g$ 로  $h$ 를 낙하하고, (나)에서 물체는 관성력에 의한 가속도  $g$ 로  $h$ 를 낙하한다. 따라서 물체를 놓는 순간부터 물체가 p, q에 닿을 때까지 걸린 시간은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

ㄷ. (나)에서 B의 좌표계에서는 물체가 관성력을 받아 우주선 바닥으로 낙하하는 것으로 관찰한다. 따라서 (나)에서 B가 관측할 때 물체를 놓는 순간부터 q에 닿기 전까지 물체의 가속도 크기는  $g$ 이다.

**166** **모범 답안** 광원에서 나온 빛이 B의 좌표계에서  $+x$  방향으로 휘었으므로 B가 관측할 때 B에 작용하는 관성력은  $+x$  방향이다. 우주선의 가속도 방향은 관성력 방향의 반대이므로  $-x$  방향이다. 즉, A가 관측할 때 우주선의 가속도 방향은  $-x$  방향이다.

| 채점 기준                              | 배점    |
|------------------------------------|-------|
| 관성력의 방향과 가속도의 방향을 모두 옳게 설명한 경우     | 100 % |
| 관성력의 방향과 가속도의 방향 중 한 가지만 옳게 설명한 경우 | 50 %  |

**167** ㄴ. 빛이 휘어진 정도는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 가속도가 클수록 빛이 더 많이 휘어지므로 우주선의 가속도의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. 두 우주선 모두 빛이  $-y$  방향으로 휘었다는 것은 우주선의 가속도 방향이 모두  $+y$  방향이라는 것이다.

ㄷ. 관찰자는 가속도 운동을 하는 우주선 안에 있으므로 가속도의 방향과 반대 방향으로 관성력을 받는다. 우주선은  $+y$  방향으로 가속도 운동을 하고 있으므로  $-y$  방향으로 관성력을 받고, 이 힘이 저울에 작용하는 힘의 크기가 된다. 따라서 가속도 크기가 큰 (나)에서가 저울에 작용하는 힘의 크기도 크다.

**168** ㄷ. 빛의 휘어진 정도가 클수록 우주선의 가속도 크기가 큰 것이다. 따라서 빛은 (나)에서 더 많이 휘었으므로 우주선의 가속도의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

**바로알기** | ㄱ. 빛의 속력은 일정하므로 A가 본 빛의 속력과 C가 본 빛의 속력은 같다.

ㄴ. B가 관측한 빛은  $+y$  방향으로 휘어지므로 관성력의 방향은  $+y$  방향이다. 우주선의 가속도 방향은 관성력의 방향과 반대 방향이므로  $-y$  방향이다. 즉, 우주선의 가속도 방향과 우주선의 운동 방향은 반대이다.

**169** ㄱ. A와 B가 관측한 빛이 휘어지는 현상을 A와 B는 중력 때문인지 관성력 때문인지 구별할 수 없다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서 빛이  $-y$  방향으로 휘어지므로 우주선에 작용하는 관성력의 방향은  $-y$  방향으로 운동 방향과 반대이다.

ㄷ. 빛이 휘어진 정도가 (가)에서 더 크므로 A, B에 작용하는 힘의 크기는 A가 더 크다. 따라서 저울에 측정된 힘의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**170** ㄴ. B가 탄 우주선은 등가속도 운동을 하므로 가속 좌표계이고, 관성력에 의해 빛이 휘어지는 것을 관측한다.

ㄷ. 빛이 Q에 도달했으므로 빛이 휘어지는 방향은  $-y$  방향이다. 따라서 우주선의 가속도 방향은  $+y$  방향이므로 우주선의 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 같다.

**바로알기** | ㄱ. A가 탄 우주선에서 저울에 측정된 힘은 0이므로 A의 좌표계는 관성 좌표계이다. 따라서 A가 관측할 때 광원에서 발사된  $+x$  방향과 우주선의 운동 방향  $+y$  방향의 합성 방향으로 직선 운동한다. 따라서  $+x$  방향으로 직진하지 않는다.

**171** ㄴ. B가 탄 우주선의 가속도는  $+y$  방향이므로 B의 가속 좌표계에서 물체에 작용하는 관성력의 방향은 가속도 방향의 반대 방향인  $-y$  방향이다.

**바로알기** | ㄱ. B가 물체를 던진 순간부터 다시 받는 순간까지 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A가 관측할 때 물체는 등속도 운동을 한다.

ㄷ. B가 탄 우주선의 가속도 크기를  $a$ 라고 하면, 등가속도 직선 운동식  $2ad=v_0^2$ 에서  $a=\frac{v_0^2}{2d}$ 이다. 따라서 물체에 작용하는 관성력의 크기는 물체의 질량과 우주선의 가속도 크기를 곱해 얻을 수 있다. 즉,  $\frac{mv_0^2}{2d}$ 이다.

**172** ㄴ. A는 우주선 바닥에 서서 알짜힘이 0인 상태이므로 A에 작용하는 관성력 크기와 우주선 바닥이 A를 떠받치는 힘의 크기는 같다. A의 질량을  $M$ 이라고 하면  $F_1=Ma$ ,  $F_2=2Ma$ 이므로  $2F_1=F_2$ 이다.

ㄷ. 우주선의 가속도가 클수록 빛은 더 많이 휘어지므로 광원에서 벽까지 빛이 진행한 경로의 크기는  $L_1 < L_2$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 용수철 상수를  $k$ , 광원의 질량을  $m$ 이라고 할 때, 용수철이 광원을 매단 채 정지해 있으므로 탄성력의 크기와 관성력의 크기가 같으므로  $kx_1=ma$ ,  $kx_2=m \times 2a$ 이다. 따라서  $x_1=\frac{ma}{k}$ ,  $x_2=\frac{2ma}{k}$ 이므로  $2x_1=x_2$ 이다.

## 07 중력 렌즈 효과와 블랙홀

### 빈출 자료 보기

057쪽

**173** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

**174** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○

**173** 질량을 가진 물체가 있을 때 생기는 중력이 주위의 공간을 휘게 하므로 천체의 중력이 주위의 공간을 휘게 하여 천체 주위를 지나는 빛이 휘어진다. 따라서 지구에서 볼 때 별이 여러 개로 보이므로 중력이 볼록 렌즈 역할을 하고, 이를 중력 렌즈 효과라고 한다.

**바로알기** | (4) 천체의 질량이 증가할수록 천체의 중력이 증가하므로 빛이 많이 휘어진다. 따라서 별과 A 사이의 거리는 증가한다.

**174** 질량이 크고 반지름이 작은 천체일수록 중력이 크게 작용하여 천체에서의 탈출 속도가 증가하는데, 중력이 매우 커서 빛조차도 탈출할 수 없는 천체를 블랙홀이라고 한다.

**바로알기** | (2) 블랙홀에서는 빛조차도 탈출할 수 없으므로 블랙홀 내부의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크다.

### 난이도별 필수 기출

058쪽~061쪽

|          |           |       |       |           |       |
|----------|-----------|-------|-------|-----------|-------|
| 175 ④, ⑥ | 176 ⑤     | 177 ③ | 178 ⑤ | 179 ④     | 180 ⑤ |
| 181 ⑤    | 182 ③     | 183 ③ | 184 ③ | 185 해설 참조 |       |
| 186 ④, ⑥ | 187 해설 참조 |       | 188 ③ | 189 ⑤     | 190 ④ |
| 191 ⑤    |           |       |       |           |       |

**175** ①, ② 일반 상대성 이론에 따르면 질량에 의해 중력이 생겨 주위의 시공간을 휘게 한다.

③ 일반 상대성 이론에 따르면 중력이 강한 곳일수록 시공간이 많이 휘어진다.

⑤ 은하단 뒤쪽의 별에서 나오는 빛이 은하단 주변을 지날 때, 은하단의 중력에 의해 빛이 휘어지므로 지구에서 볼 때 별이 여러 개로 보일 수 있다.

**바로알기** | ④ 중력이 크게 작용할수록 시공간이 많이 휘어지므로 시간이 느리게 흐른다.

⑥ 중력이 볼록 렌즈 역할을 하여 빛을 휘게 할 수 있다.

**176** ㄱ. 태양 주위의 시공간은 중력에 의해 휘어져 있다.

ㄴ. 태양의 중력에 의해 태양 주위의 시공간이 휘어져 있고, 이로 인하여 위치 변화가 일어난다.

ㄷ. 일반 상대성 이론에 따르면 중력이 강한 곳에서 시간이 느리게 흐르므로 태양에서 가까운 지점이 태양에서 먼 지점보다 시간이 느리게 흐른다.

**177** ㄱ. 태양의 질량에 의해 태양 주변에 중력이 작용하고, 중력에 의해 태양 주위의 공간이 휘어져 있다.

ㄴ. 태양 주위를 지나는 별빛은 중력에 의해 휘어진 공간을 따라 진행한다.

**바로알기** | ㄷ. 태양의 질량이 증가하면 태양 주위의 중력이 증가하여 태양 주위의 시공간이 더 휘어진다. 따라서 태양 주위를 지나는 별빛은 더 휘어진 공간을 따라 진행하므로, 태양의 질량이 증가하면 지구에서 관측되는 별의 위치와 실제 위치의 거리의 차이는 증가한다.

**178** ㄱ. 우주선의 가속도가 클수록 우주선이 점점 더 빠르게 운동하므로 P와 P'의 거리의 차이가 증가한다.

**다른 해설** ㄱ. 등가 원리에 따라 가속 좌표계에서 중력과 관성력을 구별할 수 없다. 따라서 (가)에서 우주선의 가속도가 클수록 등가 원리에 따라 중력이 커지는 것과 같은 현상이 일어나므로 P와 P'의 차이가 증가한다.

ㄴ. 일반 상대성 이론에 따라 (나)에서 태양의 중력은 Q에서 오는 별빛을 휘어지게 한다.

ㄷ. (나)에서 태양의 중력이 클수록 주위의 시공간이 많이 휘어지므로 Q와 Q'의 거리의 차이가 증가한다.

**179** ㄱ. 천체에 가까울수록 중력이 크므로 시공간이 많이 휘어진다. 따라서 천체에 가까워질수록 빛이 많이 휘어진다.

ㄷ. 중력에 의해 시공간이 휘어지는 현상은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

**바로알기** | ㄴ. 빛은 천체 주변에서는 휘어진 공간을 따라 진행하고, 천체에서 멀어질수록 시공간의 휘어짐이 감소하므로 점차적으로 직선 경로를 따라 진행한다.

**180** ㄱ. 은하단 주위에 보이는 4개의 천체는 은하단 뒤쪽에 있는 하나의 퀘이사에서 나온 빛이 은하단 주위의 중력에 의해 휘어져 나타나는 현상이다.

ㄴ. 퀘이사에서 나온 빛이 은하단 주위의 중력에 의해 휘어져 나타나는 현상은 중력 렌즈 효과이다.

ㄷ. 중력 렌즈 효과는 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

**181** ㄱ. (가)와 같이 손전등 불빛과 검은 종이에 나란하게 눈높이를 맞추고 불빛을 관찰하면 검은 종이에 의해 불빛이 보이지 않는다.

ㄴ. (나)에서는 볼록 렌즈에 의해 빛이 굴절하므로 검은 종이 바깥으로 휘어진 불빛이 보인다.

ㄷ. 행성 주위를 지나는 빛은 행성의 중력에 의해 휘어지므로 중력이 렌즈 역할을 한다. 따라서 (나)의 원리로 중력 렌즈 현상을 설명할 수 있다.

**182** ㄱ. 아인슈타인의 십자가는 중력 렌즈 효과에 의한 현상 중 하나로 일반 상대성 이론에 의해 설명되는 현상이다.

ㄴ. 은하단 주변을 지나는 빛이 중력에 의해 휘어져 상이 여러 개로 보인다.

**바로알기** | ㄷ. 은하단의 질량이 증가하면 은하단의 중력이 증가하여 은하단 주변의 시공간이 더 휘어진다. 따라서 은하단의 질량이 증가하면 관측되는 은하단과 퀘이사 사이의 거리가 증가한다.

**183** ㄱ. 은하의 중력에 의해 은하 주변을 지나는 별빛이 휘어지는 현상을 중력 렌즈 효과라고 한다.

ㄴ. 은하의 질량이 크면 은하의 중력이 증가하므로 은하 주변을 지나는 빛이 더 휘어진다. 따라서 은하의 질량이 클 때에는 A의 위치에서 별이 관측된다.

**바로알기** | ㄷ. 은하의 중력이 클수록 시간이 느리게 가고, 은하의 중력은 A일 때가 B일 때보다 크므로 은하 주변의 시간은 A일 때가 B일 때보다 느리게 흐른다.



ㄱ. 시공간이 휘어진 정도가 클수록 시간이 더 느리게 흐른다. 중력이 강한 곳일수록 시공간이 더 많이 휘어지므로 중력에 의한 시간 지연은 더 크게 나타난다.

ㄴ. 지구가 물체에 작용하는 중력의 크기는 지구 중심으로부터 거리가 클수록 작다. 지구 중심으로부터의 거리는 지표면이 인공위성보다 작으므로, 시계에 작용하는 중력의 크기는 인공위성에서보다 지표면에서가 더 크다.

**바로알기** | ㄷ. 일반 상대성 이론에 따르면 중력이 강한 곳에서 시간이 느리게 흐르므로 지표면에서의 시간이 인공위성에서의 시간보다 느리게 흐른다.

**185** **모범 답안** 일반 상대성 이론에 따르면 등가 원리에 의해 가속 좌표계에서 중력과 관성력을 구분할 수 없고, 가속 좌표계에서는 시간 지연이 발생한다. 우주선이 지구를 떠나면서 가속하는 구간과 지구로 돌아오기 위해 운동 방향을 바꾸는 구간, 지구에 도착하기 위해 속력을 줄이는 구간이 가속 좌표계에 해당하고, 이 구간에서 우주선 안의 쌍둥이 형은 중력에 의한 시간 지연이 발생하여 시간이 느리게 흐른다. 따라서 두 쌍둥이가 만났을 때 지구에 있는 쌍둥이 동생이 형보다 더 나이를 먹게 된다.

| 채점 기준                                              | 배점    |
|----------------------------------------------------|-------|
| 가속 좌표계에서 발생하는 시간 지연의 원리 및 상황 모두를 옳게 제시하여 서술한 경우    | 100 % |
| 가속 좌표계에서 발생하는 시간 지연의 원리와 상황 중 한 가지만 옳게 제시하여 서술한 경우 | 50 %  |

#### ✓ 개념 보충

##### 특수 상대성 이론에서의 시간 지연

정지한 관찰자가 광속에 가까운 일정한 속도로 빠르게 운동하는 관찰자를 보면 상대방의 시간이 느리게 흐른다. 따라서 특수 상대성 이론에 따르면 동생의 입장에서는 우주선을 타고 빠르게 운동하는 형의 시간이 느리게 흐르고, 형의 입장에서는 지구에 있는 동생이 빠르게 운동하므로 동생의 시간이 느리게 흐르는 것처럼 생각한다.

**186** ① 중력은 질량에 비례하므로 질량이 큰 천체일수록 중력이 크게 작용한다.

② 태양 질량의 3~4배를 넘는 별이 핵융합을 멈추면 중력에 의해 수축하면서 영원히 붕괴되어 블랙홀이 될 수 있다.

③ 블랙홀은 탈출 속도가 빛의 속도보다 커서 빛조차도 빠져나올 수 없다.

⑤ 블랙홀 주위의 시공간은 극단적으로 휘어져 있어서 시간이 매우 느리게 흐르므로 마치 시간이 정지한 것 같은 현상이 나타난다.

**바로알기** | ④ 블랙홀의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크다.

⑥ 블랙홀은 빛조차도 탈출할 수 없으므로 직접적으로 관찰할 수 없다. 따라서 블랙홀은 주변의 물질을 흡수하는 과정에서 방출하는 빛이나 블랙홀 주변에서 휘어지는 빛을 관찰하여 블랙홀의 존재를 간접적으로 확인할 수 있다.

**187** **모범 답안** 블랙홀이 주변의 물질을 흡수하는 과정에서 방출하는 빛이나 블랙홀 주변에서 휘어지는 빛을 관찰하여 블랙홀의 존재를 간접적으로 확인할 수 있다.

| 채점 기준                                        | 배점    |
|----------------------------------------------|-------|
| 블랙홀을 간접적으로 확인할 수 있다는 것을 그 방법을 옳게 제시하여 서술한 경우 | 100 % |
| 블랙홀을 간접적으로 확인할 수 있다는 것만 서술한 경우               | 50 %  |

**188** ㄱ. 블랙홀 주위에는 중력이 매우 커서 빛조차도 빠져나올 수 없다.

ㄷ. 블랙홀의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크므로 블랙홀은 간접적으로 확인할 수 있다.

**바로알기** | ㄴ. 블랙홀에 가까이 접근할수록 중력이 커지므로 시간이 느리게 흐른다.

**189** ㄱ. 일반 상대성 이론에 따르면 태양의 중력에 의해 태양 주위의 시공간이 휘어진다.

ㄴ. 태양이 행성에 작용하는 중력의 크기는 행성의 질량에 비례하고, 행성까지의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 태양에서 지구까지의

거리가 화성까지의 거리보다 작고, 행성의 질량은 지구가 화성보다 크므로 태양이 행성에 작용하는 중력의 크기는 지구에서 화성에서보다 크다.

ㄷ. 태양이 행성에 작용하는 중력의 크기는 지구에서 화성에서보다 크고, 행성에 작용하는 중력이 클수록 시간이 느리게 간다. 따라서 태양의 중력에 의해 지구에서 화성에서보다 시간이 느리게 흐른다.

**190** ㄴ. 블랙홀 내부의 탈출 속도는 빛의 속도보다 커서 빛조차 빠져나올 수 없다.

ㄷ. 블랙홀의 표면에서는 중력이 매우 커서 시간이 정지한 것 같은 현상이 나타난다.

**바로알기** | ㄱ. 블랙홀의 질량이 클수록 중력이 증가하여 블랙홀 주변의 시공간의 휘어진 정도는 증가한다.

**191** ㄱ. 중력의 크기는 반지름의 제곱에 반비례하므로 블랙홀에 가까워질수록 중력이 더 커진다.

ㄴ. 중력이 클수록 시공간이 더 많이 휘어지므로 블랙홀에 가까워질수록 시공간이 더 많이 휘어진다.

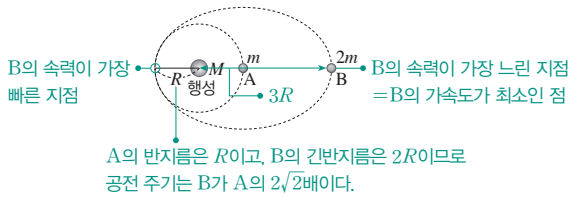
ㄷ. 시공간이 많이 휘어질수록 시간이 느리게 흐르므로 블랙홀에 가까워질수록 시간이 더 느리게 흐른다.

## 최고수준 도전 기술

062쪽~063쪽

192 ③    193 ②    194 ③    195 ③    196 ②    197 ③  
198 ③    199 ③

**192**



ㄱ. 원운동을 하는 A의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이고, 타원 운동하는 B의 속력의 최댓값은 원운동을 하는 A의 속력보다 크다.

ㄴ. A의 속력이  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이므로 A의 주기는  $\frac{2\pi R}{v} = 2\pi\sqrt{\frac{R^3}{GM}}$ 이다.

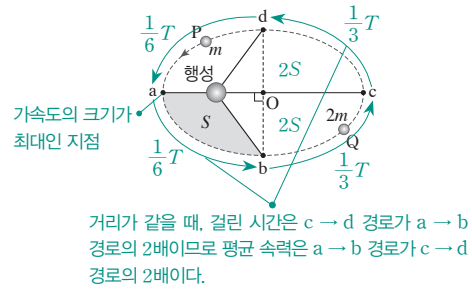
행성에서 B의 속력이 가장 빠른 지점까지의 거리는 R이고, 속력이 가장 느린 지점까지의 거리는 3R이므로 타원 궤도의 긴반지름은 2R이다. 따라서 B의 공전 주기는 A의 공전 주기의  $2\sqrt{2}$ 배이므로  $4\pi\sqrt{\frac{2R^3}{GM}}$ 이다. B의 속력이 가장 빠른 지점에서 속력이 가장 느린 지점까지 운동하는 데 걸린 시간은 주기의  $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 시간은  $2\pi\sqrt{\frac{2R^3}{GM}}$ 이다.

따라서 시간은  $2\pi\sqrt{\frac{2R^3}{GM}}$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 위성의 가속도 크기는 위성 and 행성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 행성과 A 사이의 거리는 R이고, 행성과 B의 거리가

최대일 때의 거리가 3R이므로 B의 가속도 크기의 최솟값은 A의 가속도의 크기의  $\frac{1}{9}$ 배이다.

**193**



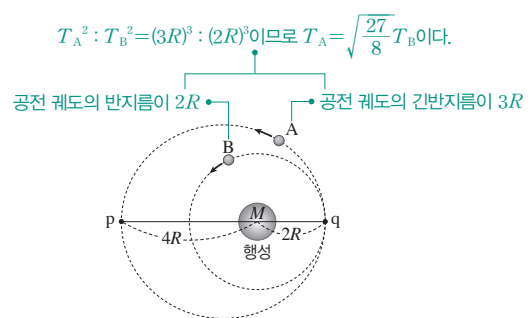
ㄴ. 동일한 타원 궤도를 돌고 있는 P와 Q의 주기는 같다. P가 b에서 d까지 운동하는 동안의 걸린 시간은  $\frac{2}{3}T$ 이므로 Q와 행성을 연결한 선

분이 휩쓸고 지나가는 면적은 전체 면적 6S의  $\frac{2}{3}$ 배인 4S이다.

**바로알기** | ㄱ. 가속도의 크기는 위성의 질량에 관계없고, 위성 and 행성 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도 크기의 최댓값은 P와 Q가 같다.

ㄷ. P가 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{1}{6}T$ 이고, Q가 c에서 d까지 운동하는 데 걸린 시간은  $\frac{1}{3}T$ 이다. a에서 b까지 거리와 c에서 d까지 거리가 같으므로 P가 a에서 b까지 운동하는 동안의 평균 속력은 Q가 c에서 d까지 운동하는 동안의 평균 속력의 2배이다.

**194**



ㄱ. 원운동을 하는 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이고, 타원 궤도를 돌고 있는 q에서 A의 속력은 원운동을 하고 있는 B의 속력보다 크다. 따라서 q에서 A의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 보다 크다.

ㄷ. B의 공전 궤도 반지름은 2R, A의 공전 궤도 긴반지름은 3R이다. 따라서 A의 공전 주기는 B의 공전 주기의  $\sqrt{\frac{27}{8}}$ 배이다.

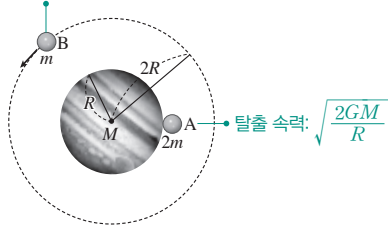
**바로알기** | ㄴ. 원운동을 하는 B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이고, B의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이므로 B의 속력은 탈출 속력의  $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 배이다.

### ✓ 개념 보충

같은 지점에서 타원 궤도와 원 궤도를 따라 도는 위성의 속력 비교

뉴턴의 사고 실험에 따르면, 행성으로부터 같은 거리의 궤도에서 운동하는 물체의 속력이 그 궤도에서 원운동을 하는 물체의 속력보다 크면 물체가 타원 궤도를 그리며 공전한다. 따라서 물체의 발사 속력이 커서 궤도에 도달할 때 속력이 원 궤도를 도는 속력보다 크면 물체는 타원 궤도를 그리며 행성에서 멀어진다. 따라서 타원 궤도의 근일점에서의 속력은 같은 거리에서 원 궤도를 도는 물체의 속력보다 크다.

- 탈출 속력:  $\sqrt{\frac{2GM}{2R}} = \sqrt{\frac{GM}{R}}$
- 중력에 의한 위치 에너지:  $-\frac{GMm}{2R} = -E_0$
- 속력:  $\frac{GMm}{(2R)^2} = \frac{mv^2}{2R} \rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$
- 운동 에너지:  $\frac{1}{2}m\left(\sqrt{\frac{GM}{2R}}\right)^2 = \frac{1}{2}E_0$



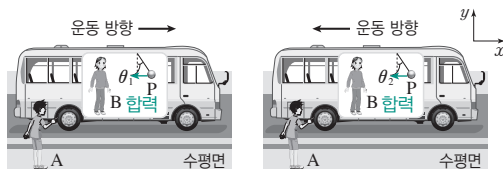
ㄱ. A의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이고, B의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이므로 A가 B의  $\sqrt{2}$ 배이다.

ㄴ. A의 탈출 속력은  $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$ 이므로 행성의 중력을 벗어나 무한히 먼 곳까지 가기 위한 운동 에너지의 최소값  $E = \frac{1}{2} \times 2m \times \left(\sqrt{\frac{2GM}{R}}\right)^2 = \frac{2GMm}{R} = 4E_0$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. B의 중력에 의한 위치 에너지가  $-E_0 = -\frac{GMm}{2R}$ 이고,

B의 속력은  $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이므로 B의 운동 에너지는  $G\frac{Mm}{4R} = \frac{1}{2}E_0$ 이다.

- A의 좌표계에서 물체에 작용하는 힘은 중력과 실의 장력의 합력과 같다.  
→ (가)에서 합력의 방향이 운동 방향과 반대이므로 버스는 운동 방향과 가속도의 방향이 반대이고, (나)에서 합력의 방향이 운동 방향과 같으므로 버스는 운동 방향과 가속도의 방향이 같다.



(가) (나)

- B의 좌표계에서 P에 작용하는 관성력의 방향이 (가)와 (나) 모두  $+x$  방향이다.

ㄴ. A의 좌표계에서, P에 작용하는 중력과 실이 P를 당기는 힘의 합력이 P에 작용하는 알짜힘이다. 또 중력의 크기를  $mg$ 라고 할 때 알짜힘의 크기는  $mg \tan \theta$ 이므로  $\theta$ 가 큰 경우가 알짜힘이 크다. 따라서 P에 작용하는 알짜힘의 크기는  $3.5t$ 일 때가  $1.5t$ 일 때보다 크다.

**바로알기** | ㄱ.  $1.5t$ 일 때 A의 좌표계에서 P의 운동 방향은  $+x$  방향이고, P의 가속도 방향은  $-x$  방향으로 반대 방향이다.

ㄴ. B의 좌표계에서 P에 작용하는 관성력의 방향은  $1.5t$ 일 때와  $3.5t$ 일 때 모두  $+x$  방향으로 같다.

- ㄱ. 은하단의 질량에 의해 은하단 주변에 중력이 작용하고, 주변의 시공간을 휘어지게 한다.

ㄴ. 은하단의 질량이 증가하면 은하단 주변에 작용하는 중력이 커지므로 주변의 시공간이 더 휘어진다. 따라서 천체의 상이 더 큰 고리 형태로 보인다.

**바로알기** | ㄴ. 아인슈타인의 고리는 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

- 엘리베이터의 가속도 방향에 따른 A에 작용하는 관성력의 방향과 용수철저울의 눈금을 표로 나타내보면 다음과 같다.

| 구간           | 엘리베이터의 가속도 방향 | A에 작용하는 관성력 방향 | 용수철저울의 눈금  |
|--------------|---------------|----------------|------------|
| 정지           | 0(없음)         | 0(없음)          | 100 N      |
| $0 \sim t$   | $-y$ 방향       | $+y$ 방향        | 85 N       |
| $t \sim 3t$  | 0(없음)         | 0(없음)          | 100 N      |
| $3t \sim 5t$ | $+y$ 방향       | $-y$ 방향        | 115 N보다 작음 |

ㄱ.  $0.5t$ 일 때 엘리베이터의 운동 방향은  $-y$  방향, 가속도의 방향은  $-y$  방향이므로 엘리베이터 안의 관찰자가 볼 때 A에 작용하는 관성력 방향은 엘리베이터 가속도 방향의 반대인  $+y$  방향이다.

ㄴ.  $2t$ 일 때에는 엘리베이터가 등속도로 내려오고 있으므로 A에는 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 용수철저울의 눈금은 100 N이다. 따라서  $2t$ 일 때 용수철저울의 눈금은  $0.5t$ 일 때 용수철저울의 눈금인 85 N보다 크다.

**바로알기** | ㄴ.  $4t$ 일 때는 엘리베이터의 운동 방향은  $-y$  방향, 가속도 방향은  $+y$  방향이다. 따라서 A에 작용하는 관성력 방향은  $-y$  방향이다. 그런데 속력-시간 그래프에서 엘리베이터의 가속도 크기가  $0.5t$ 일 때보다 작으므로 용수철저울의 눈금은 115 N보다 작다.

- ㄱ. P는 탈출 속력이 빛의 속도보다 큰 블랙홀이다.

ㄴ. 블랙홀의 표면에서는 시간이 매우 느리게 흐르므로 시간이 정지한 것 같은 현상이 나타난다.

**바로알기** | ㄴ. P에서 탈출 속력은 P의 중력과 관계가 있고, P의 질량이 증가하면 P의 중력이 증가하므로 P에서 탈출 속력이 증가한다.

## 08 단열과 열팽창

### 빈출 자료 보기

65쪽

200 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

201 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

200 열은 전도, 대류, 복사의 형태로 전달되는데, 전도는 이웃한 입자들의 상호작용으로, 대류는 유체의 밀도차로, 복사는 전달 물질이 없어도 전달되는 특징이 있다.

**바로알기** | (3) 불 옆에서 따뜻함을 느끼는 것은 매질 없이 전자기파 형태로 전달되는 복사가 주된 원인이다.

(4) 복사 에너지는 전자기파 형태로 전파되므로 매질이 없거나 투명한 물질을 통과하여 전달될 수 있다.

201 열팽창은 물체가 열을 받아 온도가 높아지면 물체의 길이와 부피가 커지는 현상으로, 물체에 열에너지가 공급되면 입자들의 평균 운동이 활발해지므로 물체의 길이나 부피가 팽창한다.

**바로알기** | (4) 바이메탈은 열팽창 정도가 다른 두 금속을 붙여 만든다. 온도가 변할 때 팽창하거나 수축하는 정도가 달라 더 적게 팽창하는 쪽으로 휘어지는 원리를 이용한다.

(5) 열팽창은 고체뿐만 아니라 액체와 기체에서도 일어난다.

### 난이도별 필수 기출

66쪽~69쪽

|       |           |          |       |           |       |
|-------|-----------|----------|-------|-----------|-------|
| 202 ③ | 203 ④     | 204 ③, ⑥ | 205 ⑤ | 206 ①     | 207 ⑤ |
| 208 ④ | 209 해설 참조 |          | 210 ① | 211 해설 참조 |       |
| 212 ② | 213 ④     | 214 ③    | 215 ③ | 216 ③, ⑥  | 217 ① |
| 218 ⑤ | 219 ④     |          |       |           |       |

**202** ㄱ. 대류는 분자가 직접 이동하면서 열을 전달하는 방식이다.

ㄴ. 액체를 가열할 때 가열된 부분은 밀도가 작아져 위로 올라간다.

**바로알기** | ㄷ. 대류는 액체나 기체(유체)에서 나타나는 열전달 방식이다.

**203** A: 전열기로 식'혜에 열을 가하고 있으므로 식'혜는 열을 흡수하여 온도가 올라간다.

C: 식'혜는 온도가 올라갈수록 분자의 운동 에너지가 증가하므로 분자 운동이 더 활발해진다.

**바로알기** | B: 식'혜의 건더기가 도는 것은 열의 대류 현상이다.

**204** ③, ⑥ 복사는 전자기파의 형태로 열이 전달되는 방식이며, 전달하는 물질 없이도 열전달이 가능하다. 이때 모닥불의 열은 전자기파의 형태로 손에 전달된다.

**205** A: 물이 외부에서 열을 흡수하므로 물 분자의 운동이 활발해져 온도가 올라간다.

B: 온도가 높을수록 물 분자의 운동이 활발하다. 즉, 온도는 분자들의 평균 운동 에너지 정도를 나타낸다.

C: 열전도율이 클수록 열을 잘 전달한다. 알루미늄은 나무보다 열전도율이 커서 열을 잘 전달한다.

**206** ㄴ. 각 열원과 접촉면 사이의 온도차는 A가 B보다 크다. 같은 시간 동안 전달되는 열량은 같으므로 열전도율은 온도차에 반비례한다. 따라서 열전도율은 B가 A보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. 전도는 물질을 이루는 분자들 사이의 충돌에 의해 열이 전달되는 방법이다. 입자들의 밀도차에 의해 순환하면서 열을 전달하는 방법은 대류이다.

ㄷ. B 내에서 저열원에 가까울수록 온도가 낮고, 고열원에 가까울수록 온도가 높다. 따라서 B 내에서 모든 지점의 온도는 같지 않다.

**207** (가)에서 A, B의 열전도율을 각각  $k_A$ ,  $k_B$ , 단면적을  $A$ , 길이를  $L$ 이라고 하면,  $Q_0 = k_A \frac{A(100-60)}{L} t = k_B \frac{A(60-0)}{L} t$ 에서  $k_A : k_B = 3 : 2$ 이다. (나)에서 B를 통해 전달되는 열량을  $Q_B$ 라고 하면  $Q_B = k_B \frac{A(100-40)}{L} t$ 이므로  $Q_B = Q_0$ 이다. 또한 (나)에서 A를 통해 전달되는

$$\begin{aligned} \text{열량을 } Q_A \text{라고 하면 } Q_A &= k_A \frac{A(100-40)}{L} t = \left(\frac{3}{2} k_B\right) \frac{A(100-40)}{L} t \\ &= \frac{3}{2} Q_0 \text{이다. 따라서 A와 B를 통해 이동하는 열량의 합 } Q = Q_0 + \frac{3}{2} Q_0 \\ &= \frac{5}{2} Q_0 \text{이다.} \end{aligned}$$

**208** ㄱ. A와 B의 경계면에서 온도가 일정하므로, 단위 시간당 단면을 통해 전달되는 열량은 A에서와 B에서가 같다.

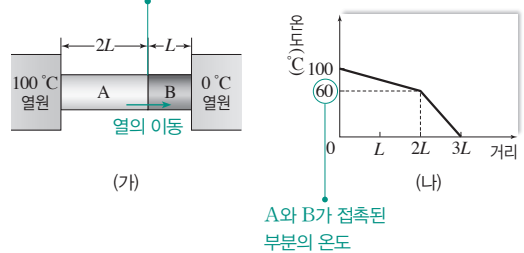
ㄷ. (나)에서 단위 시간당 단면을 통해 전달되는 열량은 A에서와 B에서가 같다. A와 B의 열전도율을 각각  $3k$ ,  $k$ 라 하고, A와 B가 접촉한 부분의 온도를  $T$ , 두 물체의 단면적을  $A$ 라고 하면  $3k \frac{A(80-T)}{L} = k \frac{A(T-0)}{5L}$ 에서  $T = 75^\circ\text{C}$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. (가)에서 A와 B의 길이와 단면적이 같고, 단위 시간당 단면을 통해 전달되는 열량은 A에서와 B에서가 같으므로 각 물체의 양쪽 끝의 온도차는 열전도율에 반비례한다. A의 양쪽 끝의 온도차는  $20^\circ\text{C}$ , B는  $60^\circ\text{C}$ 이므로 B가 A의 3배이다. 따라서 열전도율은 A가 B의 3배이다.

**209** **모범 답안** 접촉면의 온도를  $T$ , B의 열전도율을  $k$ 라고 하면 A, B에서 단위 시간 동안 이동하는 열량과 단면적은 같으므로  $2k \frac{T_1-T}{L} = k \frac{T-T_2}{2L}$ 가 되어  $T = \frac{4T_1+T_2}{5}$ 이다.

| 채점 기준                                                | 배점    |
|------------------------------------------------------|-------|
| 각 물체의 단위 시간당 이동하는 열량식을 제대로 표현하고, 접촉면의 온도까지 정확히 구한 경우 | 100 % |
| 각 물체의 단위 시간당 이동하는 열량식은 제대로 표현하였지만, 접촉면의 온도는 틀린 경우    | 50 %  |

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



ㄱ. 열은 스스로 고온에서 저온으로 이동하므로 열은 A에서 B로 이동한다.

**바로알기** | ㄴ. 열은 A와 B를 통해서만 이동하므로 단위 시간 동안 A를 통해 이동하는 열량과 B를 통해 이동하는 열량은 같다.

ㄷ. 전도되는 열량  $Q = k \frac{A(T_H - T_L)}{l} t$ 이다. 단위 시간 동안 A와 B를 통해 이동하는 열량은 같고, A와 B의 단면적도 같으므로  $k_A \frac{100-60}{2L} = k_B \frac{60-0}{L}$ 에서  $k_A = 3k_B$ 이다. 따라서 열전도율은 A가 B의 3배이다.

**211** **모범 답안**  $k_A \frac{S \times T}{2L} t = k_B \frac{S \times T}{L} t = k_C \frac{2S \times 2T}{3L} t$ 이므로 열전도율의 비는  $k_A : k_B : k_C = 8 : 4 : 3$ 이다.

| 채점 기준                                   | 배점    |
|-----------------------------------------|-------|
| 세 물체의 전도식을 제대로 쓰고, 결과 값을 정확히 구한 경우      | 100 % |
| 세 물체의 전도식을 제대로 썼지만, 결과 값을 정확히 구하지 못한 경우 | 50 %  |

**212** 공기는 효과적인 단열재이므로 이중창 사이에 공기를 가득 채우면 이 공기층이 단열재 역할을 해서 열손실을 줄여 준다.

**213** ㄱ. 단열재가 두꺼울수록 열전달을 방해하므로 단열 효과를 높일 수 있다.

ㄷ. 공기는 우수한 단열재이다. 따라서 이중창으로 공기층을 만들면 단열 효과를 높일 수 있다.

**바로알기** | ㄴ. 열전도율이 작으면 열이 전달되기 어렵다. 따라서 단열 효과를 높이려면 열전도율이 작은 단열재를 사용한다.

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



보온병의 은도금 처리는 내용물에서 나오는 복사 에너지를 반사시켜 복사에 의한 열의 전달을 막아 준다.

ㄱ. 진공층은 열을 전달할 수 있는 물질이 없다. 따라서 진공층에서는 대류와 전도를 줄일 수 있다.

ㄴ. 보온병 내부에 은도금을 하는 까닭은 복사로 손실되는 열을 차단하기 위해서이다.

**바로알기** | ㄷ. 보온병은 전도, 대류, 복사를 차단하여 보온과 보냉이 잘되게 한다.

**215** A: 빨대로 감싼 병의 온도가 10분 뒤에도 가장 높았다는 것은 빨대로 감싼 경우가 단열 효과가 가장 좋다는 것을 의미한다.

B: 빨대 속에는 공기가 들어 있고, 이 공기가 좋은 단열재 역할을 한 것이다.

**바로알기** | C: 단열 효과가 좋은 물질은 보온과 보냉 모두에 효과적이다.

**216** ③ 여름에 열팽창으로 다리가 길어져 휘어지는 것을 방지하기 위해 이음매 사이에 공간을 둔다.

⑥ 철도의 레일도 사이의 간격을 떼어 놓는데, 이는 여름철 열팽창으로 인해 선로가 휘는 것을 방지하기 위한 것이다.

**217** ㄱ. 선팽창 계수가 크면 열을 가했을 때 더 많이 늘어난다. 두 금속 막대에 같은 열을 가했는데 A가 더 많이 늘어난다는 것은 선팽창 계수가 A가 B보다 크다는 것을 의미한다.

**바로알기** | ㄴ. 처음 길이가 같은 A, B에 똑같은 열을 가했을 때 늘어나는 정도가 다른 것은 A, B의 재질이 서로 다르기 때문이다.

ㄷ. 열을 가했을 때 더 많이 늘어나는 금속은 온도를 낮췄을 때 더 많이 수축한다. 따라서 처음 길이가 같은 상태에서 온도를 낮추게 되면 A의 길이가 B의 길이보다 짧아진다.

**218** ㄱ. 금속이 아래쪽으로 휘어졌으므로 A가 B보다 더 많이 팽창하였다.

ㄴ. A의 길이 변화가 더 크므로 선팽창 계수는 A가 B보다 크다.

ㄷ. 바이메탈은 보일러, 다리미 등 생활에서 많은 곳에 사용된다.

**219** ㄱ. 구슬을 가열하였을 때 구슬이 열팽창을 하여 구슬의 부피가 증가하였기 때문에 구슬이 고리를 통과하지 못한 것이다.

ㄷ. 구슬이 열팽창을 하는 경우 구슬 내부 입자 사이의 평균 거리가 증가한다.

**바로알기** | ㄴ. 구슬의 질량은 가열 전과 가열 후가 같다.

## 09 이상 기체 법칙

### 빈출 자료 보기

71쪽

**220** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

**221** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

**220** 물질에 열을 가해도 온도가 변하지 않는 것은 물질의 상태가 변하기 때문이다. 이처럼 물질의 상태 변화에 사용되는 열을 잠열이라고 한다.

**바로알기** | (2) 물질이 한 상태에서 다른 상태로 변하는 동안에는 가해진 열이 모두 상태 변화에 사용되므로 온도가 변하지 않는다.

(4) 기화는 물이 수증기가 되는 상태 변화이므로 물의 기화열이 필요한 구간은 (라)이다.

(5) 도로에 뿌린 물이 기체로 변하는 기화 현상이 일어날 때 주변의 열을 흡수하므로 열기를 식힐 수 있다.

**221** 보일·샤를 법칙에 따라 기체의 압력, 부피, 절대 온도는 ' $\frac{PV}{T}$  = 일정'의 관계가 있고, 이는 이상 기체 법칙  $PV=nRT$ 로 쓸 수 있다. 실생활에서는 수압에 따른 공기 방울의 크기 변화는 보일 법칙의 원리, 가열로 떠오르는 열기구에는 샤를 법칙의 원리를 보여주는 대표적인 사례이다.

**바로알기** | (2) 아보가드로 법칙은 기체의 종류에 관계없이 동일한 온도와 압력, 부피 조건에서는 분자 수가 같다는 것이다.

(4) 기체 상수  $R$ 은 기체의 종류에 관계없이 일정한 값을 가지는 보편적인 상수이다.

### 난이도별 필수 기출

72쪽~77쪽

|                  |                  |                  |              |
|------------------|------------------|------------------|--------------|
| <b>222</b> ④     | <b>223</b> 해설 참조 | <b>224</b> ②     | <b>225</b> ② |
| <b>226</b> ②, ⑥  | <b>227</b> ④     | <b>228</b> ①     | <b>229</b> ⑤ |
| <b>231</b> 해설 참조 | <b>232</b> 해설 참조 | <b>233</b> ②     | <b>234</b> ① |
| <b>235</b> ⑤     | <b>236</b> ①     | <b>237</b> ①     | <b>238</b> ② |
| <b>240</b> ④     | <b>241</b> ①     | <b>242</b> 해설 참조 | <b>243</b> ③ |
| <b>244</b> 해설 참조 | <b>245</b> 해설 참조 | <b>246</b> ①     |              |

**222** A: 열에너지는 고온의 물체에서 저온의 물체로 전달된다. 따라서 열에너지는 P에 들어 있는 10 °C의 물에서 얼음 쪽으로 전달된다. C: 물의 분자 운동은 온도가 높을수록 활발하다. 따라서 분자 운동을 온도가 높은 Q에 들어 있는 물이 P에 들어 있는 물보다 활발하다.

**바로알기** | B: 열용량을  $C$ , 질량을  $m$ , 비열을  $c$ 라고 하면  $C=cm$ 이다. 물의 비열은 같으므로 질량이 큰 쪽의 열용량이 더 크다. 따라서 P에 들어 있는 물의 열용량이 더 크다.

**223** **모범 답안** 열용량  $C$ , 질량  $m$ , 비열  $c$ 의 관계는  $C=cm$ 이므로  $c=\frac{C}{m}$ 이다. 따라서  $c_1=\frac{2C}{m}$ ,  $c_2=\frac{C}{m}$ ,  $c_3=\frac{3C}{2m}$ 이므로  $c_1:c_2:c_3=2:1:\frac{3}{2}=4:2:3$ 이다.

| 채점 기준                           | 배점    |
|---------------------------------|-------|
| 각 물체의 비열을 모두 구하고, 비례값까지 옳게 쓴 경우 | 100 % |
| 각 물체의 비열은 잘 구했지만, 비례값을 틀린 경우    | 50 %  |

**224** 물체에 공급한 열량을  $Q$ , 물체의 질량을  $m$ , 비열을  $c$ , 온도 변화량을  $\Delta T$ 라고 하면  $Q=cm\Delta T$ 이므로  $c=\frac{Q}{m\Delta T}$ 이다. 두 물체가 받은 열량은  $Q_0$ 으로 같으므로  $c_A=\frac{Q_0}{2m \times 3T}$ ,  $c_B=\frac{Q_0}{3m \times T}$ 이다. 즉,  $c_A:c_B=1:2$ 이다.

**225** A의 비열을  $c$ , 열량계 속의 찬물의 비열을  $c_{\text{물}}$ 이라고 하면, A가 잃은 열량은 열량계 속의 찬물이 얻은 열량과 같으므로  $cm_1(T_1-T_3)=c_{\text{물}}m_3(T_3-T_2)$ 이다. 따라서 (가)에서 비커 안의 물의 질량  $m_2$ 는 A의 비열을 측정하는 데 필요가 없다.

**226** ② (가)에서 측정한 온도는 금속의 처음 온도이고, (다)에서 측정한 온도는 나중 온도이다.

⑥ (다)에서 온도를 측정할 때 측정한 물의 온도는 물속에 있는 금속의 온도와 같고, 이 온도가 금속의 나중 온도이다.

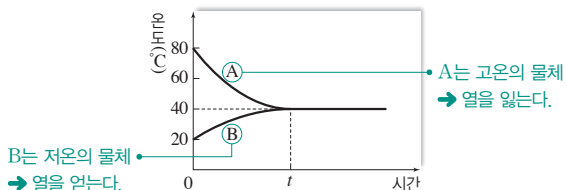
**바로알기** | ① (가)에서 끓는 물에 10분 정도 금속을 담가 두면 금속의 온도는 물의 온도와 같아진다.

③ (나)에서 열량계에 들어 있는 찬물의 질량을 크게 하면 찬물의 비열이 증가하는 것이 아니라 열용량이 증가하는 것이다.

④ (나)에서 찬물의 질량이 클수록 열용량이 증가하여 온도 변화가 작아진다. 따라서 (다)에서 측정한 물의 온도가 낮아진다.

⑤ (다)에서 금속을 꺼내어 곧바로 열량계에 넣는 까닭은 최대한 열에너지의 손실을 막기 위해서이다.

**227** • 온도-시간 그래프에서 시간이 흐를수록 접선 기울기의 크기가 감소한다. 이것은 두 물체 사이에 주고받는 열량이 줄어들고 있다는 것을 보여준다.



비열을  $c$ , 열량을  $Q$ , 질량을  $m$ , 온도 변화량을  $\Delta T$ 라고 하면  $c=\frac{Q}{m\Delta T}$ 이다. 0부터  $t$ 까지 A와 B가 주고받는 열량은 같으므로 비열은 질량과 온도 변화량의 곱에 반비례한다. 따라서  $c_1=\frac{Q}{2 \times 40}$ ,  $c_2=\frac{Q}{3 \times 20}$ 이므로  $c_1:c_2=\frac{1}{80}:\frac{1}{60}=\frac{1}{4}:\frac{1}{3}=3:4$ 이다.

**228** ㄱ. A와 B의 온도가 같아진 40 °C가 열평형 온도이다.

**바로알기** | ㄴ. A의 비열을  $c_1$ 이라고 하면 A가 잃은 열량은  $c_1 \times 6m \times 50$ 이고, B의 비열을  $c_2$ 라고 하면 B가 얻은 열량은  $c_2 \times 5m \times 20$ 이다. A와 B가 주고받는 열량은 같으므로  $c_1 \times 6m \times 50 = c_2 \times 5m \times 20$ 에서  $c_1:c_2=1:3$ 이다.

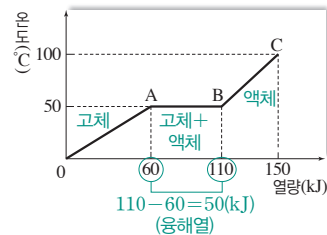
ㄷ. 열용량은 비열과 질량의 곱이므로 A, B의 비열을 각각  $c$ ,  $3c$ 라고 하면 A의 열용량은  $6cm$ , B의 열용량은  $15cm$ 이므로 같지 않다.

**229** ㄱ. A의 온도 변화량은  $\frac{3}{5}T$ 이므로 B의 온도 변화량은  $\frac{1}{5}T$ 이다. 따라서  $x=\frac{1}{5}T$ 이다.

ㄴ.  $Q=C\Delta T$ 에서 두 물체가 주고받는 열량이 같을 때 열용량과 온도 변화량은 서로 반비례한다. A와 B의 온도 변화량의 비는 3:1이므로 A, B의 열용량의 비는 1:3이다. 즉, 열용량은 A가 B의  $\frac{1}{3}$ 배이다.

ㄷ. A의 비열을  $c_1$ , B의 비열을  $c_2$ 라고 하고, A와 B의 질량을 각각  $2m$ ,  $m$ , 열용량을 각각  $C$ ,  $3C$ 라고 하면  $c_1=\frac{C}{2m}$ ,  $c_2=\frac{3C}{m}$ 에서  $c_1:c_2=1:6$ 이다. 따라서 비열은 B가 A의 6배이다.

**230** 상태 변화가 없는 AB 구간은 고체 상태에서 액체 상태로 변하는 구간이다. → 고체 상태와 액체 상태의 공존



ㄱ. 이 물질은 0~60 °C 구간에서 고체가 존재한다. 이 구간에서 60 kJ의 열을 가했을 때 온도가 50 °C 상승하므로, 이 물질의 비열  $c=\frac{Q}{m\Delta T}=\frac{60}{1 \times 50}=1.2(\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. AB 구간은 고체 상태와 액체 상태가 공존하는 구간이고, BC 구간은 액체 상태인 구간이다.

ㄷ. AB 구간에서 고체가 완전히 액체로 바뀌는 데 50 kJ의 열량이 소모되었으므로 용해열은 50 kJ/kg이다.

**231** **모범 답안** ㉠ (다)에서 A와 찬물 사이에 주고받는 열량은 같다. 따라서 A가 잃은 열량 ( $c_1 \times M \times 80$ )은 열량계 속의 찬물이 얻은 열량 ( $c_2 \times 4M \times 10$ )과 같으므로  $c_1:c_2=1:2$ 이다.

㉡ 열용량은 비열과 질량의 곱이므로 열용량의 비는  $C_1:C_2=1:8$ 이다.

| 채점 기준                          | 배점    |
|--------------------------------|-------|
| 비열의 비와 열용량의 비를 모두 옳게 구한 경우     | 100 % |
| 비열의 비와 열용량의 비 중 한 가지만 옳게 구한 경우 | 50 %  |

**232** **모범 답안** 물의 질량과 온도 변화가 같으므로 물이 A와 B로부터 얻은 열량은 같다. 물이 얻은 열량을  $Q_{\text{물}}$ , 금속이 잃은 열량을  $Q$ , 금속의 비열을  $c$ , 질량과 온도 변화를 각각  $m$ ,  $\Delta T$ 라고 하면  $Q_{\text{물}}=Q$ 에서  $Q_{\text{물}}=cm\Delta T$ 이다. 이때  $Q_{\text{물}}$ ,  $m$ 이 같으므로 금속의 비열  $c$ 는 금속의 온도 변화량  $\Delta T$ 에 반비례한다. 금속의 비열이 A가 B보다 크다고 하였으므로 온도 변화량은 B가 A보다 크다. 그런데 두 금속의 나중 온도는  $T$ 로 같으므로 온도 변화가 큰 B의 경우가 물에 넣기 전의 온도가 크다. 즉,  $T_1 < T_2$ 이다.

| 채점 기준                                                                    | 배점    |
|--------------------------------------------------------------------------|-------|
| 두 물체가 물로부터 얻은 열량이 같다는 내용과 비열이 온도 변화량과 반비례한다는 내용을 모두 서술하여 온도를 올바르게 비교한 경우 | 100 % |
| 두 물체가 물로부터 얻은 열량이 같다는 내용과 비열이 온도 변화량과 반비례한다는 내용은 서술하였으나 온도 비교가 옳지 않은 경우  | 50 %  |

**233** ㄷ.  $PV=nRT$ 에서  $P, T$ 가 같으므로  $V$ 는  $n$ 에 비례한다. 따라서 부피가 큰 A의 몰수  $n$ 이 더 크다. 즉, 기체 분자의 개수는 부피가 큰 A가 B보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. 피스톤이 정지 상태이므로 양쪽의 압력은 서로 같다.  
 ㄴ. 피스톤이 단열되지 않고 열을 잘 전달하므로 두 기체의 온도는 열평형 상태이다. 즉, 두 기체의 온도는 서로 같다.

**234** ㄱ. 기체의 온도는 일정하고 부피가 감소하므로  $PV=nRT$ 에서 기체의 압력은 증가한다.

**바로알기** | ㄴ. 온도가 일정할 때 부피와 압력이 반비례하는 관계이므로 보일 법칙으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 타이어 속 기체의 압력은 겨울철에 기온이 내려가면 감소하므로 공기를 더 보충하는 것의 원리는 압력과 절대 온도의 관계를 나타내는 게이뤼삭 법칙이다.

**235** ㄱ. 일정한 압력에서 온도가  $1^\circ\text{C}$  상승할 때마다 기체의 부피는  $0^\circ\text{C}$ 일 때 부피의  $\frac{1}{273}$ 배씩 증가한다. A는  $0^\circ\text{C}$ 일 때  $V_0$ 에서  $T$ 일 때  $2V_0$ 이 되므로  $T$ 는  $273$ 이다.

ㄴ. 기체의 압력이 일정할 때 부피와 절대 온도가 비례하는 관계는 샤를 법칙으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 기체의 온도가 끓는점 이하로 내려가면 기체는 액체로 변한다. 따라서 액체 상태일 때의 그래프를 점선으로 표시한 것이다.

**236** ㄴ. 자동차를 주행하면 타이어 내부의 공기의 온도가 상승하므로 게이뤼삭 법칙에 따라 공기압이 증가한다.

**바로알기** | ㄱ. 보일 법칙에 따라 잠수부가 내신 공기 방울은 수면으로 올라갈수록 압력이 낮아지므로 부피가 커진다.

ㄷ. 비행기가 높이 올라가면 기압이 낮아지므로 보일 법칙에 따라 과자 봉지가 부풀어 오른다.

**237** ㄴ. (가)와 (나)의 이상 기체에서 같은 것은 압력과 몰수이다.  $PV=nR\Delta T$ 에서 부피와 온도 변화는 비례한다. 따라서 이상 기체의 온도는 부피가 큰 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. 이상 기체의 압력은 대기압과 추의 무게가 누르는 압력을 합한 것과 같으므로 (가)와 (나)에서 같다.

ㄷ. (나)에서는 온도가 올라가므로 기체 분자 운동이 활발해진다. 그러나 분자의 개수는 변하지 않으므로 몰수는 일정하다.

**238** 피스톤이 A, B 사이에서 정지해 있으므로 A, B의 압력은 같다. 따라서  $PV=nRT$ 에서  $T \propto \frac{V}{n}$ 이다.  $T_1 \propto \frac{V}{2}, T_2 \propto \frac{3V}{1}$ 이므로  $T_1 : T_2 = 1 : 6$ 이다.

**239** **모범 답안** A 부분이 압축되면서 A의 내부 에너지가 증가하여 A 부분의 온도가 올라간다. 따라서 열이 금속판을 통해 A 부분에서 B 부분으로 이동하므로  $T_0 < T$ 이다. B 부분은 외부로부터 열을 흡수하여 온도가 올라갔는데 부피의 변화가 없으므로  $PV=nRT$ 에서 압력은 온도에 비례한다. 따라서 B에서의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

| 채점 기준                                        | 배점    |
|----------------------------------------------|-------|
| $T_0$ 과 $T$ 의 대소 관계를 옳게 쓰고, 압력 변화를 옳게 서술한 경우 | 100 % |
| $T_0$ 과 $T$ 의 대소 관계만 옳게 쓴 경우                 | 50 %  |

**240** ㄱ. 물을 갑자기 가열하게 되면 물의 온도와 기체의 온도가 같지 않아 실험에서 오차가 생긴다.

ㄷ. 실험 결과에서 물의 온도 변화와 기체의 압력이 비례 관계인 것으로 보아  $PV=nRT$ 에서 기체의 부피는 일정하다고 가정할 수 있다.

**바로알기** | ㄴ. 물의 온도가 올라갈수록 기체의 압력이 증가하는 까닭은 부피가 일정할 때 압력과 온도가 비례하기 때문이다. 플라스크를 밀봉하였으므로 기체의 개수는 변하지 않으며, 기체의 몰수는 일정하다.

**241** ㄴ.  $PV=nRT$ 에서  $P$ 와  $T$ 가 같으므로 부피는 몰수에 비례한다. 따라서 분자 개수가 2배인 B의 부피가 A의 2배이다.

**바로알기** | ㄱ. 대기압과 피스톤이 누르는 압력이 같으므로 두 기체의 압력은 서로 같다.

ㄷ. 부피는 A와 B가 1 : 2이고, 실린더의 밑면적이 같으므로  $h_1 : h_2 = 1 : 2$ 이다.

**242** **모범 답안** 이상 기체 법칙  $PV=nRT$ 에서  $P = \frac{nRT}{V}$ 이다. 따라서  $P_1 = \frac{2 \times R \times 2T}{V}, P_2 = \frac{1 \times R \times T}{V}$ 이므로  $P_1 : P_2 = 4 : 1$ 이다.

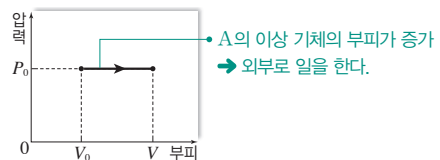
| 채점 기준                                              | 배점    |
|----------------------------------------------------|-------|
| 이상 기체 법칙을 이용하여 압력식을 제대로 작성하고, 압력의 비까지 정확히 구한 경우    | 100 % |
| 압력의 비는 맞지만, 이상 기체 법칙을 이용하여 압력식을 제대로 작성하지 않고 서술한 경우 | 50 %  |

**243** 보일·샤를 법칙  $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T}$ 에 따라  $\frac{3\text{기압} \times 8L}{400\text{K}} = \frac{P \times 12L}{300\text{K}}$   
 이므로  $P = \frac{3}{2}$ 기압이다.

**244** **모범 답안** 바다 표면의 기압이 1기압이므로 수심 140 m에서 기압은 15기압이다. 바다 표면에 닿기 직전 공기 방울의 부피를  $V$ 라고 하면 보일·샤를 법칙  $\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{PV}{T}$ 에 따라  $\frac{15\text{기압} \times 2\text{cm}^3}{285\text{K}} = \frac{1\text{기압} \times V}{295\text{K}}$   
 이므로  $V = \frac{590}{19}\text{cm}^3$ 이다.

| 채점 기준                                    | 배점    |
|------------------------------------------|-------|
| 보일·샤를 법칙을 이용하여 공기 방울의 부피를 구한 경우          | 100 % |
| 공기 방울의 부피를 구했지만, 보일·샤를 법칙을 제시하지 않고 구한 경우 | 50 %  |

**245** • A에 열에너지를 공급하면 압력은 일정한 채로 부피가 증가한다.



**모범 답안** (1)  $PV=nRT$ 에서 압력, 몰수가 같으므로 부피와 절대 온도는 비례( $V \propto T$ )한다. 따라서 부피가 A보다 2배인 B에 들어 있는 기체의 절대 온도가 2배 크다. 즉,  $T_1 : T_2 = 1 : 2$ 이다.

| 채점 기준                                                    | 배점   |
|----------------------------------------------------------|------|
| 이상 기체 상태 방정식에서 부피와 온도의 관계를 제시하고, 기체의 온도 비를 옳게 구한 경우      | 50 % |
| 기체의 온도 비는 옳지만, 이상 기체 상태 방정식을 이용하여 부피와 온도의 관계를 제시하지 않은 경우 | 20 % |

- (2) ㉠ A에서의 압력은 대기압과 피스톤이 누르는 압력의 합으로 일정하다.  
 ㉡ B에서는 부피, 물수가 일정하므로 열에너지가 공급되어 온도가 올라가면 압력도 증가한다.

| 채점 기준                  | 배점   |
|------------------------|------|
| ㉠과 ㉡ 모두 옳게 서술한 경우      | 50 % |
| ㉠과 ㉡ 중 한 가지만 옳게 서술한 경우 | 20 % |

**246** 피스톤의 면적을  $S$ , (가)에서 기체의 압력을  $P$ 라고 하면, 이상 기체 법칙  $PV=nRT$ 에서  $PSh_0=RT_0$ 이다. (나)에서 추의 무게를  $W$ 라고 하면 기체의 압력은  $P+\frac{W}{S}$ , 부피는  $S\times\frac{3}{4}h_0=\frac{3}{4}Sh_0$ 이므로 이상 기체 법칙에서  $(P+\frac{W}{S})\times\frac{3}{4}Sh_0=RT_0$ 이다.  $\frac{3}{4}PSh_0+\frac{3}{4}Wh_0=RT_0$ 이고,  $PSh_0=RT_0$ 을 대입하면  $\frac{3}{4}RT_0+\frac{3}{4}Wh_0=RT_0$ 이므로  $W=\frac{RT_0}{3h_0}$ 이다.

### 최고수준 도전 기출

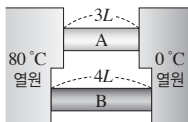
78쪽~79쪽

247 ④    248 ⑤    249 ⑤    250 ②    251 ④    252 ①  
 253 ①    254 ④

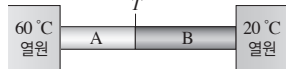
**247**  $Q=k\frac{A(T_1-T_2)}{L}t$ 이므로 단면적

과 온도차가 같다면 단위 시간 동안 이동한 열량은 열전도율에 비례하고, 막대의 길이에 반비례한다.

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



(가)



(나)

ㄱ. A와 B의 열전도율을 각각  $k_A$ ,  $k_B$ , 금속 막대의 단면적을  $A$ 라 하면, A, B를 통해 단위 시간 동안 이동하는 열량은 B가 A의 3배이므로  $3\times k_A\frac{80A}{3L}=k_B\frac{80A}{4L}$ 에서  $k_B=4k_A$ 이다.

ㄴ. A, B의 열전도율을 각각  $k$ ,  $4k$ 라 하면  $k\frac{A(60-T)}{3L}=4k\frac{A(T-20)}{4L}$ 이므로  $T=30^\circ\text{C}$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 접촉 부분의 온도는 일정하므로 단위 시간 동안 이동하는 열량은 A에서와 B에서가 같다.

**248** (가)에서 A와 B의 길이와 단면적이 같고, 단위 시간당 단면을 통해 전달되는 열은 A와 B에서 같으므로 각 물체의 양쪽 끝의 온도차는 열전도율에 반비례한다. A의 양쪽 끝의 온도차는  $4T_0$ , B는  $10T_0$ 이므로 A와 B의 열전도율을 각각  $k_A$ ,  $k_B$ 라고 하면  $k_A:k_B=5:2$ 이다. 같은 방법으로 (가)에서 A와 C가 접촉해 있는 경우에 A의 양쪽 끝의 온도차는  $8T_0$ , C는  $6T_0$ 이므로 C의 열전도율을  $k_C$ 라고 하면  $k_A:k_C=3:4$ 이다. 따라서  $k_A:k_B:k_C=15:6:20$ 이다. (나)에서 단위 시간당 단면을 통해 전달되는 열은 B와 C에서 같으므로 B의 열전도율을  $6k$ , C의 열전도율을  $20k$ 라 하고, 단면적을  $A$ , 길이를  $L$ 이라고 하면  $6k\frac{A(T_1-4T_0)}{L}=20k\frac{A(4T_0-T_0)}{L}$ 이므로  $T_1=14T_0$ 이다.

**249**

- 실험 결과로 제시된 단열 효과를 묻는 문제는 처음 온도와 나중 온도의 차이가 가장 작은 것을 고르는 것이 중요하다. 처음 온도와 나중 온도의 차이가 가장 작은 것은 그만큼 열에너지를 잘 차단했다는 의미이므로 단열이 잘된 경우이다.
- 공기는 우수한 단열재이다. 공기로 둘러싸인 제품들이 무엇이 있는지 살펴보는 것이 제일 먼저 할 일이다.

| 구분     | 0분(°C) | 10분(°C) |
|--------|--------|---------|
| 단열재 없음 | 5.1    | 12.2    |
| 신문지    | 5.2    | 11.1    |
| 빨대     | 5.1    | 10.5    |
| 솜      | 5.2    | 9.7     |
| 뽁뽁이    | 5.1    | 9.3     |

공기로 둘러싸인 제품의 온도차가 작다. → 공기는 좋은 단열재이다.

온도차가 가장 작다.

→ 열이 천천히, 느리게 이동한다.

→ 단열이 가장 잘된다.

⑤ 처음과 10분 뒤의 온도차가 작을수록 단열 효과가 큰 경우이다. 따라서 단열 효과가 가장 좋은 것은 뽁뽁이로 감싼 경우이다. 이때 병의 내부로 열의 이동이 가장 느린 것이다.

**바로알기** | ① 단열 효과가 좋을수록 열은 천천히, 느리게 이동한다.

② 단열 효과는 보온뿐만 아니라 보냉에서도 적용된다.

③ 단열재가 없는 경우가 온도차가 가장 크다. 이것은 단열이 가장 안된 경우라는 것을 알 수 있다.

④ 빨대, 솜, 뽁뽁이와 같이 공기가 많이 들어 있는 경우 단열 효과가 좋은 것으로 보아 공기는 우수한 단열재이다.

**250** 철근 콘크리트는 생활 속에서 흔히 사용하는 건설 구조물 제작 방법이다. 철근 콘크리트는 단순히 튼튼하다고만 해서 사용하는 것이 아니라, 철근과 콘크리트의 열팽창 정도가 비슷하다는 것도 안정성을 유지하는 데 크게 기여한다.

ㄷ. 철과 콘크리트는 열팽창이 비슷하여 온도 변화에도 서로 분리되지 않아 건축물에 균열이 생기지 않는다.

**바로알기** | ㄱ. 철과 콘크리트는 열을 잘 전달하는 물질로 좋은 단열재는 아니다.

ㄴ. 철과 콘크리트 둘다 열팽창을 한다.

**251** ㄴ. (가)에서 A가 잃은 열량과 물이 얻은 열량은 같으므로 A의 비열을  $c_1$ , 물의 비열과 질량을 각각  $c$ ,  $M$ 이라 하면  $c_1\times m\times 50=c\times M\times 10$ 이다. 같은 방법으로 (나)에서는 B의 비열을  $c_2$ 라고 하면  $c_2\times 2m\times 50=c\times M\times 30$ 이다. 두 식으로부터  $c_1:c_2=2:3$ 이므로 비열은 A가 B의  $\frac{2}{3}$ 배이다.

ㄷ. 열용량은 비열과 질량의 곱이다. A와 B의 비열의 비  $c_1:c_2=2:3$ 이고, 질량의 비는  $1:2$ 이므로 열용량의 비는  $2:6=1:3$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 열량계에 들어 있는 물이 공급받은 열량  $Q=cm\Delta T$ 이다. 이때 비열과 질량이 같으므로 열량계에 들어 있는 물이 공급받은 열량은 물의 온도 변화량에 비례한다. 물의 온도 변화량은 (가)에서  $10^\circ\text{C}$ , (나)에서  $30^\circ\text{C}$ 이므로 물이 공급받은 열량은 (나)의 경우가 (가)의 3배이다.

**252** A: 물 1 kg의 온도를  $0^\circ\text{C}$ 에서  $100^\circ\text{C}$ 로 변화시키는 데 필요한 열량은 418 kJ이다. 따라서 물의 비열은 물 1 kg의 온도를  $1^\circ\text{C}$  높이는 데 필요한 열량으로 4.18 kJ/kg·°C이다.

**바로알기** | B: 얼음이 융해할 때 필요한 열량은 같은 질량의 물이 응고할 때 방출하는 열량과 같다.

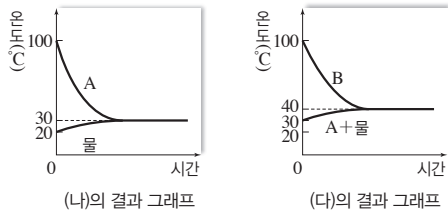
C:  $100^\circ\text{C}$ 의 물 1 kg을  $100^\circ\text{C}$ 의 수증기로 변화시키는 데 필요한 열량은 2265 kJ이고, 같은 질량의  $0^\circ\text{C}$ 의 물을  $100^\circ\text{C}$ 의 물로 변화시키

는 데 필요한 열량은 418 kJ이므로 100 °C의 물을 100 °C의 수증기로 변화시키는 데 필요한 열량은 같은 질량의 0 °C의 물을 100 °C의 물로 변화시키는 데 필요한 열량보다 크다.

**253** ㄱ. 기체가 피스톤을 미는 힘의 크기( $F$ )는 기체의 압력( $P$ )과 피스톤 면적( $S$ )의 곱이다. 즉,  $F_A = P_A S_A$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 두 피스톤이 정지해 있으므로 양쪽 기체가 피스톤을 미는 힘의 크기는 같다. 따라서  $F_A = F_B$ 에서  $P_A S_A = P_B S_B$ 이므로 기체의 압력과 피스톤의 단면적은 반비례 관계이다. 피스톤의 단면적이 B 쪽이 더 크다고 했으므로 압력은 A 쪽이 더 크다. 따라서  $P_A > P_B$ 이다.  
ㄷ. 이상 기체 법칙  $PV = nRT$ 에서 기체의 개수와 온도가 같으므로  $P_A V_A = P_B V_B$ 이다. 이때 부피는 피스톤의 단면적과 실린더 바닥에서 피스톤까지의 거리를 곱한 값이므로  $P_A S_A L_A = P_B S_B L_B$ 이고,  $P_A S_A = P_B S_B$ 이므로  $L_A = L_B$ 이다.

**254** • 두 물체 사이에서 열을 주고받는 경우와 마찬가지로 세 물체가 문제에서 주어진다고 하더라도 고온의 물체는 열을 잃고, 저온의 물체는 열을 얻는다.  
• 문제의 상황을 시간에 따른 온도 그래프로 그리면 보다 쉽게 이해할 수 있다.



물의 비열을  $c$ 라고 할 때, (나)에서 A가 잃은 열량과 열량계 속의 물이 얻은 열량은 같으므로  $c_1 \times M \times 70 = c \times M \times 10$ 이고  $c_1 = \frac{1}{7}c$ 이다.  
(다)에서 B가 잃은 열량은 열량계 속의 물과 A가 얻은 열량의 합과 같으므로  $c_2 \times M \times 60 = c \times M \times 10 + c_1 \times M \times 10$ 이다.  $c_1 = \frac{1}{7}c$ 를 이용하여 정리하면  $c_2 = \frac{4}{21}c$ 이다. 따라서  $c_1 : c_2 = 3 : 4$ 이다.

## 10 열역학 제법칙

### 빈출 자료 보기

81쪽

**255** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

**256** (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

**255** 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 수와 절대 온도에 의해 결정되며, 실린더 내부에 있는 기체에 열을 가하면 기체의 온도가 올라가면서 실린더 내부 기체의 부피가 팽창한다.

**바로알기** | (2) 이상 기체는 분자 사이의 인력이 없다고 가정하므로 위치 에너지를 무시할 수 있다.

(3) 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자의 수가 많을수록, 절대 온도가 높을수록 크다.

(5) 기체의 부피가 감소하면 일의 부호는 음(-)이 된다.

**256** 이상 기체의 압력-부피 그래프에서 기체의 압력 변화, 부피 변화, 온도 변화를 알 수 있으며, 이를 통해 일의 양을 계산할 수 있다.

**바로알기** | (2) B → C 과정은 등적 과정이다. 등적 과정이면서 압력이 감소하므로 기체의 온도는 감소한다.

(3) C → D 과정에서 부피가 감소하므로 그래프 아래의 넓이만큼 기체는 일을 받는다. 따라서 기체가 받은 일의 양은  $P_1(V_2 - V_1)$ 이다.

(5) A → B → C → D → A 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이인  $(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)$ 만큼 일을 한다.

### 난이도별 필수 기출

82쪽~89쪽

|              |                  |                  |                  |
|--------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>257</b> ③ | <b>258</b> ①     | <b>259</b> 해설 참조 | <b>260</b> 해설 참조 |
| <b>261</b> ⑤ | <b>262</b> ④     | <b>263</b> ①     | <b>264</b> ①     |
| <b>265</b> ③ | <b>266</b> ①     | <b>267</b> ①     | <b>268</b> ⑤     |
| <b>269</b> ① | <b>270</b> ④     | <b>271</b> ④     | <b>272</b> ①     |
| <b>273</b> ④ | <b>274</b> ③     | <b>275</b> 해설 참조 | <b>276</b> ⑤     |
| <b>277</b> ① | <b>278</b> ①, ⑤  | <b>279</b> ③     | <b>280</b> 해설 참조 |
| <b>281</b> ② | <b>282</b> 해설 참조 | <b>283</b> ②     | <b>284</b> ⑤     |
| <b>285</b> ④ | <b>286</b> 해설 참조 | <b>287</b> ⑤     | <b>288</b> ④     |
| <b>289</b> ① | <b>290</b> ①     | <b>291</b> ④     | <b>292</b> ②     |
| <b>293</b> ① |                  |                  |                  |

**257** 열역학 제1법칙  $Q = \Delta U + W$ 에서  $105 = \Delta U + 42$ 이므로  $\Delta U = 63$  J이다.

**258** B: 기체의 부피가 감소했으므로 기체는 외부로부터 일을 받는다.

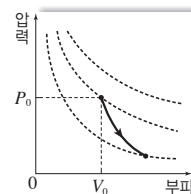
**바로알기** | A:  $PV = nRT$ 이므로 압력이 일정한 상태에서 부피가 감소하면 기체의 온도는 감소한다. 따라서  $T_1 < T_0$ 이다.

C:  $Q = \Delta U + W$ 에서 온도 감소, 부피 감소이므로  $\Delta U < 0$ ,  $W < 0$ 에서  $Q < 0$ 이다. 따라서 기체는 열을 방출한다.

**259** **모범 답안** 온도가 상승하는 경우는 (가)와 (나) 모두이다. (가)는 단열 압축 과정으로 기체가 외부에서 받은 일은 기체의 내부 에너지 증가량으로 쓰이고, 이때 온도가 상승한다. (나)는 등적 과정으로 기체가 흡수한 열량이 기체의 내부 에너지 증가량이므로 (나)의 기체도 온도가 상승한다.

| 채점 기준                                          | 배점    |
|------------------------------------------------|-------|
| 기체의 온도가 상승하는 경우를 옳게 고르고, 그 까닭을 정확히 서술한 경우      | 100 % |
| 기체의 온도가 상승하는 경우를 옳게 골랐지만, 그 까닭을 정확히 설명하지 못한 경우 | 50 %  |

**260** **모범 답안** 기체는 단열 팽창하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.



| 채점 기준                                        | 배점    |
|----------------------------------------------|-------|
| 부피가 팽창하고, 압력이 감소하는 형태로 단열선을 곡선으로 정확히 그린 경우   | 100 % |
| 단열선을 곡선으로 그렸지만, 부피가 팽창하고, 압력이 감소하게 그리지 않은 경우 | 50 %  |

**261** ㄱ. 기체의 내부 에너지가 일정한 경우 기체의 온도 변화가 없는 상태이므로 등온 과정이다. 따라서 A는 등온 과정이다.

ㄴ. 등온 과정을 제외하고 기체가 열을 흡수하여 내부 에너지가 일정하지 않은 경우는 등압 과정이다. 따라서 ㉠에는 '기체가 열을 흡수하는가?'가 적절하다.

ㄷ. 기체가 열을 흡수하지 않은 경우는 단열 과정이다. 따라서 B는 단열 과정이다.

**262** 등압 팽창 과정은 온도가 증가하는 과정이므로  $T_0 < T_1$ 이고, 단열 팽창 과정은 온도가 감소하는 과정이므로  $T_0 > T_2$ 이다. 따라서  $T_1 > T_0 > T_2$ 이다.

**263** ㄴ. (나)에서 피스톤이 빠르게 올라왔으므로 단열 팽창 과정이다. 이때 A의 압력은 감소하고 부피가 증가하므로 온도는 감소한다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서 피스톤을 빠르게 눌렀으므로 단열 압축 과정이다. 이때 A의 압력은 증가하고 부피는 감소하므로 온도는 증가한다. ㄷ. 단열 과정에 해당하는 것은 (가)와 (나) 모두가 해당된다.

**264** ㄱ. 병에 넣은 탄산음료의 뚜껑을 재빨리 댔을 때 뚜껑 안쪽에 김이 생기는 것은 기체가 단열 팽창해서 생긴 것이다. 단열 팽창이 일어나면 온도가 감소한다.

**바로알기** | ㄴ. 단열 팽창이 일어나면 압력은 감소한다. ㄷ. 뉘새바람은 단열 압축에 의해 생기는 기상 현상이다.

**265** ㄱ. A → B 과정은 등압 과정으로 부피가 증가하는 과정이다. 부피가 증가할 때 기체는 외부에 일을 한다.

ㄷ. 압력-부피 그래프에서 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다. 압력과 부피의 곱은 A에서가 D에서보다 크므로, 온도는 A에서가 D에서보다 높다.

**바로알기** | ㄴ. B → C 과정은 등적 과정으로 부피가 일정하고, 온도가 감소하여 내부 에너지가 감소한다. 따라서 열을 흡수하는 것이 아니라 열을 방출하는 과정이다.

**266** ㄱ. b에서 피스톤은 정지해 있으므로 A와 B의 압력은  $2P$ 로 같다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서 그래프 아래의 넓이가 A가 한 일이므로  $\frac{3}{2}PV$ 이다.

ㄷ. a → b 과정에서 B는 단열 압축된다. 따라서 B의 내부 에너지 증가량은 B가 받은 일과 같고, B가 받은 일은 A가 한 일과 같으므로  $\frac{3}{2}PV$ 이다.

**267** ㄱ. A → B 과정은 등압 과정으로 내부 에너지가 증가하고, 기체가 외부로 일을 한다. 따라서 열을 흡수하는 과정이다.

**바로알기** | ㄴ. B → C 과정은 온도가  $T_2$ 로 일정한 등온 과정이므로 온도 변화가 없다. 따라서 기체의 내부 에너지는 일정하다.

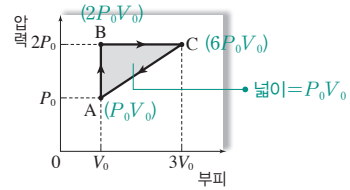
ㄷ. 압력-부피 그래프에서 그래프 아래의 넓이는 기체가 한 일 또는 받은 일이다. 그래프 아래의 넓이는 A → B 과정에서보다 B → C 과정에서 더 크다. 따라서 A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 B → C 과정에서 기체가 받은 일보다 작다.

**268** ㄱ. 압력-부피 그래프에서 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 기체의 온도는 A에서가 C에서보다 낮다.

ㄴ. 기체가 한 일은 그래프 아래의 넓이에 해당한다. 따라서 넓이가 큰 (가)에서가 (나)에서보다 기체가 한 일이 크다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지 변화량은 온도 변화량에 비례한다. (가)와 (나) 모두 A에서 시작해서 C까지 변하는 과정이므로 내부 에너지 변화량은 서로 같다.

**269** • 압력-부피 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이가 기체가 한 일이다.



ㄱ. 압력-부피 그래프에서 압력과 부피의 곱이 기체의 온도에 비례한다. 따라서 압력과 부피의 곱이 B에서는  $2P_0V_0$ , C에서는  $6P_0V_0$ 이므로 절대 온도는 C에서가 B에서의 3배이다.

**바로알기** | ㄴ. C → A 과정에서 부피는 감소하고, 온도도 감소하므로  $Q < 0$ 이다. 따라서 외부로 열을 방출한다.

ㄷ. A → B → C → A의 순환 과정을 거치면 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이인  $P_0V_0$ 만큼 일을 한다.

**270** ㄴ. B → C 과정에서 기체의 온도는 감소하므로 내부 에너지는 감소한다. 따라서 ㉠은 감소이다.

ㄷ. C → A 과정에서 부피는 증가하므로 일의 부호는 (+)이다. 따라서 ㉡은 (+)이다.

**바로알기** | ㄱ. A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 감소하고, 외부로부터 일을 받으므로 외부로 열을 방출한다. 따라서 ㉢은 방출이다.

**271** ㄱ. A → B 과정은 등온 과정이므로  $\Delta U = 0$ 이다. 따라서  $Q = W$ 이고, 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

ㄷ. D → A 과정은 등적 과정이므로  $W = 0$ 이다. 따라서  $Q = \Delta U$ 이고, 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지의 증가량과 같다.

**바로알기** | ㄴ. C → D 과정은 부피가 감소하는 과정으로 기체가 일을 받는다. 따라서 기체가 방출한 열의 양은 기체가 외부에서 받은 일의 양과 같다.

**272** ㄴ. B → C 과정은 온도가 일정하므로 내부 에너지 변화량은 0이고, 부피는 감소하는 과정이다. 따라서  $Q < 0$ 이므로 외부로 열을 방출하는 구간이다.

**바로알기** | ㄱ. A → B 과정은 압력이 일정할 때 부피와 온도가 비례하는 과정으로 샤를 법칙에 해당한다.

ㄷ. C → A 과정은 부피가 일정한 구간이다. 부피의 변화가 없을 때 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

**273** ㄱ. 내부 에너지 변화량은 온도 변화량과 같다. (가)와 (나) 과정은 처음 A 상태에서 마지막 C 상태까지로 같으므로 온도 변화량이 같다. 따라서 기체의 내부 에너지 변화량도 같다.

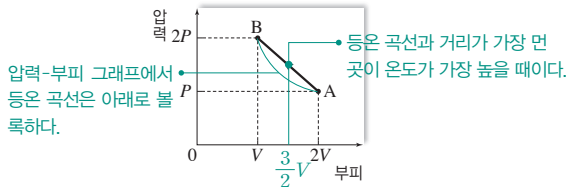
ㄷ. 기체가 흡수한 열량  $Q = \Delta U + W$ 이다.  $\Delta U$ 는 (가)와 (나)에서 같으므로  $W$ 가 열량의 크기를 결정한다. 압력-부피 그래프 아래의 넓이가 일  $W$ 이므로 넓이가 큰 (가)에서 흡수한 열량이 (나)에서 흡수한 열량보다 크다.

**바로알기** | ㄴ. B → C 과정은 부피가 증가하는 과정이므로 기체는 외부에 일을 한다.

**274** ㄱ. (가) → (나) 과정에서 부피가 일정하므로  $W=0$ 이고,  $Q=\Delta U$ 이다. 따라서 A의 내부 에너지 감소량은  $Q$ 이다.  
 ㄴ. (나) → (다) 과정은 단열 압축 과정이므로  $Q=0$ 이고,  $0=\Delta U+W$ 이다.  $\Delta U>0$ 이고,  $W<0$ 이므로 A가 외부로부터 받은 일의 양은 A의 내부 에너지 증가량과 같다.

**바로알기** | ㄷ.  $PV=nRT$ 에서 (가)와 (다)의 압력이 같으므로 부피와 온도는 비례한다. 즉, 부피가 큰 (가)의 경우가 (다)의 경우보다 온도가 높다.

**275**



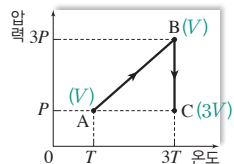
**모범 답안** (1) 압력-부피 그래프에서 등온 곡선은 아래로 볼록하다. 따라서 A → B 과정에서는 온도가 증가하다가 감소하여 A와 B의 온도가 같다. 온도가 가장 높은 곳은 A와 B를 잇는 선분의 중간 지점인  $\frac{3}{2}V$ 일 때이다.

| 채점 기준                               | 배점   |
|-------------------------------------|------|
| 온도가 가장 높을 때의 부피와 그 까닭을 모두 옳게 설명한 경우 | 50 % |
| 온도가 가장 높을 때의 부피만 쓴 경우               | 20 % |

(2) A → B 과정은 A와 B에서 온도가 같으므로 내부 에너지 변화량은 0이다. 따라서  $Q=W$ 에서 외부로부터 일을 받은 만큼 열을 방출한다. 즉, 그래프 아래의 넓이에 해당하는  $\frac{3}{2}PV$ 만큼 열을 방출한다.

| 채점 기준                          | 배점   |
|--------------------------------|------|
| 기체가 방출한 열량과 그 까닭을 모두 옳게 설명한 경우 | 50 % |
| 기체가 방출한 열량만 쓴 경우               | 20 % |

**276** • 압력-온도 그래프의 각 지점에서 기체의 부피는 다음과 같다.



ㄱ.  $PV=nRT$ 에서 압력과 온도가 비례 관계가 되려면 기체의 부피가 일정해야 한다.

ㄴ. A에서 부피를  $V$ 라고 하면 B에서 부피는  $V$ , C에서 부피는  $3V$ 이다. 따라서 부피는 C에서가 A에서의 3배이다.

ㄷ. B → C 과정에서 온도는 일정하고, 부피는 증가한다.  $Q=\Delta U+W$ 에서 온도가 일정하므로  $\Delta U=0$ 이고, 부피가 증가하므로  $W>0$ 이다. 따라서  $Q>0$ 이고,  $Q=W$ 이므로 기체가 흡수한 열량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

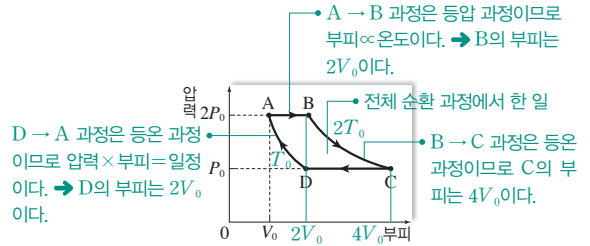
**277** ㄴ. (나)의 순환 과정에서는 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이에 해당하는 만큼 외부로부터 일을 받는다. A에서 시작하여 A로 끝났으므로 온도 변화는 없고, 따라서 내부 에너지 변화량은 0이다. 결국 기체가 외부로부터 흡수한 열량보다 외부로 방출한 열량이 크다.

**바로알기** | ㄱ. (가) 과정은 기체가 외부에 한 일의 양보다 받은 일의 양이 더 많다. 따라서 (가)의 순환 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이에 해당하는 만큼 외부로부터 일을 받는다.

ㄷ. (가)와 (나) 과정 모두 A에서 시작하여 A로 끝났으므로 온도 변화는 없다. 따라서 내부 에너지 변화량은 (가)와 (나) 과정에서 모두 0이다.

**278**

• 압력-부피 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이는 전체 순환 과정에서 기체가 한 일과 같다.



① B와 D에서 부피는  $2V_0$ 로 같다.

⑤ A → B 과정에서 한 일과 C → D 과정에서 받은 일은  $2P_0V_0$ 로 같다.

**바로알기** | ② C에서 부피는  $4V_0$ 이다.

③ B → C 과정은 등온 과정이다. 따라서 내부 에너지는 일정하다.

④ A → B 과정과 C → D 과정의 온도 변화량의 크기는 같다. 따라서 내부 에너지 변화량의 크기도 같다.

⑥ A → B 과정과 C → D 과정에서는 내부 에너지 변화량 크기가 같고, 한 일과 받은 일의 양이 같다. 따라서 A → B 과정에서 흡수한 열량은 C → D 과정에서 방출한 열량과 같다.

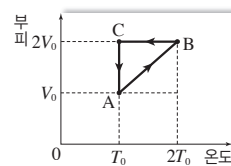
⑦ A → B → C → D → A 과정을 순환하면 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이만큼 외부에 일을 한다.

**279** ㄱ. 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다. A에서 압력과 부피의 곱이  $2PV$ , C에서 압력과 부피의 곱은 D에서와 같으므로  $PV$ 이다. 따라서 기체의 절대 온도는 A에서가 C에서의 2배이다.

ㄴ. C → D 과정은 등온 압축 과정이다.  $Q=\Delta U+W$ 에서  $\Delta U=0$ 이고,  $Q<0$ ,  $W<0$ 이다. 따라서 기체가 방출한 열량과 기체가 외부로부터 받은 일은 같다.

**바로알기** | ㄷ. B → C 과정에서 온도는 감소하고, D → A 과정에서 온도는 증가한다. 이때 A와 B, C와 D는 온도가 각각 같으므로 B → C 과정에서 내부 에너지 감소량은 D → A 과정에서 내부 에너지 증가량과 같다.

**280** **모범 답안** A에서 기체의 온도를  $T_0$ 이라고 하면 B와 C에서 기체의 온도는 각각  $2T_0$ ,  $T_0$ 이고, 그래프에 나타내면 다음과 같다.



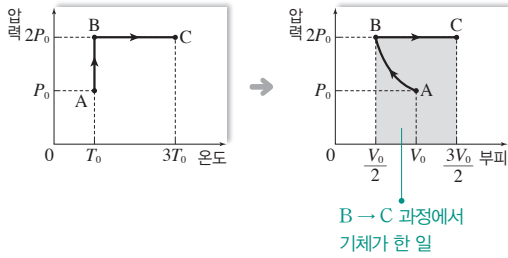
| 채점 기준                            | 배점    |
|----------------------------------|-------|
| 온도를 설정하고, 그래프를 옳게 그린 경우          | 100 % |
| 그래프의 형태는 잘 그렸지만, 온도의 값을 쓰지 않은 경우 | 50 %  |

**281** ㄷ. A → D 과정은 부피가 일정하므로 외부로 일을 하지는 않지만, 온도가 증가하므로 내부 에너지는 증가한다. 따라서 A → D 과정은 열을 흡수하는 과정이다.

**바로알기** | ㄱ. A → B 과정은 온도가 일정하고, 부피가 감소하는 과정이다. 따라서 압력은 증가한다.

ㄴ. A → C 과정은 온도가  $T_0$ 에서  $2T_0$ 으로 증가하는 과정이다. 온도가 증가하므로 내부 에너지도 증가한다.

282 · 압력-온도 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 다음과 같다.



**모범 답안** (1) A → B 과정은 등온 과정이므로 압력과 부피는 반비례한다. 따라서 A에서 부피가  $V_0$ 이면 B에서 부피는  $\frac{1}{2}V_0$ 이다. 또한 B → C 과정은 등압 과정이므로 부피는 온도에 비례한다. 온도가 3배가 되었으므로 부피도 3배가 되어야 한다. 따라서  $\frac{3}{2}V_0$ 이다.

| 채점 기준                            | 배점   |
|----------------------------------|------|
| 기체의 부피와 그 값이 나온 까닭을 모두 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| 기체의 부피만 옳게 쓴 경우                  | 20 % |

(2) 압력-부피 그래프로 전환하면 B → C 과정에서 그래프 아래의 넓이가 기체가 한 일이므로  $2P_0V_0$ 이다.

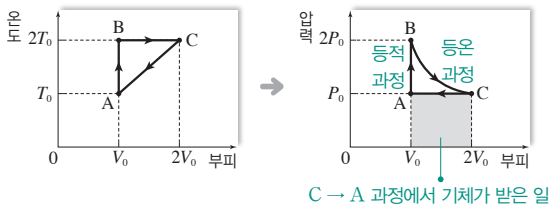
| 채점 기준                           | 배점   |
|---------------------------------|------|
| 압력-부피 그래프로부터 기체가 한 일을 옳게 서술한 경우 | 50 % |
| 기체가 한 일만 옳게 쓴 경우                | 20 % |

283 ㄷ. C → D 과정에서 부피가 감소한다. 따라서 외부로부터 일을 받는 과정이다.

**바로알기** | ㄱ. A, C, D는 같은 온도선상에 있는 점이다. 따라서 A에서와 C에서의 온도는 같다.

ㄴ. B → C 과정은 단열 과정이다. 단열 과정에서는 열을 흡수하지도, 방출하지도 않는다.

284 · 온도-부피 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 다음과 같다.

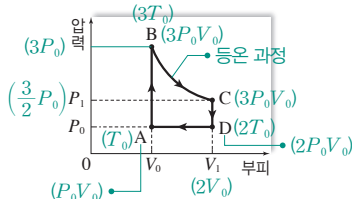


ㄴ. B → C 과정은 등온 과정으로  $Q=W$ 이고,  $Q>0$ ,  $W>0$ 이다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 같다.

ㄷ. 압력-부피 그래프로 전환하면 C → A 과정에서 그래프 아래의 넓이인  $P_0V_0$ 이 기체가 받은 일이다.

**바로알기** | ㄱ. A → B 과정은 등압 과정이므로 압력은 온도에 비례한다. 따라서 B에서의 압력은  $2P_0$ 이다.

285 · 압력  $P_1$ 과 부피  $V_1$ 를 구해 보면 다음과 같다.

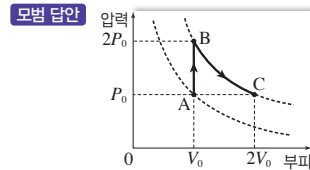


ㄱ. A에서 온도는  $T_0$ 이고, 압력과 부피의 곱은  $P_0V_0$ 이다. D에서 온도는  $2T_0$ 이므로 부피는  $2V_0$ 이다.

ㄷ. A → B 과정과 C → D 과정은 등적 과정으로 일을 하지 않는다 ( $W=0$ ). 따라서  $Q=\Delta U$ 이다. 또 내부 에너지 변화량은 온도 변화량에 비례하므로 A → B 과정의 내부 에너지 증가량이 C → D 과정의 내부 에너지 감소량보다 크다. 즉, A → B 과정에서 기체가 흡수한 열량은 C → D 과정에서 기체가 방출한 열량보다 크다.

**바로알기** | ㄴ.  $P_1$ 은 C에서의 압력이고, C는 B와 온도가 같은  $3T_0$ 이다. 따라서  $3P_0V_0=P_1 \times 2V_0$ 에서  $P_1=\frac{3}{2}P_0$ 이다.

286 A에서 압력과 부피는 각각  $P_0$ ,  $V_0$ 이다. A → B 과정에서 부피는 일정하고 온도가 2배이므로 B에서의 압력은  $2P_0$ 이다. B → C 과정은 등온 과정이므로 압력-부피 그래프에서 등온 곡선을 따라 부피가  $2V_0$ , 압력이  $P_0$ 인 상태가 C이다.



| 채점 기준                           | 배점    |
|---------------------------------|-------|
| A → B 과정과 B → C 과정을 모두 옳게 그린 경우 | 100 % |
| 두 과정 중 하나만 옳게 그린 경우             | 50 %  |

287 ㄴ. A → B 과정은 부피가 증가하는 구간이므로 기체가 일을 하지만, B → C 과정은 부피가 일정한 등적 과정이므로 이때 기체가 한 일은 0이다.

ㄷ. B → C 과정은 기체의 부피가 일정하므로  $W=0$ 이다. 따라서  $Q=\Delta U$ 이고, 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

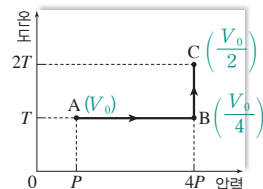
**바로알기** | ㄱ. A에서 기체의 압력을  $P$ 라고 하면 B에서는  $P$ 이고, C에서는  $\frac{3}{2}P$ 이다. 따라서 압력은 C에서가 A에서의  $\frac{3}{2}$ 배이다.

288 ㄴ. B에서 단열 팽창하여 C가 되었으므로 온도가 감소하고, C에서 등압 압축하여 D가 되었으므로 온도가 감소한다. 따라서 B에서의 온도가 D에서보다 높다.

ㄷ. D → A 과정은 단열 압축 과정으로  $0=\Delta U+W$ 에서 기체의 내부 에너지 증가량은 기체가 외부로부터 받은 일과 같다.

**바로알기** | ㄱ. A → B 과정은 등압 과정이므로,  $Q=\Delta U+W$ 에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다.

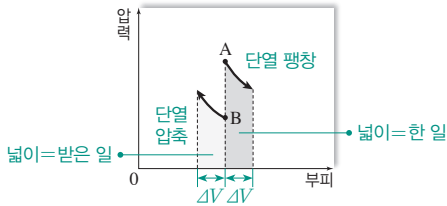
289 · 각 상태에서의 부피는 다음과 같다.



ㄱ. A에서 부피가  $V_0$ 일 때 B에서는 온도는 일정하고 압력이 4배이므로 부피는  $\frac{1}{4}V_0$ 이다. C에서는 B에서와 압력은 같고 온도가 2배이므로 부피는  $\frac{1}{2}V_0$ 이다. 따라서 기체의 부피는 A에서가 C에서의 2배이다.

**바로알기** | ㄴ. A → B 과정에서 온도는 일정하고 부피는 감소한다. 따라서 기체는 외부로부터 일을 받는다.

ㄷ. B → C 과정에서 온도와 부피가 증가하므로 기체가 흡수한 열량은 내부 에너지 변화량과 기체가 하는 일의 합과 같다.

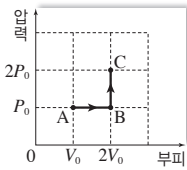


ㄴ. B는 단열 압축하므로 B의 온도와 압력은 증가한다.

**바로알기** | ㄱ. A는 단열 팽창하므로 A의 온도와 압력은 감소한다.

ㄷ. A의 부피 증가량과 B의 부피 감소량은 같다. 기체의 압력은 팽을 제거하기 전에는 A가 높고, B가 낮다. 따라서 압력-부피 그래프로 그려보면 그래프 아래의 넓이가 A의 경우가 더 큰 것을 알 수 있다. 즉, A가 한 일의 양이 B가 받은 일의 양보다 크다.

**291** ㄱ. A에서의 부피를  $V_0$ 이라고 할 때 기체의 상태를 압력과 부피로 나타내면 그림과 같다. 따라서 기체의 부피는 C에서 A에서의 2배이다.



ㄷ. B → C 과정은 등적 과정으로  $W=0$ 이고,  $Q=\Delta U$ 이다. 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 같다.

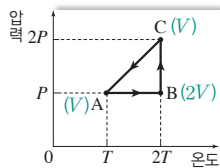
**바로알기** | ㄴ. B → C 과정에서는 부피의 변화가 없다. 따라서 B → C 과정에서는 일을 하지 않는다.

**292** ㄷ. B → C 과정에서 온도 감소량이  $T_0$ 이고, D → A 과정에서 온도 증가량이  $T_0$ 이므로 온도 변화량이 서로 같다. 따라서 기체의 내부 에너지 변화량 크기도 같다.

**바로알기** | ㄱ. A에서 부피를  $V_0$ 이라고 하면 A와 D는 부피가  $V_0$ 으로 같다. 또한 B와 C에서는 부피가  $2V_0$ 이다. C에서 부피가 가장 작지 않다.

ㄴ. A → B 과정에서는 부피가 증가한다. 따라서 기체는 외부에 일을 한다.

**293** ㄱ. A에서 부피를  $V$ 라고 하면, B에서  $2V$ , C에서는  $V$ 이다. 따라서 기체의 부피는 B에서 C에서의 2배이다.



**바로알기** | ㄴ. B → C 과정은 부피가 감소하는 과정이다. 따라서  $W < 0$ 이다. 또한 온도가 일정하므로  $\Delta U = 0$ 에서  $Q < 0$ 이다. 즉, 기체는 열을 방출한다.

ㄷ. A → B 과정은 기체의 온도가 증가하고 부피도 증가하는 과정으로,  $\Delta U > 0$ ,  $W > 0$ 이므로  $Q > 0$ 이다. C → A 과정은 부피가 일정하고 온도가 감소하는 과정으로,  $\Delta U < 0$ ,  $W = 0$ 이므로  $Q < 0$ 이다. 이때 A → B 과정과 C → A 과정에서 온도 변화량이 같으므로 내부 에너지 변화량의 크기도 같다. 따라서 A → B 과정에서 흡수한 열량이 C → A 과정에서 방출한 열량보다 크다.

| 과정    | Q | $\Delta U$ | W |
|-------|---|------------|---|
| A → B | + | +          | + |
| B → C | - | 0          | - |
| C → A | - | -          | 0 |

## 11 열역학 제2법칙

### 빈출 자료 보기

91쪽

**294** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ×

**295** (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

**294** 열기관은 외부에서 공급받은 열의 일부를 일로 전환하는 장치로, 열기관이 고열원에서 받은 열에 대해 외부에 한 일의 비율을 열효율이라고 한다.

**바로알기** | (2) 열기관의 열효율  $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로  $\frac{Q_2}{Q_1}$ 가 커지면 열효율이 작아진다.

(4)  $Q_1 = W$ 인 열기관은 열효율이 100 %이다. 열효율이 100 %인 열기관은 열역학 제2법칙에 위배되어 제작이 불가능하다.

(5)  $W$ 가 같을 때  $Q_1$ 이 커지면 열효율은 작아진다.

**295** 열은 엔트로피가 증가하는 방향으로 이동하며, 고온에서 저온으로 이동한다.

**바로알기** | (4)  $T_H > T_L$ 이므로  $\frac{1}{T_H} < \frac{1}{T_L}$ 이다. 따라서 전체 엔트로피 변화량의 부호는 음(-)이다.

(5) 엔트로피 변화량이 음(-)이므로 이 과정에서 열의 이동은 자발적으로 일어나지 않는다.

### 난이도별 필수 기출

92쪽~97쪽

|                  |              |                  |              |                  |
|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| <b>296</b> ⑤     | <b>297</b> ③ | <b>298</b> ⑤     | <b>299</b> ③ | <b>300</b> 해설 참조 |
| <b>301</b> ③     | <b>302</b> ⑤ | <b>303</b> ①     | <b>304</b> ④ | <b>305</b> 해설 참조 |
| <b>306</b> ③     | <b>307</b> ④ | <b>308</b> 해설 참조 | <b>309</b> ⑤ |                  |
| <b>310</b> 해설 참조 | <b>311</b> ③ | <b>312</b> ③     | <b>313</b> ③ | <b>314</b> ④     |
| <b>315</b> ②     | <b>316</b> ③ | <b>317</b> ①, ⑤  | <b>318</b> ③ | <b>319</b> ⑤     |
| <b>321</b> ③     | <b>322</b> ⑤ | <b>323</b> ④     |              | <b>320</b> ⑤     |

**296** ㄱ. 열기관은 고열원에서 열을 흡수하여 일을 하고 저열원으로 열을 방출하므로  $T_1$ 은 고열원의 온도,  $T_2$ 는 저열원의 온도이다. 따라서  $T_1 > T_2$ 이다.

ㄴ. 열기관의 열효율은  $\frac{\text{한 일}}{\text{공급한 열}}$ 이므로  $\frac{Q}{3Q} = \frac{1}{3}$ 이다.

ㄷ. 저열원으로 방출되는 열량은 공급받은 열에서 한 일을 뺀 값이므로  $3Q - Q = 2Q$ 이다.

**297** ㄱ. 열은 고온에서 저온으로 이동하므로  $T_1 > T_2$ 이다.

ㄷ. 열기관의 열효율  $e = \frac{W}{3Q} = \frac{3Q - Q}{3Q} = \frac{2}{3}$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 열역학 제2법칙을 적용하면 흡수한 열량  $3Q$ 는 열기관이 한 일  $W$ 과 방출한 열량  $Q$ 의 합과 같다. 따라서 한 일  $W = 2Q$ 이다.

**298** 열기관의 열효율  $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이다. 따라서  $0.2 = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로  $\frac{Q_2}{Q_1} = 0.8$ 이다.

**299** A: 열기관이 고열원으로부터 흡수한 열량은 열기관이 한 일과 저열원으로 방출한 열량의 합과 같으므로  $20\text{ J} + 80\text{ J} = 100\text{ J}$ 이다.

B: 열기관의 열효율은  $\frac{20\text{ J}}{100\text{ J}} = 0.2$ 이다.

**바로알기** | C: 저열원 쪽으로 방출하는 양이 적을수록 좋은 효율의 열기관이다.

**300** **모범 답안** 열역학 제1법칙에 따라 고열원에서 흡수한 열은 열기관이 한 일( $W$ )과 저열원으로 방출한 열( $Q$ )의 합과 같으므로, 열기관의 열효율은  $\frac{W}{Q+W}$ 이다.

| 채점 기준                         | 배점    |
|-------------------------------|-------|
| 열역학 제1법칙을 이용하여 열효율을 물게 서술한 경우 | 100 % |
| 열효율만 물게 쓴 경우                  | 50 %  |

**301** 열기관이 한 일은  $4Q - 3Q = Q$ 이고, 열효율 =  $\frac{\text{한 일}}{\text{흡수한 열량}}$ 이므로, 열기관의 열효율은  $\frac{Q}{4Q} = 0.25$ 이다. 따라서 고열원에서  $8Q$ 의 열을 흡수할 때 열기관이 한 일은  $2Q$ 이다.

**302**  $\neg$ . 열기관은 온도가  $T_1$ 인 고열원에서 열을 흡수하여 일을 하고 온도가  $T_2$ 인 저열원으로 열을 방출하므로  $T_1$ 이  $T_2$ 보다 크다.  
 $\therefore$  한 일  $W = 200\text{ J} - 160\text{ J} = 40\text{ J}$ 이다.

$\therefore$  열효율은  $\frac{W}{Q_1} = \frac{40\text{ J}}{200\text{ J}} = 0.2$ 이다.

**303**  $\neg$ . 부피가 일정할 때 압력이 증가하면 온도가 증가한다. 따라서  $A \rightarrow B$  과정에서 기체의 온도가 증가한다.

**바로알기** |  $\therefore Q_1 + Q_2 > W$ 이다.

$\therefore$  열기관의 열효율은  $\frac{W}{Q_1 + Q_2}$ 이다.

**304**  $\neg$ . 등온 곡선에서 위쪽에 있는 곡선의 온도가 아래쪽에 있는 곡선의 온도보다 높으므로  $T_1 > T_2$ 이다.

$\therefore$  카르노 기관에서 열량과 온도 사이에는  $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$ 와 같은 관계가 성립한다. 따라서 열효율은  $1 - \frac{Q_2}{Q_1}$  또는  $1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이다.

**바로알기** |  $\therefore$  온도가  $T_1$ 인 고열원에서  $Q_1$ 의 열을 흡수하여 일을 하고 온도가  $T_2$ 인 저열원에서  $Q_2$ 의 열을 방출하므로 한 일  $W = Q_1 - Q_2$ 이다.

**305** **모범 답안** 카르노 기관의 열효율  $e = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = 0.25$ 이다. (가)와 (나)에서  $W = A$ 이므로  $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{A}{Q_1}$ 에서  $0.25 = \frac{A}{100}$ 이므로  $A = 25\text{ J}$ 이다.

| 채점 기준                    | 배점    |
|--------------------------|-------|
| 풀이 과정과 함께 A의 값을 물게 구한 경우 | 100 % |
| A의 값만 물게 쓴 경우            | 50 %  |

**306**  $\neg$ .  $A \rightarrow B$  과정은 등압 팽창 과정이며, 등압 팽창 과정에서 기체의 온도는 증가한다.

$\therefore D \rightarrow A \rightarrow B$  과정에서 열을 흡수하고,  $B \rightarrow C \rightarrow D$  과정에서 열을 방출하므로 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은  $(15Q + 3Q) - (9Q + 5Q) = 4Q$ 이다.

**바로알기** |  $\therefore$  열기관의 열효율은  $\frac{4Q}{18Q} = \frac{2}{9}$ 이다.

**307**  $\therefore$ .  $A \rightarrow B$  과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않고 기체의 온도가 상승하므로  $Q = \Delta U > 0$ 이다. 따라서 기체는 열을 흡수한다.

$\therefore$ .  $B \rightarrow C$ 의 단열 과정에 열역학 제1법칙을 적용하면  $Q = \Delta U + W = 0$ 에서  $W = -\Delta U$ 이므로 기체가 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

**바로알기** |  $\neg$ . 열기관의 열효율  $0.2 = \frac{W}{Q_1}$ 에서  $Q_1 = 5W$ 이고,  $Q_2 = Q_1 - W$ 이므로  $Q_2 = 4W$ 이다.

**308** **모범 답안** (1) 고열원에서 열기관이 흡수한 열량은 (열기관이 한 일 + 열기관이 저열원으로 방출한 열량)이다. A가 고열원에서 흡수한 열량은  $8\text{ kJ} + 12\text{ kJ} = 20\text{ kJ}$ 이므로 A의 열효율은  $\frac{8\text{ kJ}}{20\text{ kJ}} = \frac{2}{5}$ 이다.

| 채점 기준              | 배점   |
|--------------------|------|
| 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우 | 50 % |
| 답만 옳게 쓴 경우         | 20 % |

**모범 답안** (2) 열효율은 A가 B의 2배이므로 B의 열효율은  $\frac{1}{5}$ 이다. 따라서

$$\frac{W_0}{W_0 + 8\text{ kJ}} = \frac{1}{5} \text{ 이므로 } W_0 = 2\text{ kJ} \text{이다.}$$

| 채점 기준              | 배점   |
|--------------------|------|
| 풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우 | 50 % |
| 답만 옳게 쓴 경우         | 20 % |

**309**  $\neg$ .  $A \rightarrow B$  과정은 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 기체의 부피가 증가하고, 온도가 증가하는 과정이다. 따라서 기체의 내부 에너지는 온도에 비례하므로,  $A \rightarrow B$  과정에서 기체의 내부 에너지는 증가한다.

$\therefore$ .  $C \rightarrow D$  과정은 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 기체의 부피가 감소하고 온도가 감소하는 과정이므로, 기체는 외부로 열을 방출한다.

$\therefore$  열기관의 열효율 =  $\frac{\text{흡수한 열량} - \text{방출한 열량}}{\text{흡수한 열량}}$ 이므로

$$0.3 = \frac{200 - \textcircled{1}}{200} \text{ 이다. 따라서 } \textcircled{1} = 140 \text{ 이다.}$$

**310** **모범 답안** 기체는  $A \rightarrow B$  과정에서 열을 흡수하고,  $B \rightarrow C$  과정에서 외부에 일을 한다. 기체는  $C \rightarrow D$  과정에서 열을 방출하고,  $D \rightarrow A$  과정에서 외부로부터 일을 받는다.  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 의 순환 과정에서 기체가 외부에 한 일은  $40\text{ J}$ 이고, 방출한 열량은  $160\text{ J}$ 이므로,  $\textcircled{1} = 40 + 160 = 200(\text{J})$ 이다. 따라서 열기관의 열효율은  $\frac{40\text{ J}}{200\text{ J}} = 0.2$ 이다.

| 채점 기준                   | 배점    |
|-------------------------|-------|
| 열효율을 풀이 과정과 함께 물게 구한 경우 | 100 % |
| 열효율만 물게 쓴 경우            | 50 %  |

**311** A에서  $\textcircled{1} = 200 - 150 = 50(\text{kJ})$ 이고, 열기관의 열효율은  $\frac{200 - 150}{200} = 0.25$ 이며, B에서  $0.25 = \frac{30}{\textcircled{2}}$ 에서  $\textcircled{2} = 120\text{ kJ}$ 이다. 따라서  $\textcircled{1}$ 은  $50\text{ kJ}$ ,  $\textcircled{2}$ 은  $120\text{ kJ}$ 이므로  $\textcircled{1} + \textcircled{2} = 170\text{ kJ}$ 이다.

**312**  $\neg$ .  $W = 5Q - 3Q = 2Q$ 이다.

$\therefore$  열기관의 열효율  $e = \frac{2Q}{5Q} \times 100(\%) = \frac{2}{5} \times 100 = 40(\%)$ 이다.

**바로알기** |  $\therefore$  고열원에서 흡수한 열이 전부 일로 쓰이는 것은 열역학 제2법칙에 위배된다. 따라서 제작이 불가능하다.

**313**  $\neg$ .  $A \rightarrow B$  과정에서 기체는 등온 팽창하므로, 부피는 A에서 B에서보다 작다.

ㄴ.  $A \rightarrow B$  과정에서 증은 팽창하므로  $\Delta U=0$ ,  $W>0$ 이고  $Q>0$ 이다. 따라서 내부 에너지가 변하지 않으므로 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 같다는 것을 알 수 있다.

**바로알기** | ㄷ.  $A \rightarrow B$  과정은 열을 흡수하는 과정이므로 엔트로피는 증가한다.

**314** ㄴ.  $A \rightarrow B$  과정에서 내부 에너지 변화량은 0이고, 부피는 증가한다.  $Q=\Delta U+W$ 에서  $\Delta U=0$ ,  $W>0$ 이므로  $Q>0$ 이다. 따라서 기체는 열을 흡수한다.

ㄷ.  $A \rightarrow B$  과정에서 기체가 열을 흡수하므로 기체의 엔트로피는 증가한다.

**바로알기** | ㄱ. A와 B에서의 온도는 같지만  $A \rightarrow B$  과정에서 기체의 온도는 증가하다가 감소한다.

**315** ㄷ.  $C \rightarrow D$  과정은 온도는 일정하고 부피가 증가하는 과정이다. 따라서  $\Delta U=0$ ,  $W>0$ 이므로  $Q>0$ 에서 열을 흡수한다. 즉, 기체의 엔트로피가 증가하는 과정이다.

**바로알기** | ㄱ.  $A \rightarrow B$  과정은 온도는 일정하고 부피가 감소하는 과정이다. 따라서  $\Delta U=0$ ,  $W<0$ 이므로  $Q<0$ 에서 열을 방출한다. 즉, 기체의 엔트로피가 감소하는 과정이다.

ㄴ.  $B \rightarrow C$  과정은 부피가 일정하고 온도가 감소하는 과정이다. 따라서  $W=0$ ,  $\Delta U<0$ 이므로  $Q<0$ 에서 열을 방출한다. 즉, 기체의 엔트로피가 감소하는 과정이다.

| 과정                | Q | $\Delta U$ | W |
|-------------------|---|------------|---|
| $A \rightarrow B$ | - | 0          | - |
| $B \rightarrow C$ | - | -          | 0 |
| $C \rightarrow D$ | + | 0          | + |

**316** ㄱ. 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하므로, 열은 따뜻한 바닥에서 드라이아이스로 저절로 이동한다.

ㄴ. 열은 온도가 낮은 곳에서 높은 곳으로 저절로 이동할 수 없으므로 비가역 현상이다.

**바로알기** | ㄷ. 드라이아이스가 기체로 변하는 과정에서 열을 흡수한다. 따라서 엔트로피는 증가한다.

**317** ① 열역학 제2법칙은 열과 에너지의 이동 방향을 제시하는 것으로, 열은 항상 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하며, 저온의 물체에서 고온의 물체로 스스로 이동하지 않는다.

⑤ 물감이 한 곳에 모여 있는 것보다 골고루 퍼져 있는 것이 더 무질서한 상태이므로, 물감을 물에 떨어뜨리면 열역학 제2법칙에 따라 물감이 골고루 퍼져 나간다.

**바로알기** | ② 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어난다.

③ 열역학 제2법칙에 따르면 열을 전부 일로 바꿀 수 없다.

④, ⑥ 외부에서 흡수한 열을 전부 일로 바꾸는 것은 열역학 제2법칙에 위배된다. 따라서 이러한 열기관은 만들 수 없다. 즉, 열효율 100%인 열기관을 만들 수 없다.

**318** ㄱ. 찬물과 더운물을 섞으면 열역학 제2법칙에 따라 더운물에서 찬물로 열이 이동하므로 미지근한 물이 된다.

ㄴ. 외부에서 흡수한 열을 전부 일로 바꾸는 것은 열역학 제2법칙에 위배된다. 따라서 이러한 열기관은 만들 수 없다.

**바로알기** | ㄷ. 외부에서 에너지를 공급받지 않고 계속 일을 하는 것은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배된다. 따라서 이러한 열기관은 만들 수 없다.

**319** ㄱ. 멈추었던 진자가 다시 움직인다면 가역 현상이지만, 멈추었던 진자는 다시 움직이지 않으므로 비가역 현상이다.

ㄴ. 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 확률이 높은 방향으로 일어난다. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상이 일어날 확률은 0에 가까우므로, 실제로 일어나지 않는다.

ㄷ. 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 일어난다. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상은 무질서도가 감소하는 현상이므로 일어나지 않는다.

**320** 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.

ㄷ. A에서 B로 열이 이동하는 것은 자발적으로 일어나는 비가역적 현상이므로 전체 엔트로피는 0보다 크다. 따라서 A의 감소한 엔트로피보다 B의 증가한 엔트로피가 크므로 엔트로피의 합은 증가한다.

**321** ㄱ. 무질서한 정도는 공이 골고루 섞여 있는 (나)에서 (가)에 서보다 크다.

ㄴ. 공이 골고루 섞여 있는 상태인 (나)의 엔트로피가 공이 섞여 있지 않은 상태인 (가)의 엔트로피보다 크다.

**바로알기** | ㄷ. 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향, 즉 엔트로피가 커지는 방향으로 진행하므로, 엔트로피가 큰 (나)에서 엔트로피가 작은 (가)로 스스로 진행하지 않는다.

**322** ㄱ. 열은 고온에서 저온으로 저절로 이동하고, 저온에서 고온으로로는 저절로 이동하지 못한다.

ㄴ. 열역학 제2법칙에 따르면 에너지 흐름의 방향은 확률이 높은 쪽으로만 진행한다.

ㄷ. 잉크 방울은 물에서 퍼져 나가기만 하고 다시 모이지 않으므로, 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

**323** ㄱ. 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하는 과정은 비가역 과정에 해당한다.

ㄷ. B는 열을 얻었으므로 B의 엔트로피는 증가한다.

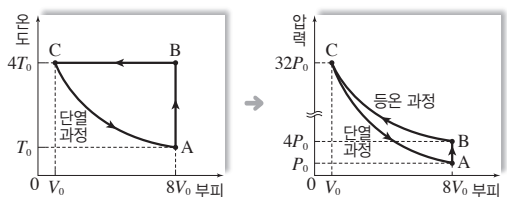
**바로알기** | ㄴ. A는 열을 잃었으므로 A의 엔트로피는 감소한다.

## 최고수준 도전 기출

98쪽~99쪽

324 ③ 325 ② 326 ③ 327 ④ 328 ④ 329 ⑤  
330 ④ 331 ④

**324** • 온도-부피 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 문제를 쉽게 해결할 수 있다.

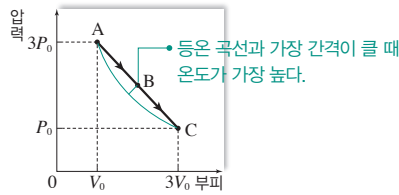


ㄱ.  $A \rightarrow B$  과정은 등적 과정으로  $Q=\Delta U$ 이다.  $Q>0$ ,  $\Delta U>0$ 이므로 기체는 열을 흡수한다.

ㄴ. 기체의 압력은 B에서  $4P_0$ 이고, C에서  $32P_0$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. C → A 과정은 단열 팽창 과정이다. 따라서 기체의 내부 에너지 감소량이 기체가 한 일과 같다.

**325** • 압력-부피 그래프를 이용하면 기체의 온도를 쉽게 알 수 있다.

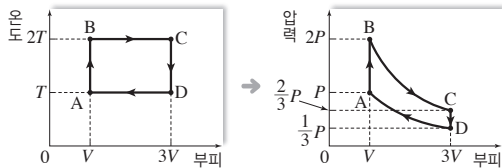


ㄷ. 기체가 흡수한 열량  $Q = \Delta U + W$ 이다. A → B 과정에서 내부 에너지 증가량과 B → C 과정에서 내부 에너지 감소량은 같고, 기체가 한 일은 A → B 과정에서 B → C 과정에 비해 크다. 따라서 기체가 흡수한 열량은 A → B 과정에서 B → C 과정에 비해 크다.

**바로알기** | ㄱ. A와 C의 온도는 같다. A → B 과정에서 기체의 온도가 증가하다가 B → C 과정에서 다시 감소하는데, 기체의 온도는 B에서 가장 높다.

ㄴ. 압력-부피 그래프 아래의 넓이가 기체가 한 일이다. A → B 과정과 B → C 과정에서 그래프 아래의 넓이는 A → B 과정이 더 크므로 기체가 한 일도 A → B 과정에서 더 크다.

**326** • 문제에서 제시된 온도-부피 그래프를 압력-부피의 그래프로 전환하여 물리량을 얻거나 기체의 상태 변화를 쉽게 이해할 수 있다.

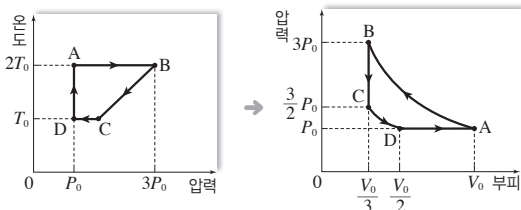


ㄱ. A에서 기체의 압력을  $P$ 라고 할 때, B에서는  $2P$ , D에서는  $\frac{1}{3}P$ 이므로 B에서 D에서의 6배이다.

ㄴ. B → C 과정은 등온 과정이다. 따라서  $Q = W$ 이므로 기체가 한 일은 기체가 흡수한 열량과 같다.

**바로알기** | ㄷ. B → C 과정과 D → A 과정은 모두 등온 과정이므로  $Q = W$ 이다. B → C 과정에서의 부피 증가량과 D → A 과정에서의 부피 감소량이 같지만 압력도 계속 변한다. 이것을 압력-부피 그래프로 전환하면 그래프 아래의 넓이는 B → C 과정에서 D → A 과정에 비해 크다. 따라서 B → C 과정에서 흡수한 열량은 D → A 과정에서 방출한 열량보다 크다.

**327** • 온도-압력 그래프를 압력-부피 그래프로 전환하면 다음과 같다.

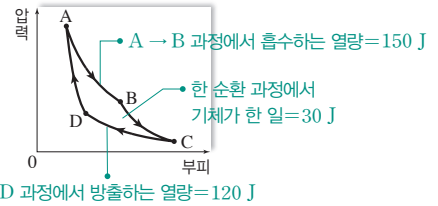


ㄴ. A에서 기체의 부피를  $V_0$ 이라고 하면, C에서는  $\frac{1}{3}V_0$ 이다. 따라서 압력은  $\frac{3}{2}P_0$ 이다.

ㄷ. C → D 과정은 등온 과정이면서 부피가 팽창하는 과정이다.  $Q = W$ 에서  $Q > 0$ ,  $W > 0$ 이므로 기체가 흡수한 열량은 기체가 한 일과 같다.

**바로알기** | ㄱ. A → B 과정은 등온 과정이면서 부피가 감소하는 과정이다. 따라서  $Q < 0$ 이므로 열을 방출하는 과정이다.

**328** • 압력-부피 그래프에서 각 과정의 물리량 변화는 다음과 같다.

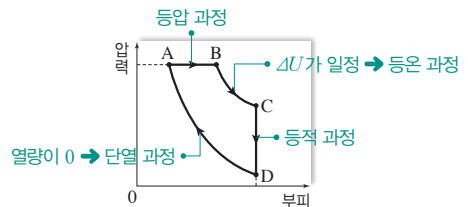


ㄱ. B → C 과정에서 기체의 부피는 증가하므로 기체가 한 일은 0보다 크다.

ㄷ. 열기관은 150 J의 열량을 흡수하여 30 J의 일을 하였으므로 열기관의 열효율은  $\frac{30 \text{ J}}{150 \text{ J}} = 0.2$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 기체는 한 번 순환하는 동안 150 J의 열량을 흡수하고 120 J의 열량을 방출하였으므로 30 J의 일을 하였다.

**329** • B → C 과정에서 내부 에너지 변화량이 0이다. → 온도 변화량이 일정하다는 의미이므로 등온 과정이다.  
D → A 과정에서 흡수하거나 방출한 열량이 0이다. → 단열 과정이다.

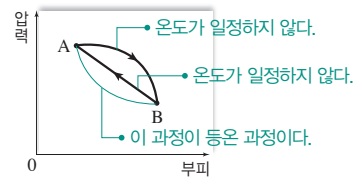


ㄱ. D → A 과정은 단열 과정이므로  $0 = \Delta U + W$ 이고, 기체가 외부로부터 받은 일은 내부 에너지 증가량인 100 J이다.

ㄴ. C → D 과정에서 기체가 방출한 열량은 400 J이므로 내부 에너지 감소량은 400 J이다. 따라서 ㉠은 400이다.

ㄷ. 기체가 A → B → C → D → A를 따라 순환하는 동안 흡수한 열량은 650 J이고, 한 일이 250 J이므로 열기관의 열효율은  $\frac{5}{13}$ 이다.

**330** • 압력-부피 그래프에서 온도가 일정할 때 압력과 부피는 반비례 관계이므로 등온 과정은 아래로 볼록한 곡선의 형태이다. 문제에서 제시한 과정은 등온 과정이 아니라는 것에 주의해야 한다.



ㄴ. B → A 과정에서 열역학 제1법칙을 적용하면  $-9Q_0 = \Delta U - 7Q_0$ 이므로 기체의 내부 에너지 변화량  $\Delta U = -2Q_0$ 이다.

ㄷ. 열기관은 한 번의 순환 과정에서  $12Q_0$ 의 열을 흡수해  $3Q_0$ 의 일을 하므로 열효율은  $\frac{3Q_0}{12Q_0} = \frac{1}{4} = 0.25$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 한 번의 순환 과정에서 기체의 내부 에너지 변화량은 0이므로 A → B 과정에서 기체가 외부로 한 일을  $W$ 라고 하면, 기체가 흡수한 총 열량 ( $12Q_0 - 9Q_0$ )은 기체가 외부에 총 한 일 ( $W - 7Q_0$ )과 같다. 따라서  $12Q_0 - 9Q_0 = W - 7Q_0$ 에서  $W = 10Q_0$ 이다.

**331** ㄴ. 기체 분자가 배열될 수 있는 상태의 수가 클수록 엔트로피가 크므로 (가)에서 (나)로 변하는 동안 엔트로피는 증가한다.

ㄷ.  $N$ 이 클수록 기체의 상태가 (나)에서 (가)로 변할 확률이 0에 가까워진다.

**바로알기** | ㄱ. 기체 분자가 배열될 수 있는 상태의 수는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

빈출 자료 보기

101쪽

332 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○

333 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

332 마찰이 없는 수평면 위에서 용수철에 매달린 물체를 잡아당겼다가 놓았을 때, 물체는 일정한 지점 사이를 왕복하는 주기 운동을 한다. 이때 평형점 O에서 속력이 가장 빠르고, 물체가 받는 힘의 크기는 A에서와 B에서가 가장 크며, 물체가 받는 힘의 방향은 용수철이 변형된 방향과 반대 방향이므로 A에서와 B에서가 서로 반대 방향이다.

**바로알기** | (2) 단진동의 주기  $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철에 매달린 물체의 질량, 용수철 상수와 관계가 있다. 따라서  $x$ 를 증가시켜도 단진동의 주기는 변하지 않는다.

333 등속 원운동을 하는 물체에 수직으로 평행 광선을 비출 때, 스크린상에 나타난 그림자의 운동은 직선상을 왕복 운동하는 단진동이다.

**바로알기** | (4) 단진동을 하는 물체의 가속도의 방향은 변위의 방향과 반대 방향이다.

(5) 각속도  $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 이므로 물체의 주기는 각속도  $\omega$ 에 반비례한다.

난이도별 필수 기출

102쪽~107쪽

- 334 ④    335 ③, ④    336 해설 참조    337 ①    338 ③  
 339 ⑤    340 ③    341 ③    342 ⑤    343 ③, ⑥  
 344 해설 참조    345 ⑤    346 ⑤    347 ③    348 ①  
 349 ③    350 ③    351 ⑤    352 ①    353 ②    354 ①  
 355 ③    356 ①    357 ③

334 ㄴ. 용수철에 작용하는 탄성력은 용수철의 변위의 방향과 반대 방향이므로, 용수철이 물체에 작용하는 힘의 방향은 왼쪽이다.

ㄷ. 물체를 놓는 순간 물체에는 탄성력만 작용하므로  $F=ma$ 에 의해 물체의 가속도의 크기  $a=\frac{F}{m}=\frac{10\text{ N}}{2\text{ kg}}=5\text{ m/s}^2$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 탄성력의 크기  $F=kx$ 이므로 용수철 상수  $k=\frac{F}{x}=\frac{10\text{ N}}{0.1\text{ m}}=100\text{ N/m}$ 이다.

335 ① 물체가 변형되었을 때 물체가 원래 상태로 되돌아가기 위해 탄성력이 작용한다.

② 탄성력의 크기  $F=kx$ 이므로 탄성력의 크기는 용수철에 연결된 물체의 변위의 크기에 비례한다.

⑤ 용수철이 변형되었을 때 원래 상태로 되돌아가기 위해 탄성력이 작용하므로 탄성력이 복원력의 역할을 한다.

⑥ 마찰이 없는 수평면에서 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

⑦ 마찰이 없는 수평면에서 물체의 역학적 에너지는 보존되는데, 용수철 진자의 평형점에서 탄성력에 의한 위치 에너지가 0이므로 물체의 운동 에너지가 최대이다.

**바로알기** | ③ 탄성력의 크기  $F=kx$ 이므로 용수철이 늘어난 길이가 같아도 용수철 상수에 따라 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 달라진다.  
 ④ 물체가 원래 상태로 되돌아가기 위해 탄성력이 작용하므로 탄성력의 방향은 변위의 방향과 반대 방향이다.

336 **모범 답안** (1) O에서는 탄성력에 의한 위치 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되므로  $\frac{1}{2}kA^2=\frac{1}{2}mv^2$ 에서  $800\times(0.4)^2=2\times v^2$ 이다. 따라서

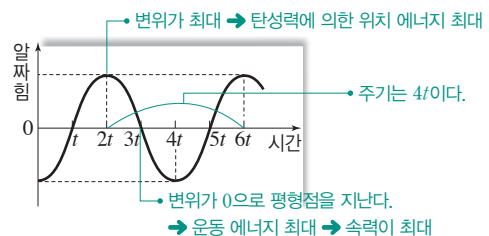
물체의 속력  $v=8\text{ m/s}$ 이다.

(2) 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 탄성력에 의한 위치 에너지와 운동 에너지가 같은 곳에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 역학적 에너지의  $\frac{1}{2}$ 배

이다. 따라서  $\frac{1}{2}kx^2=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}kA^2$ 이므로  $x=\frac{A}{\sqrt{2}}=\frac{0.4}{\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{5}\text{ (m)}$ 이다.

| 채점 기준                                     | 배점    |
|-------------------------------------------|-------|
| 역학적 에너지 보존을 이용하여 물체의 속력 및 변위를 모두 옳게 구한 경우 | 100 % |
| 물체의 속력과 변위 중 한 가지만 옳게 구한 경우               | 50 %  |

337



ㄱ.  $2t$ 일 때 물체에 작용하는 알짜힘이 최대이므로 용수철의 변위도 최대이다. 따라서  $2t$ 일 때 탄성력에 의한 위치 에너지는 최대이다.

**바로알기** | ㄴ.  $3t$ 일 때 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물체는 용수철의 평형점을 지난다. 따라서 역학적 에너지는 보존되므로  $3t$ 일 때 운동 에너지가 최대이고, 물체의 속력도 최대이다.

ㄷ. 물체의 주기  $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이고, (나)에서 물체의 주기는  $4t$ 이다. 따라서  $4t=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로  $k=\frac{\pi^2 m}{4t^2}$ 이다.

338 ㄱ. 단진동을 하는 물체의 변위  $x=A\sin\theta=A\sin\omega t$ 이다.

ㄴ. 단진동을 하는 물체의 속도  $v=A\omega\cos\theta=A\omega\cos\omega t$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 단진동을 하는 물체의 가속도  $a=-A\omega^2\sin\theta=-A\omega^2\sin\omega t$ 이다.

339 ㄱ. 단진동을 하는 물체의 변위  $x=R\sin\theta=R\sin\omega t$ 이므로  $R$ 이 증가하면 변위 크기의 최댓값이 증가한다.

ㄴ. 단진동을 하는 물체의 속도  $v=R\omega\cos\theta=R\omega\cos\omega t$ 이므로  $\omega$ 가 증가하면 속도 크기의 최댓값이 증가한다.

ㄷ. 단진동을 하는 물체의 가속도  $a=-R\omega^2\sin\theta=-R\omega^2\sin\omega t$ 이므로  $\omega$ 가 증가하면 가속도 크기의 최댓값이 증가한다.

340 ㄱ. 등속 원운동을 하는 물체에 수직으로 평행 광선을 비출 때, 스크린상에 나타난 그림자의 운동은 단진동을 한다.

ㄴ. O는 단진동의 평형점이므로 (가)에서 A의 그림자가 O를 지날 때, 그림자의 속도의 크기는 최대이다.

**바로알기** | ㄷ. (나)에서 A의 주기는  $\frac{\pi}{5}$  초이므로  $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 에서 각속도는  $\omega=10\text{ rad/s}$ 이다. 따라서 단진동하는 물체의 가속도  $a=-R\omega^2\sin\theta=-R\omega^2\sin\omega t$ 에서 단진동하는 물체의 가속도 크기의 최댓값은  $R\omega^2=10$ 이므로  $R=0.1\text{ m}=10\text{ cm}$ 이다.

**341** ㄱ. 등속 원운동을 하는 물체에 수직으로 평행 광선을 비출 때, 스크린상에 나타난 그림자의 운동은 단진동이다. 따라서 등속 원운동을 하는 물체의 주기는 그림자의 단진동 주기인  $T$ 와 같다.

ㄴ. 그림자가 진폭의  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  지점을 지나므로 물체의 진폭을  $A$ 라 하면, 단진동을 하는 그림자의 변위는  $x = \frac{1}{\sqrt{2}}A = A\sin\theta$ 에서  $\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$ 이다. 따라서 물체가 원 궤도의 P에서 Q까지 운동하는 데 걸리는 시간은  $\frac{T}{8}$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. (가)에서 물체가 P를 지날 때 그림자는 단진동의 평형점인 O를 지난다. 또한 그림자의 변위가 0이므로 P에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 그림자의 가속도는 0이다.

**342** ㄱ. 평형 위치 O에서 물체의 속력이 최대이므로 물체의 운동 에너지는 최대이다.

ㄴ. 역학적 에너지 보존에 의해 위치가  $A$ 인 지점에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 물체의 운동 에너지의 최댓값과 같다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로  $\frac{1}{2}mA^2 = \frac{1}{2}kA^2$ 에서  $m=k$ 이다. 따라서 단진동을 하는 물체의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi$ 이다.

**343** ① 용수철에 매달린 물체가 평형점에서 벗어나면 물체에 용수철의 탄성력이 작용하는데, 이 탄성력은 물체가 평형점으로 되돌아가게 하므로 복원력의 역할을 한다.

② 용수철 진자에 작용하는 탄성력이 복원력의 역할을 하므로 복원력의 크기는 용수철이 늘어난 길이에 비례한다.

④ 등속 원운동을 하는 물체에 수직으로 평행 광선을 비출 때, 그림자의 운동은 직선상을 왕복 운동하는 단진동을 한다.

⑤ 용수철에 매달려 단진동을 하는 물체는 중력과 탄성력이 평형을 이루는 위치가 평형점이 되어 단진동을 한다.

⑦ 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철에 매달린 물체의 질량이 증가하면 용수철 진자의 주기는 증가한다.

**바로알기** | ③ 용수철 진자에 작용하는 복원력의 방향은 물체의 변위의 방향과 반대 방향이다.

⑥ 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철이 늘어난 길이와 관계가 없다.

**344** **모범 답안** (1) 물체가 단진동을 하는 과정에서 역학적 에너지가 보존되므로 물체의 최고 속력은 탄성력에 의한 위치 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되었을 때이다. 따라서  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$ 에서  $v = \sqrt{\frac{k}{m}}A$ 이다.

(2) 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철 진자의 진폭과는 관계가 없다. 따라서  $A$ 가 증가해도 용수철 진자의 주기는 변하지 않는다.

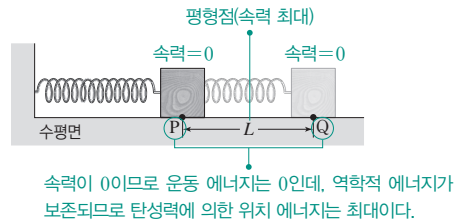
| 채점 기준                                          | 배점    |
|------------------------------------------------|-------|
| 물체의 최고 속력과 용수철 진자의 주기를 모두 풀이 과정과 함께 올바르게 구한 경우 | 100 % |
| 물체의 최고 속력과 용수철 진자의 주기 중 한 가지만 올바르게 구한 경우       | 50 %  |

**345** ㄱ. 물체를 평형 위치에서 5 cm 당겼다가 가만히 놓았으므로 물체의 진폭은 5 cm이다. 따라서 용수철이 압축되는 최대의 길이는 5 cm이다.

ㄴ. 10 N의 힘으로 당겼을 때 용수철의 길이가 2 cm 늘어나므로 용수철 상수는 500 N/m이다. 따라서 물체에 작용하는 복원력 크기의 최댓값은 용수철이 5 cm 변형되었을 때이므로  $F = kx = 500 \text{ N/m} \times 0.05 \text{ m} = 25 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{2}{500}} = \frac{\sqrt{10}\pi}{25}(\text{s})$ 이다.

### 346



ㄱ. 물체는 P와 Q 사이에서 단진동을 하고, 단진동을 하는 과정에서 역학적 에너지가 보존되므로 P에서 탄성력에 의한 위치 에너지는 최대이다.

ㄴ. 물체가 P와 Q 사이에서 단진동을 하므로 물체의 진폭은 P와 Q 사이 거리의  $\frac{1}{2}$ 배인  $\frac{L}{2}$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}k\left(\frac{L}{2}\right)^2$ 이 성립한다. 따라서  $\frac{m}{k} = \frac{L^2}{4v^2}$ 이므로 단진동을 하는 물체의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{\pi L}{v}$ 이다.

**347** ㄷ. 단진동을 하는 과정에서 역학적 에너지가 보존되므로 물체의 최대 속력을  $v$ 라 하면  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$ 이 성립한다. 따라서 물체의 최대 속력은 용수철 진자의 진폭에 비례하고, 용수철 진자의 진폭은 용수철의 늘어난 길이와 같으므로 (나)에서 물체의 최대 속력은 I에서가 I에서의 2배이다.

**바로알기** | ㄱ. 용수철에 매달린 물체에 작용하는 탄성력이 복원력의 역할을 하고, 탄성력의 크기는 용수철이 변형된 길이에 비례한다. 따라서 (가)에서 용수철이 물체에 작용하는 복원력의 크기는 II에서가 I에서의 2배이다.

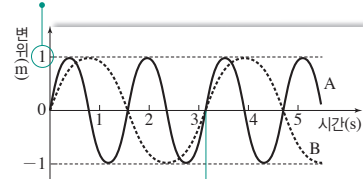
ㄴ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철이 늘어난 길이와 관계가 없다.

**348** ㄱ. 0부터  $t$ 까지 A와 B는 각각 3회, 2회 진동하였다. 단진동의 주기는 물체가 진동의 끝 지점 사이를 1회 왕복하는 데 걸리는 시간이므로 A와 B의 주기의 비는 2 : 3이다.

**바로알기** | ㄴ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로  $T^2 \propto m$ 이다. 따라서 A와 B의 질량비는 4 : 9이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 복원력의 최댓값은 탄성력의 최댓값과 같다. 따라서 동일한 용수철에 매달린 물체의 변위의 최댓값이 같으므로 복원력의 최댓값은 A와 B가 같다.

**349** 단진동을 하는 동안 역학적 에너지는 보존되므로  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$ 이 성립한다.  $\rightarrow$  A와 B의  $m$ 과  $A$ 가 같으므로  $v \propto \sqrt{k}$ 이다.



A가 2회 진동하는 데 걸린 시간과 B가 1회 진동하는 데 걸린 시간이 같다.  $\rightarrow$  주기는 B가 A의 2배이다.

ㄱ. A가 2회 진동하는 동안 B는 1회 진동하였다. 단진동의 주기는 물체가 진동의 끝 지점 사이를 1회 왕복하는 데 걸리는 시간이므로 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 단진동을 하는 동안 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 속력의 최댓값을  $v$ 라 하면  $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kA^2$ 이 성립한다. A와 B의 질량  $m$ 과 진폭  $A$ 가 같으므로  $v \propto \sqrt{k}$ 이다. 따라서 용수철 상수가 A가 B의 4배이면 속력의 최댓값은 A가 B의 2배이다.

**바로알기** | ㄴ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이고, 질량이 같은 물체에 연결하였으므로 단진동의 주기는 용수철 상수의 제곱근에 반비례한다. 따라서 용수철 상수는 A가 B의 4배이다.

**350** ㄱ. 물체가 A와 B 사이를 왕복하는 주기 운동을 하고, 평형점이 O이므로 O에서 A까지의 거리는 O에서 B까지의 거리와 같은  $x$ 이다. ㄴ. 물체의 질량  $m$ 을 증가시키면 단진동의 주기가 길어진다.

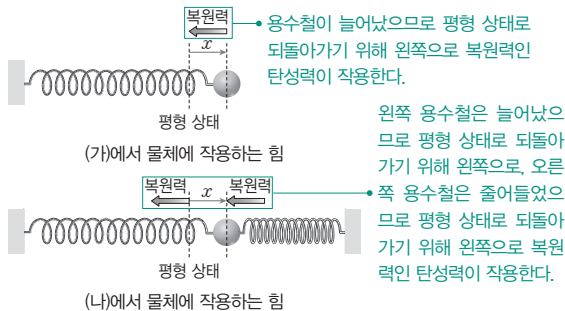
**바로알기** | ㄴ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 물체의 진폭  $x$ 와는 관계가 없다.

**351** ㄱ. 용수철의 원래 길이가  $l_0$ 이므로 용수철의 길이가  $l_0$ 일 때 용수철에 작용하는 탄성력은 0이다. 따라서 물체의 가속도는 0이다.

ㄴ. 단진동 과정에서 역학적 에너지는 보존되고, 용수철의 길이가  $l$ 에서  $l_0$ 으로 변하는 동안 탄성력에 의한 위치 에너지는 감소한다. 따라서 물체의 운동 에너지가 증가하므로 물체의 속력은 증가한다.

ㄷ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 물체를 질량이  $2m$ 인 물체로 바꾸면 단진동의 주기는  $\sqrt{2}T$ 가 된다.

**352**



ㄱ. (나)와 같이 용수철을 물체의 양쪽에 연결한 후 평형 상태에서부터  $x$ 만큼 이동시키면 왼쪽 용수철은 물체를 잡아당기는 방향인 왼쪽 방향으로, 오른쪽 용수철은 물체를 밀어내는 방향인 왼쪽 방향으로 물체에 힘을 작용한다. 따라서 물체에 작용하는 힘의 최댓값은 (가)에서보다 작다.

**바로알기** | ㄴ. 물체에 작용하는 힘은 (가)에서보다 작으므로 (나)에서보다 더 큰 힘에 의해 단진동을 하여 물체가 더 빠르게 운동한다. 따라서 단진동의 주기는 (가)에서보다 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 (가)에서  $x$ 를 증가시켜도 단진동의 주기는 변하지 않는다.

**353** ㄴ. 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 추의 질량만을 증가시키면 단진동의 주기는 증가한다.

**바로알기** | ㄱ. 연직 방향으로 매달아 놓은 용수철 진자는 중력과 탄성력이 평형을 이루는 점을 중심으로 단진동을 한다. 또한 용수철 진자는 평형점에서 속력이 최대이고, 최고점과 최저점을 지나는 순간 속력이

0이 된다. 따라서 추는 평형점에서 속력이 최대이므로 이때 추에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. 모든 마찰 및 용수철의 질량을 무시하면 용수철 진자의 역학적 에너지는 보존된다.

**354** ㄱ. 평형점에서 물체에 작용하는 중력과 탄성력이 평형을 이루는데, 질량이 B가 A의 2배이므로 탄성력도 B가 A의 2배이다. 따라서 용수철이 늘어난 길이가 B가 A의 2배이므로 용수철의 원래 길이에서 평형점까지의 거리는 B가 A의 2배이다.

**바로알기** | ㄴ. 용수철 진자의 진폭은 원래 길이에서 평형점까지의 거리이므로 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 단진동의 주기는 질량이 2배인 B가 A의  $\sqrt{2}$ 배이다.

**355** ㄱ. (가)에서 물체에 작용하는 중력과 탄성력이 평형을 이룬다. 따라서  $mg = kx$ 에서  $k = \frac{10 \text{ N}}{0.1 \text{ m}} = 100 \text{ N/m}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{1}{100}} = \frac{\pi}{5}$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 용수철 진자의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철이 늘어난 길이와 관계가 없다.

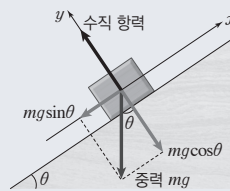
**356** ㄱ. 평형 위치에서 용수철을 변형시킨 길이가 단진동을 하는 물체의 진폭이 되므로, 용수철을 압축한 길이는  $A$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. 평형 위치에서는 중력의 빗면에 나란한 성분과 탄성력이 힘의 평형을 이루므로 중력의 크기가 탄성력의 크기보다 크다.

ㄷ. 평형 위치에서 중력의 빗면에 나란한 성분과 탄성력이 힘의 평형을 이루므로  $kA = \frac{1}{2}mg$ 에서  $k = \frac{mg}{2A}$ 이다. 따라서 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{2A}{g}}$ 이다.

#### ✓ 개념 보충

마찰이 없는 빗면에 있는 물체에 작용하는 중력



마찰이 없는 빗면에 있는 물체에 작용하는 힘은 중력과 수직 항력이다. 물체는 빗면과 나란한 방향으로 등가속도 운동을 하므로 중력의 빗면에 나란한 성분의 힘이 알짜힘이 되고, 중력의 빗면에 수직인 성분의 힘은 수직 항력과 상쇄된다.

$$\rightarrow F = ma = mg \sin \theta$$

**357** ㄱ. A가 수평면에 정지해 있을 때 A에 작용하는 탄성력과 B의 중력이 힘의 평형을 이루므로, B를 잡아당기기 전에 B의 질량을 증가시키면 용수철이 늘어난 길이는 증가한다.

ㄷ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 A의 주기는 A만 단진동을 할 때보다 A와 B가 함께 단진동을 할 때가 더 길다.

**바로알기** | ㄴ. 단진동 과정에서 A와 B의 역학적 에너지의 합이 보존되고, B를 잡아당겼다가 놓은 순간부터 평형점을 지날 때까지 B의 역학적 에너지는 증가한다. 따라서 단진동 과정에서 A의 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

빈출 자료 보기

109쪽

358 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

359 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

358 (2) 파동의 파장은 (가)에서 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리이므로 4 m이다.

(3) 파동의 주기는 (나)에서 매질이 한 번 진동하는 데 걸린 시간이므로 0.2초이다.

(5) (가)에서  $t=0$ 일 때 P의 변위는 0이고, 파동의 진행 방향은 오른쪽이다.  $t=0$  이후 P의 변위는 증가하므로 (나)는 P의 변위를 나타낸 것이다.

**바로알기** | (1) 파동의 진폭은 진동의 중심에서 매질의 최대 변위인 마루 또는 골까지의 거리이므로 1 m이다.

(4) 파동의 속력  $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4 \text{ m}}{0.2 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$ 이다.

359 고정단 반사는 파동의 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때 일어나는 반사로, 입사파의 일부가 위상이 반대로 바뀐 상태로 반사한다. 또한 자유단 반사는 파동의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때 일어나는 반사로, 입사파의 일부가 위상이 바뀌지 않은 상태로 반사한다.

**바로알기** | (4) 파동의 진행 방향이 반대가 되면 고정단 반사가 일어나므로 입사파의 위상과 반사파의 위상은 반대가 된다.

난이도별 필수 기출

110쪽~112쪽

360 ① 361 ④, ⑥ 362 ① 363 ③ 364 ⑤  
365 ⑤ 366 ① 367 ③ 368 해설 참조 369 ③  
370 ①, ③ 371 해설 참조 372 ⑤ 373 ③

360 ㄱ. 용수철을 위아래로 흔들었으므로 파동의 진행 방향과 용수철의 진동 방향이 서로 수직인 횡파이다.

**바로알기** | ㄴ. 음파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란한 종파이다.

ㄷ. 매질에서 파동이 진행할 때, 매질은 이동하지 않고 제자리에서 진동하므로 리본은 제자리에서 위아래로 진동한다.

361 ① 파동은  $x$ 축을 따라 진행하고  $x$ 축과 수직인 방향으로 진동하므로 파동의 진행 방향과 진동 방향이 수직인 횡파이다.

② 파동의 파장은 (가)에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리이므로 4 m이다.

③ 파동의 주기는 (나)에서 매질이 한 번 진동하는 데 걸린 시간이므로 4초이다.

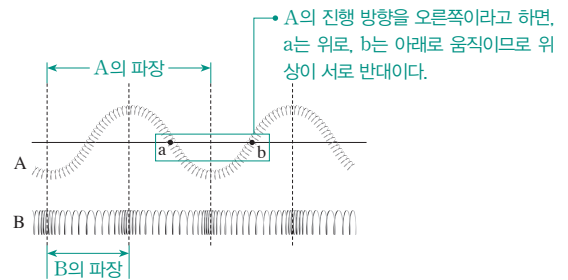
⑤ 파동의 속력은 진동수와 파장의 곱이므로  $0.25 \times 4 = 1 \text{ (m/s)}$ 이다.

⑦ (가)에서 P의 변위는 0이고, (나)에서 P의 변위는 0초 이후 증가하므로 파동의 진행 방향은 오른쪽이다. 따라서 5초일 때 파동은  $\frac{5}{4}$  파장만큼 이동하므로, 5초일 때 P의 변위는 5 m이다.

**바로알기** | ④ 파동의 진동수는 주기의 역수이므로  $\frac{1}{4 \text{ s}} = 0.25 \text{ Hz}$ 이다.

⑥ (가)에서 P의 변위는 0이고, (나)에서 P의 변위는 0초 이후 증가하므로, 0.5초일 때 P의 운동 방향은 위쪽이다.

362



ㄱ. 파동의 파장은 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 A가 B의 2배이다.

**바로알기** | ㄴ. a와 b의 운동 방향이 서로 반대이므로 위상은 a와 b가 서로 반대이다.

ㄷ. 음파는 종파이므로 B에 해당한다.

363

ㄱ. 파동의 파장은 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 20 cm이다.

ㄴ. 1초일 때 P의 변위는 4 cm이므로 마루이고, 3초일 때 P의 변위는 -4 cm이므로 골이다. 파동의 주기는 매질이 한 번 진동하는 동안 걸리는 시간이므로 마루에서 골까지 진동하는 데 걸리는 시간은  $\frac{1}{2}$  주기이다.

따라서 파동의 주기는 4초이므로 파동의 속력  $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{20 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = 5 \text{ cm/s}$ 이다.

**바로알기** | ㄷ. 1초일 때 P의 변위가 처음으로 4 cm가 되고, 3초일 때 P의 변위가 처음으로 -4 cm가 되므로 P에는 1초일 때 마루가, 3초일 때 골이 지나야 한다. 따라서 파동의 진행 방향은 왼쪽이다.

364

ㄱ. 파동의 속력이 4 m/s이고 파동의 파장이 2 m이므로 파동의 주기  $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{2 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 0.5$ 초이다.

ㄴ. P는 한 주기 동안 진폭의 4배를 움직인다. P의 평균 속력은 4 m/s이고 파동의 주기는 0.5초이므로, 파동의 진폭을 A라고 하면  $4A = 2$ 이다. 따라서  $A = 0.5 \text{ m}$ 이다.

ㄷ. 파동의 주기가 0.5초이므로 1초일 때 P의 변위는 0초일 때와 같다. 따라서 파동의 진행 방향이 오른쪽이면, 1초일 때 P의 운동 방향이 위 방향이 될 수 있다.

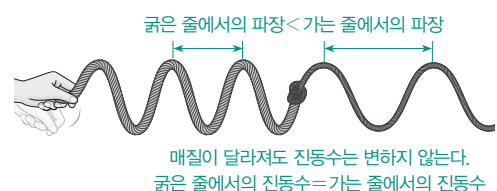
365

ㄱ. 입사파와 반사파의 위상이 같으므로 파동의 반사는 자유단 반사이다.

ㄴ. 자유단 반사는 파동의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때 일어나므로, 줄에서 파동의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. 파동이 B에서 A로 진행하면 파동의 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행하므로 고정단 반사가 일어나 입사파의 위상과 반사파의 위상이 서로 반대가 된다.

366



ㄱ. 파동의 파장은 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 굵은 줄에서가 가는 줄에서보다 짧다.

**바로알기** | ㄴ. 파동이 진행할 때 매질이 달라져도 파동의 진동수는 변하지 않는다.

ㄷ. 파동의 진동수가 굵은 줄에서와 가는 줄에서와 같고, 파장은 굵은 줄에서가 가는 줄에서보다 짧으므로, 파동의 속력은 굵은 줄에서가 가는 줄에서보다 작다.

**367** ㄱ. 파장은 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 2 m이다.

ㄷ. 벽에서 고정단 반사가 일어나므로 입사파와 반사파의 위상은 서로 반대이다.

**바로알기** | ㄴ. 파동의 속력이 1 m/s이고 파장이 2 m이므로, 파동의 주기  $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{2 \text{ m}}{1 \text{ m/s}} = 2 \text{ 초}$ 이다.

**368** 고정단 반사는 파동의 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때 일어나는 반사로, 입사파의 일부가 위상이 반대로 바뀐 상태로 반사한다.

**모범 답안** 줄의 한쪽 끝이 고정되어 있으므로 줄과 벽이 고정된 지점에서 파동은 고정단 반사가 이루어진다. 따라서 (가)에서 파동의 오른쪽 끝은 (나)에서 파동의 왼쪽 끝에 해당되고, 파동이 5초 동안 60 cm를 이동하므로 파동의 속력은 12 cm/s이다.

| 채점 기준                                     | 배점    |
|-------------------------------------------|-------|
| 파동의 반사의 종류 및 파동의 속력을 모두 옳게 제시하여 서술한 경우    | 100 % |
| 파동의 반사의 종류와 파동의 속력 중 한 가지만 옳게 제시하여 서술한 경우 | 50 %  |

**369** ㄱ. (가)는 자유단 반사이므로 입사파와 반사파의 위상이 같고, (다)는 고정단 반사이므로 입사파와 반사파의 위상이 서로 반대이다. 따라서 반사되는 파동의 위상은 (가)에서와 (다)에서가 반대이다.

ㄴ. (가), (라)는 모두 자유단 반사이므로 입사파와 반사파의 위상이 같다. 따라서 반사되는 파동의 위상은 (가)에서와 (라)에서가 같다.

**바로알기** | ㄷ. 반사의 종류와 관계없이 투과되는 파동의 위상은 입사파와 같다. 따라서 (나)와 (라)에서 입사파의 위상이 같으므로 투과되는 위상은 (나)에서와 (라)에서가 같다.

**370** ② 탄성파의 속력은 매질의 종류와 상태에 따라 정해진다.

④ 자유단 반사에서는 입사파와 반사파의 위상이 같고, 고정단 반사에서는 입사파와 반사파의 위상이 서로 반대이다.

⑤ 파동의 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 파동이 진행할 때 고정단 반사가 일어나므로 입사파와 반사파의 위상이 서로 반대이다.

⑥ 초음파 영상 진단 장치를 이용하여 초음파를 몸속으로 보냈을 때 반사한 초음파를 측정하여 장기의 이상 유무, 태아의 건강 상태 등을 검사할 수 있다.

⑦ 같은 공간에서 초음파의 속력은 일정하므로 자동차와 장애물 사이의 거리가 작을수록 자동차에서 발생한 초음파가 장애물에서 반사된 뒤 되돌아오는 시간은 작다.

**바로알기** | ① 탄성파가 전파될 때 매질은 파동과 함께 이동하지 않고 제자리에서 진동한다.

③ 탄성파가 진행하다가 성질이 다른 매질을 만날 때 투과하는 파동의 위상은 입사파와 같다.

**371** **모범 답안** 초음파를 이용한 비파괴 검사는 검사하고자 하는 물체에 초음파를 보내 반사한 초음파를 측정하여 물체를 파괴하지 않고 재질, 성능, 상태, 결함의 유무 확인 등 물체 내의 정보를 알 수 있다.

| 채점 기준                                     | 배점    |
|-------------------------------------------|-------|
| 초음파의 반사를 이용하여 비파괴 검사의 원리를 옳게 제시하여 서술한 경우  | 100 % |
| 초음파의 반사를 이용하지 않고 비파괴 검사의 원리만을 제시하여 서술한 경우 | 50 %  |

**372** ㄱ. 초음파 영상 진단 장치는 탄성파인 초음파를 이용하여 태아의 건강 상태를 진단한다.

ㄴ. 신체의 성분마다 구성되는 요소가 다르므로 초음파의 속력이 다르다.

ㄷ. 초음파를 몸속으로 보낸 후 반사되는 초음파를 측정하여 태아의 건강 상태 및 장기의 이상 유무 등을 진단한다.

**373** ㄱ. (가)에서는 자동차에서 발생한 초음파가 장애물에서 반사한 뒤 되돌아오는 데 걸린 시간을 측정하고, (나)에서는 바닷속으로 반사한 초음파가 바다 밑바닥에서 반사한 뒤 되돌아오는 데 걸린 시간을 측정한다. 따라서 (가), (나) 모두 파동의 반사를 이용한다.

ㄷ. 속력이 일정할 때 거리와 운동 시간은 비례하므로 (가)에서 자동차와 장애물 사이의 거리가 작을수록 초음파가 되돌아오는 시간이 작다.

**바로알기** | ㄴ. 초음파는 탄성파이므로 매질에 따라 진행 속력이 달라지고, 밀한 매질에서 초음파의 진행 속력이 크다. 또한 초음파의 매질이 (가), (나)에서 각각 공기, 물인데, 공기보다 물이 더 밀한 매질이다. 따라서 초음파의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

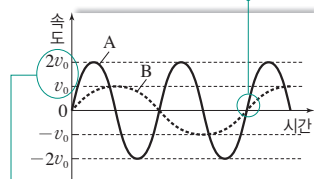
## 최고수준 도전 기출

113쪽

**374** ①   **375** ③   **376** ⑤   **377** ⑤

**374**

A가 2회 진동하는 데 걸린 시간과 B가 1회 진동하는 데 걸린 시간이 같으므로 주기는 B가 A의 2배이다. → 용수철 상수가 같으면  $T^2 \propto m$ 이므로 질량은 B가 A의 4배이다.



단진동을 하는 동안 역학적 에너지는 보존되므로  $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이 성립한다. →  $k$ 가 같으므로  $A \propto \sqrt{mv^2}$ 인데, 질량은 B가 A의 4배, 최대 속력은 A가 B의 2배이므로 진폭은 A와 B가 같다.

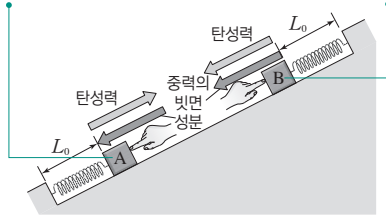
ㄱ. (나)에서 물체의 주기는 B가 A의 2배이다.

**바로알기** | ㄴ. 단진동의 주기  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ 이므로 용수철 상수가 같으면  $T^2 \propto m$ 이다. 따라서 (나)에서 물체의 주기는 B가 A의 2배이므로 물체의 질량은 B가 A의 4배이다.

ㄷ. 단진동을 하는 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 진폭을 A, 최대 속력을  $v$ 라고 하면  $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이 성립한다. 따라서 물체의 질량은 B가 A의 4배, 최대 속력은 A가 B의 2배이므로 진폭은 A와 B가 같다.

A에는 중력의 빗면 성분이 빗면과 나란하게 아래 방향으로 작용하고, 손으로 용수철을 밀어 빗면과 나란하게 아래 방향으로 압축시키므로 탄성력이 빗면과 나란하게 위 방향으로 작용한다. → 손이 물체에 작용하는 힘의 크기는 중력의 빗면 성분과 탄성력의 크기의 차와 같다.

B에는 중력의 빗면 성분이 빗면과 나란하게 아래 방향으로 작용하고, 손으로 용수철을 밀어 빗면과 나란하게 위 방향으로 압축시키므로 탄성력이 빗면과 나란하게 아래 방향으로 작용한다. → 손이 물체에 작용하는 힘의 크기는 중력의 빗면 성분과 탄성력의 크기의 합과 같다.



ㄱ. 중력의 빗면 성분과 탄성력이 작용하는 방향이 A에서는 반대 방향이고, B에서는 같은 방향이므로 손이 물체에 작용하는 힘의 크기는 A가 B보다 작다.

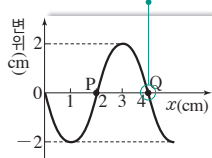
ㄴ. 중력의 빗면 성분과 탄성력이 작용하는 방향이 A에서는 반대 방향이고 B에서는 같은 방향이므로 평형점으로부터 압축된 변위의 크기는 B가 A보다 크다. 또한 단진동 과정에서 역학적 에너지는 보존되므로 물체의 최대 속력은 A가 B보다 작다.

**바로알기** | ㄴ. 질량이 같은 물체를 동일한 용수철에 연결하였으므로 주기는 A와 B가 같다.

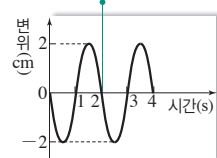
## 376

파동의 파장은 매질이 1회 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 (가)에서 파장은 4 cm이다.

파동의 주기는 매질이 1회 진동하는 동안 걸린 시간이므로 (나)에서 주기는 2초이다.



(가)



(나)

ㄱ. (가)에서 파장은 4 cm이고, (나)에서 주기는 2초이므로 파동의 속력은 2 cm/s이다.

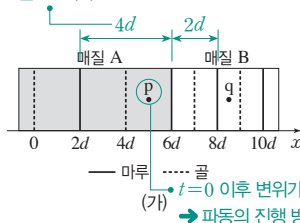
ㄴ. (나)에서 Q의 변위가 0초가 지난 직후 감소하므로 파동의 진행 방향은  $-x$  방향이다.

ㄷ. 파동의 진행 방향이  $-x$  방향이므로 0초가 지난 직후 Q의 변위는 감소하고, P의 변위는 증가한다. 따라서 P와 Q의 위상은 서로 반대이다.

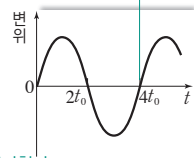
## 377

파동의 파장은 매질이 1회 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 (가)에서 A의 파장은  $4d$ 이고, B의 파장은  $2d$ 이다.

파동의 주기는 매질이 1회 진동하는 동안 걸린 시간이므로, (나)에서 A의 주기는  $2t_0$ 이다.



(가)



(나)

ㄱ. (나)의 그래프에 의해 p에서 시간  $t=0$ 이 지난 직후 변위가 증가하여 마루가 골보다 먼저 도달함을 알 수 있다. 따라서 p에는 마루가 골보다 먼저 도달하여야 하므로 파동의 진행 방향은  $-x$  방향이다.

ㄴ. 파동의 진행 매질이 달라져도 파동의 주기는 변하지 않는다. 따라서 B의 주기는 (나)에서 A의 주기와 같은  $2t_0$ 이다.

ㄷ. A, B의 주기가 같고, 파장은 A가 B의 2배이므로 파동의 진행 속력은 A가 B의 2배이다.

## 빈출 자료 보기

115쪽

378 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

379 (1) ○ (2) × (3) ○

378 (2) 음원이 관찰자 쪽으로 다가올 때, 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원의 속력으로 한 주기 동안 이동한 거리만큼 감소한다.

(3) 관찰자가 듣는 소리의 속력이 일정하고 소리의 파장은 감소하므로 관찰자가 듣는 소리의 진동수는  $f$ 보다 크다.

(4) 소리의 속력을  $v$ 라 하면 음원이 정지한 관찰자 쪽으로 다가올 때 관찰자가 듣는 소리의 진동수  $f' = \frac{v}{v - v_s}$ 이므로  $v_s$ 가 증가하면 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 커진다.

**바로알기** | (1) 음원이 정지한 관찰자 쪽으로 다가올 때, 관찰자가 듣는 소리의 속력은 음원에서 발생하는 소리의 속력과 같다.

379 (1) 관찰자인 철수가 정지해 있는 음원인 소방차에 다가가고 있으므로 철수가 듣는 소리의 속력은 증가한다.

(3) 철수가 듣는 소리의 파장이 일정한 상황에서 소리의 속력이 증가하므로 철수가 듣는 소리의 진동수는 증가한다.

**바로알기** | (2) 음원이 정지해 있으므로 철수가 듣는 소리의 파장은 변하지 않는다.

## 난이도별 필수 기출

116쪽~121쪽

|           |       |           |       |          |       |
|-----------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| 380 ②, ⑥  | 381 ⑤ | 382 ⑤     | 383 ③ | 384 ②    | 385 ③ |
| 386 ⑤     | 387 ③ | 388 ②     | 389 ③ | 390 ③    | 391 ④ |
| 392 ⑤     | 393 ⑤ | 394 ②     | 395 ③ | 396 ⑥, ⑦ | 397 ⑤ |
| 398 ⑤     | 399 ③ | 400 해설 참조 |       | 401 ⑤    |       |
| 402 해설 참조 |       | 403 ③     |       |          |       |

380 ① 도플러 효과는 파원이나 관찰자의 운동에 따라 관찰자가 측정하는 파동의 진동수가 변하는 현상이다.

③ 음원이 정지한 관찰자로부터 멀어지면 관찰자가 듣는 소리의 파장은 음원의 속력으로 한 주기 동안 이동한 거리만큼 증가한다.

④ 음원이 정지한 관찰자를 향해 다가오면 관찰자가 듣는 소리의 속력은 일정한데 파장이 감소하므로 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 증가한다.

⑤ 정지한 음원에 관찰자가 다가가면 관찰자가 듣는 소리의 속력은 관찰자의 속력만큼 증가한다.

⑦ 관찰자와 음원이 서로 가까워지면 관찰자가 듣는 소리의 속력은 증가하고 파장은 감소하므로 관찰자가 듣는 소리의 진동수는 증가한다.

**바로알기** | ② 관찰자가 정지해 있으면 음원의 속력과 관계없이 관찰자가 듣는 소리의 속력은 일정하다.

⑥ 음원이 정지해 있으면 관찰자가 듣는 소리의 파장은 관찰자의 속력에 관계없이 일정하다.

**381** ㄱ. A에서와 B에서는 정지한 자동차에서 발생한 음파를 들므로 음파의 진동수는 같다.

ㄴ. 자동차는 C로부터 멀어지므로 C에서 측정하는 음파의 진동수는 감소한다. 또한 자동차는 D를 향해 다가오고 있으므로 D에서 측정하는 음파의 진동수는 증가한다. 따라서 C에서 측정하는 음파의 진동수는 D에서 측정하는 음파의 진동수보다 작다.

ㄷ. 도플러 효과에 의해 D에서 측정하는 음파의 진동수  $f' = \frac{v}{v - v_s} f$  이므로, (나)에서 자동차의 속력  $v_s$ 가 증가하면 D에서 측정하는 음파의 진동수는 증가한다.

**다른 해설** ㄷ. (나)에서 자동차의 속력이 증가하면, D에서 측정하는 음파의 파장이 더 짧아진다. 따라서 음파의 속력은 일정한데 음파의 파장이 짧아지므로 D에서 측정하는 음파의 진동수는 증가한다.

**382** ㄴ. 철수를 향해 음원이 다가오고 있으므로, 도플러 효과에 의해 철수가 듣는 소리의 진동수는  $f$ 보다 크다.

ㄷ. 자동차의 운동 방향이 반대로 바뀌면, 철수로부터 음원이 멀어지므로 철수가 듣는 소리의 진동수는  $f$ 보다 작다.

**바로알기** ㄱ. 관찰자인 철수가 정지해 있으므로 철수가 듣는 소리의 속력은 음원의 속력과 관계없이  $v$ 로 일정하다.

**383** ㄱ. (나)에서 A가 측정한 음파의 주기는  $\frac{0.5}{1000} = \frac{1}{2000}$ (초) 이므로 A가 측정한 음파의 진동수는 2000 Hz이다.

ㄴ. A가 측정한 음파의 진동수가 음원의 진동수보다 크므로 음원의 운동 방향은 왼쪽이다.

**바로알기** ㄷ. 소리의 속력을  $V$ , 음원의 속력을  $v$ 라 하면 도플러 효과에 의해 A가 측정한 음파의 진동수는  $2000 = \frac{V}{V - v} \times 1500$ 이므로  $V = 4v$ 이다. 또한 B가 측정한 음파의 진동수는  $f = \frac{V}{V + v} \times 1500$ 이므로  $V = 4v$ 를 대입하여 정리하면  $f = 1200$  Hz이다.

**384** 음원이 A를 향해 다가온다. → A는  $f$ 보다 진동수가 큰 소리를 듣는다. 버스 정적 소리의 진동수  $f$  음원이 B로부터 멀어진다. → B는  $f$ 보다 진동수가 작은 소리를 듣는다.



• 정지해 있는 관찰자가 듣는 소리의 속력은 일정하다.  
→ A, B가 듣는 소리의 속력은 같다.

ㄴ. A를 향해 버스가 이동하고 있으므로 A가 듣는 소리의 진동수는  $f$ 보다 크고, B로부터 버스가 멀어지고 있으므로 B가 듣는 소리의 진동수는  $f$ 보다 작다. 따라서 A가 듣는 소리의 진동수는 B가 듣는 소리의 진동수보다 크다.

**바로알기** ㄱ. A, B가 모두 정지해 있으므로 A, B가 듣는 소리의 속력은  $v$ 로 같다.

ㄷ. A가 듣는 소리의 진동수는 버스의 속력과 관계가 있고, 버스와 A 사이의 거리와는 관계가 없다. 따라서 버스가 일정한 속력으로 A를 향해 이동하고 있으므로 A가 듣는 소리의 진동수는 일정하다.

**다른 해설** ㄷ. 도플러 효과에 의해 A가 듣는 소리의 진동수  $f' = \frac{v}{v - v_s} f$  이다. 따라서  $v_s$ 가 일정하므로 A가 듣는 소리의 진동수는 일정하다.

**385** ㄱ. 도플러 효과에 의해 관찰자가 듣는 소리의 진동수는

$$f' = \frac{v}{v - v_s} f = \frac{340}{340 - 25} \times 630 = 680(\text{Hz}) \text{이다.}$$

ㄴ. 관찰자가 듣는 소리의 속력은 340 m/s이고, 진동수는 680 Hz이므로 관찰자가 듣는 소리의 파장  $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \text{ m/s}}{680 \text{ Hz}} = 0.5 \text{ m}$ 이다.

**바로알기** ㄷ. 소방차가 반대 방향으로 운동하면, 관찰자가 듣는 소리의 진동수  $f'' = \frac{v}{v + v_s} f = \frac{340}{340 + 25} \times 630 \approx 587(\text{Hz})$ 이다.

**386** • 자동차의 속력이  $v_s$ 일 때 소리 측정기가 측정한 소리의 진동수

$$f' = \frac{v}{v \pm v_s} f \text{이다.}$$



• 자동차가 O에 가까워지는 동안 → O에서 측정한 소리의 파장은 짧아진다.  
• 자동차가 O로부터 멀어지는 동안 → O에서 측정한 소리의 파장은 길어진다.  
→ O에서 측정한 소리의 진동수는 커진다. → O에서 측정한 소리의 진동수는 작아진다.

ㄱ. 자동차가 O를 통과하기 전에는 자동차가 O를 향해 다가오므로 O에서 측정한 소리의 파장이 짧아지고, 자동차가 O를 통과한 후에는 자동차가 O로부터 멀어지므로 O에서 측정한 소리의 파장이 길어진다. 따라서 O에서 측정한 소리의 파장은 자동차가 O를 통과하기 전이 통과한 후보다 작다.

ㄴ. 자동차의 속력을  $v_s$ 라 하면, 도플러 효과에 의해  $\frac{v}{v - v_s} f_0 = \frac{7}{6} \times$

$$\frac{v}{v + v_s} f_0 \text{이므로 } v_s = \frac{1}{13} v \text{이다.}$$

ㄷ. 자동차의 속력이 2배가 되면, 도플러 효과에 의해 자동차가 O를 통과하기 전에 측정한 소리의 진동수는  $\frac{v}{v - \frac{2}{13} v} f_0 = \frac{13}{11} f_0$ 이다.

**387** ㄱ. 정지한 C를 향해 A가 다가오고 있으므로 도플러 효과에 의해 C가 측정한 A의 진동수는  $f_A$ 보다 크다.

ㄴ. 도플러 효과에 의해  $\frac{10v}{10v - v} f_A = \frac{10v}{10v - 2v} f_B$ 가 성립한다. 따라서  $f_A = \frac{9}{8} f_B$ 이다.

**바로알기** ㄷ. C가 정지해 있으므로 C가 측정하는 소리의 속력은  $10v$ 로 일정하다.

**388** ㄴ. 음원인 소방차가 정지해 있으므로, 철수가 듣는 사이렌 소리의 파장은 소방차에서 발생하는 사이렌 소리의 파장과 같다. 따라서 철수가 듣는 사이렌 소리의 파장  $\lambda_0 = \frac{v_0}{f_0} = \frac{340}{1020} = \frac{1}{3}(\text{m})$ 이다.

**바로알기** ㄱ. 정지한 소방차를 향해 철수가 다가가고 있으므로 철수가 듣는 사이렌 소리의 속력은  $340 + 5 = 345(\text{m/s})$ 이다.

ㄷ. 도플러 효과에 의해 철수가 듣는 사이렌 소리의 진동수

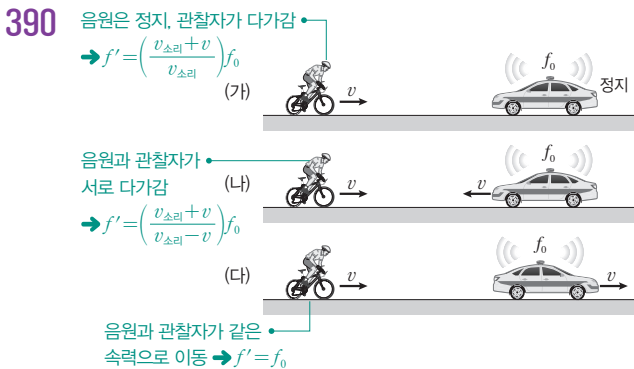
$$f = \frac{v + v_o}{v} f_0 = \frac{345}{340} \times 1020 = 1035(\text{Hz}) \text{이다.}$$

**다른 해설** ㄷ. 철수가 듣는 사이렌 소리의 속력은 345 m/s이고 파장은  $\frac{1}{3} \text{ m}$ 이므로 철수가 듣는 사이렌 소리의 진동수  $f = \frac{v}{\lambda_0} = 1035 \text{ Hz}$ 이다.

**389** ㄱ. 정지한 음원인 A로부터 관찰자인 B가 멀어지고 있으므로 B가 측정한 소리의 속력은  $v - v_o$ 이다.

ㄷ. 도플러 효과에 의해 B가 측정된 소리의 진동수  $\frac{v-v_0}{v} f_0$ 이다.

**바로알기** | ㄴ. B가 측정된 소리의 파장은 변하지 않으므로 소리의 파장을  $\lambda$ 라고 하면  $v=f_0\lambda$ 에서  $\lambda=\frac{v}{f_0}$ 이다.



ㄱ. (가)에서는 정지한 음원인 경찰차를 향해 관찰자인 사람이 이동하고 있으므로 도플러 효과에 의해 사람이 듣는 사이렌 소리의 진동수는  $f_0$ 보다 크다.

ㄷ. (가)에서는 정지한 경찰차를 향해 사람이 이동하고 있고, (나)에서는 경찰차와 사람이 서로를 향해 이동하고 있다. 따라서 도플러 효과에 의해 사람이 듣는 사이렌 소리의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

**바로알기** | ㄴ. (다)에서 경찰차와 사람이 같은 속도로 이동하고 있으므로 사람의 입장에서는 경찰차가 움직이지 않는다. 따라서 사람이 듣는 사이렌 소리의 진동수는  $f_0$ 이다.

**[다른 해설]** ㄴ. 도플러 효과에 의해 관찰자가 듣는 사이렌 소리의 진동수는  $f = \frac{v \pm v_0}{v \mp v_s} f_0$ 이다. (다)에서 사람은 경찰차를 향해 다가가고 있으므로  $+v_0$ 를, 경찰차는 사람으로부터 멀어지고 있으므로  $+v_s$ 를 대입할 수 있으며, 경찰차와 사람의 속력이 같으므로 이를 정리하면  $f=f_0$ 이 성립한다. 따라서 (다)에서 사람이 듣는 사이렌 소리의 진동수는  $f_0$ 이다.

**391** ㄴ. 음원이 발생하는 소리의 진동수를  $f_0$ 이라 하면, 도플러 효과에 의해 (가)에서 측정된 소리의 진동수  $f_{(가)} = \frac{50v+v}{50v} f_0 = \frac{51}{50} f_0$ 이고, (나)에서 측정된 소리의 진동수  $f_{(나)} = \frac{50v}{50v-v} f_0 = \frac{50}{49} f_0$ 이다. 따라서 소리의 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. (가)에서는 음원이 정지해 있으므로 소리의 파장은 일정하고, (나)에서는 음원이 철수를 향해 다가가고 있으므로 소리의 파장은 감소한다. 따라서 소리의 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서는 철수가 음원을 향해 다가가고 있으므로 소리의 속력은  $50v+v=51v$ 이고, (나)에서는 철수가 정지해 있으므로 소리의 속력은  $50v$ 이다. 따라서 소리의 속력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

**392** ㄴ. 영희로부터 소방차가 멀어지고 있으므로 영희가 듣는 사이렌 소리의 파장은 길어진다. 따라서 영희가 듣는 소리의 파장  $\lambda' = \lambda + \frac{v_s}{f_0} = \frac{v+v_s}{f_0}$ 이다.

ㄷ. 도플러 효과에 의해 관찰자가 듣는 소리의 진동수는  $f = \frac{v \pm v_0}{v \mp v_s} f_0$ 이다. 따라서 영희와 소방차가 서로 멀어지는 방향으로 이동하고 있으므로 영희가 듣는 사이렌 소리의 진동수는  $f = \frac{v-v_0}{v+v_s} f_0$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 음원인 소방차로부터 관찰자인 영희가 멀어지고 있으므로 영희가 듣는 사이렌 소리의 속력은  $v-v_0$ 이다.

**393** ㄱ, ㄴ. 도플러 효과에 의해 B가 듣는 소리의 진동수  $f = \frac{v \pm v_0}{v \mp v_s} f_0$ 에서  $1400 = \frac{340 \pm v_0}{340 + 20} \times 1440$ 이 성립해야 한다. 따라서  $v_0 = +10$  m/s이므로, B는 왼쪽으로 10 m/s의 속력으로 움직인다. ㄷ. B의 속력이 2배가 되면 B는 왼쪽으로 20 m/s의 속력으로 움직이므로, 도플러 효과에 의해 B가 측정된 소리의 진동수  $f = \frac{340+20}{340+20} \times 1440 = 1440$  (Hz)이다.

**[다른 해설]** ㄷ. B의 속력의 2배가 되면, A와 B의 속도가 같으므로 B는 A가 정지한 것처럼 보인다. 따라서 B가 측정된 소리의 진동수는 1440 Hz이다.

**394** ㄴ. B와 음원은 같은 속도로 운동하므로 도플러 효과에 의해 B가 측정된 소리의 진동수는  $f_0$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. 도플러 효과에 의해 A가 측정된 소리의 진동수  $f_A = \frac{10v-v}{10v+v} f_0 = \frac{9}{11} f_0$ 이다. ㄷ. B의 속력만을 2배로 증가시키면, 도플러 효과에 의해 B가 측정된 소리의 진동수  $f_B = \frac{10v+2v}{10v+v} f_0 = \frac{12}{11} f_0$ 이다.

**395** ㄱ. 경찰차의 속력이 B의 속력보다 크므로 경찰차와 B는 가까워지고 있다. 따라서 경찰차가 측정하는 B의 사이렌 소리의 진동수는  $f_0$ 보다 크다.

ㄴ. 정지한 A로부터 관찰자인 경찰차가 멀어지므로 경찰차가 측정하는 A의 사이렌 소리의 진동수는  $f_0$ 보다 작다. 따라서 경찰차가 측정하는 사이렌 소리의 진동수는 A가 B보다 작다.

**바로알기** | ㄷ. 경찰차의 속력이 B의 속력과 같으면, 관찰자인 경찰차는 음원인 B가 정지한 것처럼 보인다. 따라서 경찰차가 측정하는 B의 사이렌 소리의 진동수는  $f_0$ 이다.

**396** ① 별, 은하 등이 가까워질 때는 도플러 효과에 의해 빛의 파장이 짧아져 진동수가 크게 측정된다.

② 별, 은하 등이 멀어질 때는 도플러 효과에 의해 빛의 파장이 길어져 진동수가 작게 측정된다.

③ 도플러 효과를 이용하여 유체 속의 부유 입자에서 반사하는 초음파의 진동수의 변화를 측정하여 유체의 속도를 구할 수 있다.

④ 도플러 효과를 이용하여 검사 장치에서 발생한 초음파와 혈액에서 반사된 초음파의 차이를 분석하여 활용할 수 있다.

⑤ 도플러 효과에 의해 스피드 건에서 발사된 레이저나 초음파가 다가오는 공에 부딪혀 되돌아올 때 측정되는 진동수는 증가한다.

**바로알기** | ⑥ 물체에서 반사되어 되돌아오는 전자기파의 진동수는 물체의 속력에 따라 변한다.

⑦ 도플러 효과는 전파의 파장과 관계없이 관찰자와 파원의 운동에 따라 발생한다.

**397** ㄱ. A의 수소 흡수 스펙트럼이 원래의 파장보다 긴 쪽으로 이동하였으므로 A는 지구로부터 멀어지고 있다.

ㄴ. 지구로부터 은하가 멀어지는 속력이 클수록 적색 편이가 크게 발생한다. 따라서 적색 편이가 더 크게 일어난 B의 속력이 C의 속력보다 크다.

ㄷ. A가 지구와 가까워지면 파장이 짧아져 수소 흡수 스펙트럼이 원래의 파장보다 짧은 보라색 쪽으로 이동한다.

**398** ㄱ. 물고기의 입장에서는 관찰자인 물고기가 정지해 있는 음원인 어군 탐지기를 향해 운동하는 상황이므로 도플러 효과에 의해 물고기가 관측하는 초음파의 진동수  $f_1 = \frac{V+v}{V} f_0$ 이다.

ㄴ. 물고기 떼에서 반사된 초음파의 진동수  $f_1 = \frac{V+v}{V} f_0$ 이고, 물고기 떼에서 반사된 초음파를 배에서 관측할 때는 정지한 어군 탐지기를 향해 파원이 운동하는 것과 같다. 따라서 도플러 효과에 의해 어군 탐지기에서 관측하는 초음파의 진동수  $f_2 = \frac{V}{V-v} f_1 = \frac{V+v}{V-v} f_0$ 이다.

ㄷ. 어군 탐지기에서 관측하는 초음파의 진동수  $f_2 = \frac{V+v}{V-v} f_0$ 이므로  $v$ 가 클수록 어군 탐지기에서 관측하는 초음파의 진동수는 증가한다.

#### ✓ 개념 보충

##### 파동의 반사

진행하던 파동이 장애물이나 다른 매질의 경계면을 만났을 때 진행 방향이 바뀌어 되돌아 나오는 현상을 파동의 반사라고 한다. 반사 법칙에 의해 파동이 반사될 때 입사각과 반사각은 항상 같으며, 파동의 속도, 파장, 진동수, 주기는 반사 전과 후가 같다.

**399** ㄱ. 박쥐가 정지해 있는 벽을 향해 운동하므로 벽에서 반사되는 음파의 진동수  $f' = \frac{v}{v-v_0} f_0 = \frac{340}{340-5} \times 33500 = 34000(\text{Hz})$ 이다.

ㄴ. 벽에서 반사되는 음파의 진동수  $f' = \frac{v}{v-v_0} f_0$ 이고, 벽에서 반사되는 음파를 박쥐가 들을 때는 정지한 음원을 향해 박쥐가 다가가는 것과 같다. 따라서 도플러 효과에 의해 박쥐가 듣는 반사파의 진동수

$$f_1 = \frac{v+v_0}{v} f' = \frac{340+5}{340} \times 34000 = 34500(\text{Hz}) \text{이다.}$$

**바로알기** | ㄷ. 박쥐가 동일한 속력으로 벽으로부터 멀어지면, 벽에서 반사되는 음파의 진동수  $f'' = \frac{v}{v+v_0} f_0$ 이고, 박쥐가 듣는 반사파의 진동수  $f_2 = \frac{v-v_0}{v} f'' = \frac{v-v_0}{v+v_0} f_0$ 이므로 박쥐가 듣는 반사파의 진동수는 약 32529 Hz이다.

**400** **모범 답안** (1) 박쥐가  $v_0$ 의 속력으로 정지해 있는 벽을 향해 운동하므로 벽에서 반사되는 음파의 진동수  $f_{\text{반사}} = \frac{v}{v-v_0} f_0$ 이다.

(2) 벽에서 반사된 음파에 박쥐가 다가가므로 박쥐가 측정한 반사된 음파의 진동수  $f = \frac{v+v_0}{v} f_{\text{반사}} = \frac{v+v_0}{v-v_0} f_0$ 이다.

| 채점 기준                                     | 배점    |
|-------------------------------------------|-------|
| 도플러 효과를 이용하여 (1), (2)의 진동수를 모두 옳게 구한 경우   | 100 % |
| 도플러 효과를 이용하여 (1), (2)의 진동수 중 하나만 옳게 구한 경우 | 50 %  |

**401** ㄱ. 검사기에서 발생한 초음파와 같은 방향으로 움직이는 혈액 속에서 초음파의 속력은 초음파와 혈액의 속력의 합과 같다.

ㄴ. 초음파 검사기로부터 멀어지는 혈액에서 반사되어 되돌아오는 초음파는 음파 측정기로부터 음원이 멀어지는 것과 같으므로 초음파 검사기에서 측정한 초음파의 진동수는  $f_0$ 보다 작다.

ㄷ. 도플러 초음파 검사기는 검사기에서 발생한 초음파의 진동수와 되돌아오는 초음파의 진동수, 초음파의 속력을 이용하여 혈액의 속력을 구할 수 있다.

**402** **모범 답안** (1) 야구 선수가 던진 공에 스피드 건에서 연속적으로 내보낸 초음파가 부딪치게 되고, 공에 부딪혀 되돌아오는 초음파의 진동수는 증가한다. 이러한 진동수의 변화를 도플러 효과에 적용하여 공의 속력을 측정한다.

(2) 공의 속력이 증가하면 스피드 건에서 연속적으로 내보낸 초음파의 반사파의 파면의 간격이 감소한다. 따라서 반사파의 파장이 감소하고, 초음파의 속력은 일정하므로 스피드 건에서 측정되는 초음파의 진동수는 증가한다.

| 채점 기준                                               | 배점    |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 공의 속력을 측정하는 원리 및 초음파의 진동수의 변화를 모두 옳게 제시하여 서술한 경우    | 100 % |
| 공의 속력을 측정하는 원리 및 초음파의 진동수의 변화 중 하나만을 옳게 제시하여 서술한 경우 | 50 %  |

**403** ㄱ. 스피드 건에서 정지해 있는 A를 향해 초음파를 발사하였으므로 A에서 반사된 초음파의 진동수는  $f_0$ 이다.

ㄴ. B는 스피드 건으로부터 멀어지고 있으므로 B에서 반사된 초음파의 진동수는  $f_0$ 보다 작다.

**바로알기** | ㄷ. 도플러 효과에 의해 멀어지는 자동차에서 반사되는 초음파의 진동수는 멀어지는 속력과 관계가 있고, 거리와는 관계가 없다. 따라서  $v_B = v_C$ 이면, B에서 반사된 초음파의 진동수와 C에서 반사된 초음파의 진동수는 같다.

## 15 음파의 간섭

### 비출 자료 보기

123쪽

**404** (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ○

**404** 두 음파가 같은 위상으로 도달하는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 소리의 세기가 증가하고, 반대 위상으로 도달하는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 소리의 세기가 감소한다.

(1) 실선과 실선이 만나는 지점은 마루와 마루가 만나는 지점으로 두 음파가 같은 위상으로 도달하여 보강 간섭이 일어난다.

(3) Q는 마루와 마루가 만나는 지점이므로 보강 간섭이 일어나 소리가 크게 들린다.

(4) R은 마루와 골이 만나는 지점이므로 상쇄 간섭이 일어나 소리가 작게 들린다.

(5)  $S_1$ ,  $S_2$ 에서 P까지의 거리는 파장의 2.5배로 같으므로 경로차는 0이다.

(6)  $S_1$ 에서 R까지의 거리는 파장의 3배이고,  $S_2$ 에서 R까지의 거리는 파장의 1.5배이므로 경로차는 파장의 1.5배로 반 파장의 홀수 배이다.

**바로알기** | (2) 점선과 점선이 만나는 지점은 골과 골이 만나는 지점으로 두 음파가 같은 위상으로 도달하여 보강 간섭이 일어난다.

|           |       |       |           |       |
|-----------|-------|-------|-----------|-------|
| 405 ③, ⑥  | 406 ① | 407 ④ | 408 ②     | 409 ② |
| 410 해설 참조 | 411 ⑤ | 412 ② | 413 ⑤     | 414 ③ |
| 415 ②     | 416 ① | 417 ③ | 418 해설 참조 | 419 ④ |
| 420 ⑤     |       |       |           |       |

**405** ① 두 파동이 같은 위상으로 만나 보강 간섭을 하면 합성파의 진폭은 커진다.

② 두 파동이 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭을 하면 합성파의 진폭은 작아진다.

④ 위상이 서로 반대인 파동이 중첩되면 상쇄 간섭이 일어나 진폭이 작아진다.

⑤ 마루와 마루가 만나면 두 파동이 같은 위상으로 중첩되므로 보강 간섭이 일어난다.

⑦ 마루와 골이 만나면 두 파동이 반대 위상으로 중첩되므로 상쇄 간섭이 일어난다.

**바로알기** | ③ 위상이 서로 같은 파동이 중첩되면 보강 간섭이 일어난다.

⑥ 골과 골이 만나면 두 파동이 같은 위상으로 중첩되므로 보강 간섭이 일어난다.

**406** ㄱ. P, Q의 진동수가 같고, 파장은 4 m로 같으므로 P, Q의 속력은 같다. 또한 P, Q는 2초 후에 a에서 처음 만나므로 P의 속력은 1 m/s이고, 파장은 4 m이므로 P의 주기는 4초이다.

**바로알기** | ㄴ. a에서 2초 후 P, Q가 반대 위상으로 처음 만나므로 2초 후 a에서는 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 5초 후에도 a에서는 P, Q가 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄷ. P, Q의 속력이 1 m/s이므로 3초 후 P는 b에 도달하지 못한다. 따라서 3초 후 b의 변위는 Q의 변위인 -2 m이다.

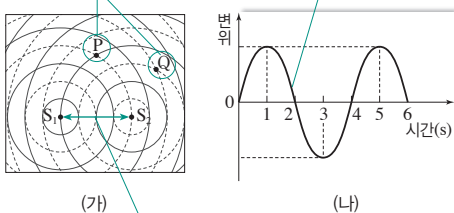
**407** ㄱ. A에서는 마루와 마루가 만나므로 보강 간섭이 일어나 진폭이 증가하고, C에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어나 진폭이 감소한다. 따라서 진폭은 A에서가 C에서보다 크다.

ㄷ. D에서는 마루와 골이 만나므로 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>가 반대 위상으로 만난다. 따라서 D에서는 항상 상쇄 간섭이 일어난다.

**바로알기** | ㄴ. B에서는 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>에서 B까지의 경로차는 반 파장의 홀수 배이다.

**다른 해설** | ㄴ. S<sub>1</sub>에서 B까지의 거리는 파장의 2.5배이고, S<sub>2</sub>에서 B까지의 거리는 파장의 2배이다. 따라서 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>에서 B까지의 경로차는 반 파장이다.

**408** P에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭, Q에서는 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다. P에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 변위의 변화가 없다. → (나)는 Q의 변위를 나타낸다.



두 점파원 사이의 거리가 16 m (= 파장의 2배) 이므로 파동의 파장은 8 m이다.

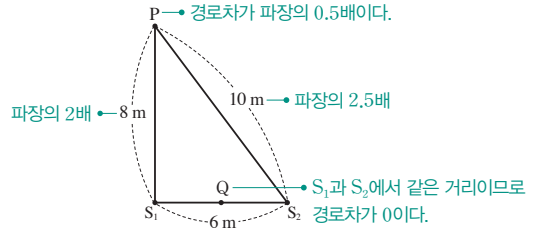
ㄴ. (가)에서 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> 사이의 거리는 파장의 2배인데 16 m이므로, 파동의 파장은 8 m이다. (나)에서 파동의 주기는 4초이므로 파동의 속력은  $\frac{8 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>에서 P까지의 거리가 파장의 2배로 같은데, P에서 마루와 골이 만났다. 따라서 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>에서는 서로 반대 위상의 파동이 발생한다.

ㄷ. (가)에서 P에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 시간에 따라 변위가 변하지 않는다. 따라서 (나)는 Q의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

**다른 해설** | ㄷ. (가)에서 Q는 보강 간섭이 일어나므로 시간에 따라 변위가 변한다. 따라서 (나)는 Q의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

## 409



ㄴ. S<sub>1</sub>에서 P까지의 거리는 8 m이므로 파장의 2배이고, S<sub>2</sub>에서 P까지의 거리는 10 m이므로 파장의 2.5배이다. 따라서 경로차는 반 파장이고, S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에서 반대 위상의 파동이 발생하므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

**바로알기** | ㄱ. Q는 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에서 거리가 같은 점이므로 경로차가 0인데 상쇄 간섭이 일어났다. 따라서 S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에서 발생하는 파동의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. S<sub>1</sub>과 S<sub>2</sub>에서 P까지의 경로차는 2 m인데, 파동의 파장을 2 m로 감소시키면 P까지의 경로차가 파장의 정수 배가 된다. 두 파동의 위상이 반대이므로 파동의 파장을 2 m로 감소시키면 P에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

**410** **모범 답안** 스피커 1, 2에서 A까지의 거리가 같고, A에서의 파형이 그림과 같이 나타나려면 두 스피커에서 발생하는 음파의 위상이 같아야 한다. 따라서 B에서의 파형이 그림과 같이 나타나려면 상쇄 간섭이 일어나야 하므로 스피커 1, 2에서 B까지의 경로차가 반 파장의 홀수 배여야 한다.

| 채점 기준                                   | 배점    |
|-----------------------------------------|-------|
| 음파의 위상 및 경로차를 파장을 이용하여 모두 옳게 서술한 경우     | 100 % |
| 음파의 위상 및 경로차 중 파장을 이용하여 한 가지만 옳게 서술한 경우 | 50 %  |

**411** ㄱ. A에서 P까지의 거리는 B에서 P까지의 거리와 같으므로 A, B에서 P까지의 경로차는 0이다.

ㄴ. A, B에서 P까지의 경로차는 0이고 P에서 보강 간섭이 일어나므로 A, B에서 발생하는 소리의 위상은 같다.

ㄷ. Q에서 상쇄 간섭이 일어나므로 Q에서는 A, B에서 발생한 파동이 반대 위상으로 도달한다. 이 상태에서 A에서 발생하는 소리의 위상만을 반대로 하면, Q에서는 A, B에서 발생한 파동이 같은 위상으로 도달하므로 보강 간섭이 일어난다.

**412** ㄴ. 두 스피커로부터  $x=3d$ 까지의 경로차는 두 스피커로부터  $x=-3d$ 까지의 경로차와 같고,  $x=3d$ 에서 보강 간섭이 일어나므로  $x=-3d$ 에서도 보강 간섭이 일어난다. 따라서  $x=-3d$ 에서 두 음파가 같은 위상으로 만난다.

**바로알기** | ㄱ. 음파가 간섭할 때 음파의 진동수는 변하지 않으므로 음파의 진동수는  $x=0$ 에서와  $x=2d$ 에서가 같다.

ㄴ. 이웃한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 1개이다. 따라서  $x=0$ 에서 보강 간섭이 일어난 후  $x=3d$ 에서 두 번째 보강 간섭이 일어났으므로  $x=-3d$ 와  $x=3d$  사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 4개이다.

**413** ㄱ. P와 A 사이의 거리와 P와 B 사이의 거리가 같고, A, B에서 동일한 소리가 같은 위상으로 발생하고 있으므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. Q에서는 보강 간섭이 일어나므로 소리가 크게 들린다.

ㄷ. 이웃한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이에는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 존재한다.

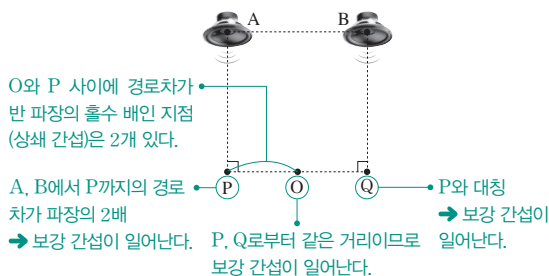
**다른 해설** ㄷ. P에서 A, B의 경로차는 0이고, Q에서 A, B의 경로차는 반 파장의 짝수 배이다. 따라서 P와 Q 사이에 경로차가 반 파장의 홀수 배인 지점이 존재하므로 P와 Q 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 존재한다.

**414** ㄱ. 두 스피커에서 같은 진동수의 소리가 같은 위상으로 발생하고, P는 두 스피커에서 거리가 같은 지점이므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. Q는 소리가 작게 들리는 지점이므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 Q에서는 두 스피커에서 발생한 소리가 반대 위상으로 만난다.

**바로알기** | ㄷ. P는 두 스피커에서 거리가 같은 지점이므로 경로차가 0이고, Q는 P에서부터 처음으로 소리가 작게 들리는 지점이므로 경로차가 반 파장이다. 따라서 보강 간섭이 일어나려면 경로차가 반 파장의 짝수 배인 지점이어야 하므로 P와 Q 사이에 보강 간섭이 일어나는 지점이 존재하지 않는다.

**415**



ㄷ. A, B에서 소리가 같은 위상으로 발생하고, O는 P, Q로부터 같은 거리에 있으므로 O에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 A의 위상만 반대로 바꾸면 O에서는 A, B에서 발생한 소리가 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

**바로알기** | ㄱ. A, B로부터 P까지의 경로차는 파장의 2배이므로 P에서는 보강 간섭이 일어난다. 또한 경로차는 A, B로부터 P까지와 Q까지가 같으므로 A, B로부터 Q까지의 경로차도 파장의 2배이다. 따라서 Q에서는 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. 이웃한 보강 간섭이 일어나는 지점 사이에는 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 존재한다. 따라서 P와 Q 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 4개이다.

**다른 해설** ㄴ. A, B로부터 O까지의 경로차가 0이고, P까지의 경로차는 파장의 2배이므로 O와 P 사이에 경로차가 반 파장의 홀수 배인 지점은 2개이다. 또한 A, B에서 Q까지의 경로차도 파장의 2배이므로 O와 Q 사이에 경로차가 반 파장의 홀수 배인 지점은 2개이다. 따라서 P와 Q 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점은 4개이다.

**416** ㄱ. (가)에서는 초음파의 반사를 이용하여 해저 지형을 조사한다.

**바로알기** | ㄴ. (나)에서는 외부 소음을 제거해야 하므로 소리의 상쇄 간섭을 이용한다.

ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나면 헤드폰에서는 외부 소음과 반대 위상의 소리를 발생시켜야 한다.

**417** ㄱ. A점을 지나 ㉠과 ㉡의 경로를 따라 진행하는 소음이 B점에서 상쇄 간섭을 할 때 자동차 소음이 감소한다.

ㄴ. 상쇄 간섭이 일어나려면 A점을 지난 소음이 B점에서 반대 위상으로 만나야 한다.

**바로알기** | ㄷ. 상쇄 간섭은 두 경로의 경로차가 반 파장의 홀수 배일 때 일어나므로 ㉠과 ㉡의 경로차가 반 파장의 홀수 배여야 한다.

**418** **모범 답안** 공연장의 벽이나 천장에서 반사되는 소리가 상쇄 간섭을 하지 않고 모든 관객에게 고르게 퍼져 나갈 수 있도록 스피커를 설치하고, 내부 구조의 각도를 조절하여 설계한다.

| 채점 기준                                            | 배점    |
|--------------------------------------------------|-------|
| 상쇄 간섭을 하지 않게 하는 스피커 설치와 내부 구조 설계를 모두 옳게 서술한 경우   | 100 % |
| 상쇄 간섭을 하지 않게 하는 스피커 설치와 내부 구조 설계 중 하나만 옳게 서술한 경우 | 50 %  |

**419** ㄴ. (가)에서는 초음파가 같은 위상으로 중첩되어 세기가 증폭되는 현상을 이용하여 인체 내부 이물질을 파괴한다.

ㄷ. (나)에서 외부 소음을 제거하려면 상쇄 간섭이 일어나야 하므로 이어폰에서 마이크로 감지한 외부 소음과 반대 위상의 신호를 이어폰에서 발생시켜야 한다.

**바로알기** | ㄱ. (가)에서는 보강 간섭을, (나)에서는 상쇄 간섭을 이용하므로 (가)와 (나)에서 이용하는 간섭의 종류는 같지 않다.

**420** ㄱ. 그림은 초음파를 이용하여 인체 내의 이물질을 파괴하는 장치로, 보강 간섭을 이용한다.

ㄴ. 초음파가 이물질에서 같은 위상으로 만날 때 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 각각의 초음파들의 경로차가 반 파장의 짝수 배일 때 이물질에서 보강 간섭이 일어난다.

## 16 정상파

### 빈출 자료 보기

129쪽

**421** (1) ○ (2) ○ (3) ×

**422** (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

**421** (1) 파동의 파장은 매질이 한 번 진동하는 동안 파동이 이동한 거리이므로 A의 파장은 4 m이다.

(2) A의 속력은 1 m/s이고 A의 파장은 4 m이므로 A의 주기는 4초이다.

**바로알기** | (3) B의 속력은 1 m/s이고 B의 파장은 4 m이므로 B의 진동수는  $\frac{1 \text{ m/s}}{4 \text{ m}} = \frac{1}{4} \text{ Hz}$ 이다.

**422** (2) 정상파의 최대 진폭은 A, B의 진폭의 합과 같으므로 2 m이다.  
(3) 4 m 지점은 A, B가 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어난다. 따라서 4 m 지점은 배가 된다.

(4) 3 m 지점은 A, B가 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 3 m 지점은 배가 된다.

**다른 해설** (4) 4 m 지점이 배이고, 정상파에서 이웃한 배와 배 사이의 거리는 반 파장과 같으므로 2 m 지점이 배가 된다. 따라서 이웃한 배와 배 사이의 중간 지점에 마디가 있어야 하므로 3 m 지점은 마디가 된다.

**바로알기** | (1) 파동이 중첩될 때 파장은 중첩되기 전과 같으므로 정상파의 파장은 4 m이다.

### 난이도별 필수 기출

130쪽~133쪽

- 423 ②, ⑥ 424 ⑤ 425 ③ 426 ③ 427 ①  
428 해설 참조 429 ② 430 ⑤ 431 ② 432 ⑤  
433 ③ 434 ③ 435 ②, ⑤ 436 ⑤ 437 해설 참조  
438 ⑤

**423** ① 같은 매질에서 진동수와 진폭이 같은 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하여 중첩될 때 정상파가 형성된다.

③ 정상파의 배는 매질이 최대 진동하는 부분으로 보강 간섭이 일어난다.

④ 정상파의 마디는 매질이 진동하지 않는 부분으로 상쇄 간섭이 일어난다.

⑤ 정상파의 마디는 상쇄 간섭이 일어나 매질이 진동하지 않는 부분이므로 항상 진폭이 0이다.

⑦ 정상파의 파장, 진동수, 속력은 중첩되기 전 원래 파동과 같다.

**바로알기** | ② 진행파와 정상파 모두 매질은 이동하지 않고 제자리에서 진동한다.

⑥ 정상파의 최대 진폭은 중첩되기 전 원래 파동의 진폭의 2배이다.

**424** ㄱ. 정상파의 최대 진폭은 중첩되기 전 원래 파동의 진폭의 2배이므로 중첩된 두 파동의 변위의 최댓값은 2 cm이다.

ㄴ. 6 cm 지점에서는 A, B가 반대 위상으로 만나므로 마디가 된다.

ㄷ. 6 cm 지점이 마디이고, 정상파에서 이웃한 마디와 마디 사이의 거리는 2 cm이므로 두 파동이 완전히 중첩되었을 때 0, 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm 지점이 마디가 된다. 따라서 0~12 cm 사이에서 배는 1 cm, 3 cm, 5 cm, 7 cm, 9 cm, 11 cm 지점에 나타나며, 총 6개이다.

**425** ㄱ. 정상파의 파장은 중첩되기 전의 파장과 같은 20 cm이다.

ㄷ. 줄이 묶여 있는 부분은 움직이지 않으므로 정상파의 마디가 된다.

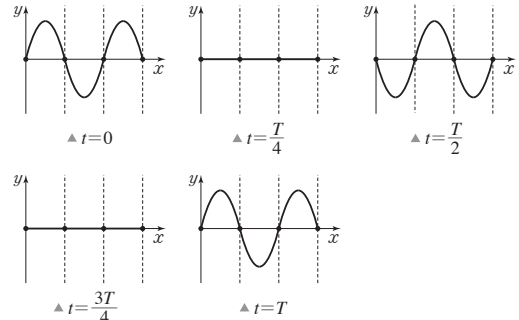
**바로알기** | ㄴ. 정상파의 진폭은 중첩되기 전 파동의 진폭의 2배이므로 4 cm이다.

**426** ㄱ. 마디에서 마디까지 거리는 반 파장이므로 a의 파장은 2L이다.

ㄷ. 정상파의 속력은 파장과 진동수의 곱으로 구할 수 있다. 따라서 파장은 a가 b의 2배이고, 진동수도 a가 b의 2배이므로 정상파의 속력은 A에서 B에서의 4배이다.

**바로알기** | ㄴ. b와 c는 B에서 발생한 정상파이므로 속력이 같다. 또한 파장은 c가 b의 2배이므로 진동수는 b가 c의 2배이다. 따라서 c의 진동수는  $\frac{1}{2}f_0$ 이다.

**427** • 주어진 정상파의 시간을  $t=0$ 이라 하면,  $t=0$ 부터 한 주기까지의 시간  $t=T$ 까지 정상파는 다음과 같이 진행된다.



ㄱ. P, Q는  $t=0$ 과  $t=T/4$  사이 또는  $t=3T/4$ 와  $t=T$  사이에서 나타날 수 있다.

ㄴ. P, Q는  $t=T/4$ 와  $t=3T/4$ 일 때 나타날 수 있다.

**바로알기** | ㄷ. P와 Q는 정상파의 마디이므로 진폭이 변하지 않는다.

따라서 P, Q는 나타날 수 없다.

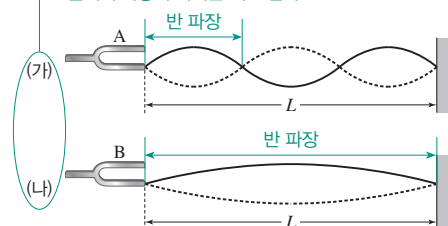
ㄹ. 정상파는 제자리에서 진동하는 것처럼 보이므로 파장이 변하지 않는다.

따라서 P, Q는 나타날 수 없다.

**428** **모범 답안** 정상파의 파장, 진동수, 속력은 중첩되기 전 원래 파동과 같다. (가)의 상태에서  $\frac{3}{4}$  주기가 지나면 두 번째로 (나)의 상태가 되므로 파동의 주기를  $T$ 라고 하면,  $t_0 = \frac{3}{4}T$ 에서  $T = \frac{4}{3}t_0$ 이다. 또한 (가)에서 정상파의 파장은  $2L$ 이므로  $v_0 = \frac{\lambda}{T} = \frac{3L}{2t_0}$ 이다.

| 채점 기준                                 | 배점    |
|---------------------------------------|-------|
| 정상파의 주기와 파장을 이용하여 속력 $v_0$ 을 옳게 구한 경우 | 100 % |
| 속력 $v_0$ 만을 옳게 쓴 경우                   | 50 %  |

**429** • 동일한 줄이고, 줄에 작용하는 장력의 크기가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 서로 같다.



ㄴ. 소리굽쇠에 의해 줄에 형성된 정상파의 파장은 (나)에서가 (가)에서의 3배이고, (가)와 (나)의 줄에서 정상파의 속력은 같으므로 정상파의 진동수는 (가)에서가 (나)에서의 3배이다. 이때 줄에 형성된 정상파의 진동수와 소리굽쇠의 진동수는 서로 같으므로 소리굽쇠의 진동수는 A가 B의 3배이다.

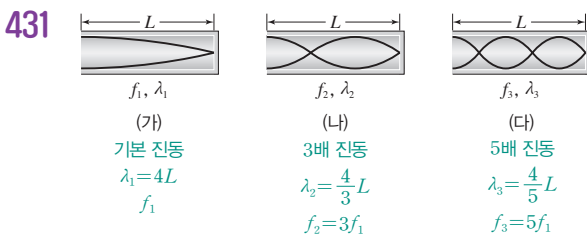
**바로알기** | ㄱ. A에 형성된 정상파의 파장은  $\frac{2}{3}L$ 이다.

ㄷ. 동일한 줄에 작용하는 장력의 크기가 같으므로 줄에서 파동의 속력은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

**430** ㄱ. A는 한쪽 끝이 막힌 관에서 형성되는 기본 진동의 정상파이므로 A에서 발생한 정상파의 파장은  $4L$ 이다.

ㄴ. 관에서 형성된 정상파가 주변의 공기를 진동시켜 소리를 발생시킨다. 따라서 A에서 형성된 정상파의 진동수는 A에서 발생한 소리의 진동수와 같다.

ㄷ. 소리의 속력은 일정하고 정상파의 파장은 A에서가 B에서보다 길다. 따라서 정상파의 진동수는 A에서가 B에서보다 작으므로 A에서가 B에서보다 낮은 음의 소리가 발생한다.



ㄷ. 관에서 형성된 정상파의 속력은 일정하므로  $f_1\lambda_1 = f_2\lambda_2 = f_3\lambda_3$ 이다.

**바로알기** | ㄱ. (다)에서 길이가  $L$ 인 관에  $\frac{5}{4}$ 파장인 정상파가 존재하므로  $\lambda_3 = \frac{4}{5}L$ 이다.

ㄴ. (나)에서  $L = \frac{3}{4}\lambda_2$ 이므로  $\lambda_2 = \frac{4}{3}L$ 이고,  $\lambda_3 = \frac{4}{5}L$ 이다. 따라서 파장과 진동수는 반비례하므로  $f_2 : f_3 = 3 : 5$ 이다.

**432** ㄴ. 정상파의 파장이 (가)에서가 (나)에서의 2배이므로 음파의 진동수는 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

ㄷ. 동일한 관 내부에서 정상파가 형성되었으므로 음파의 속력은 (가)에서와 (나)에서가 같다.

**바로알기** | ㄱ. 관의 길이를  $L$ 이라 하면, 양쪽 끝이 열린 관에 형성되는 기본 진동의 정상파의 파장은  $2L$ 이다. 따라서 (가)에서 정상파의 파장은  $1\text{ m}$ 이다.

**433** ㄱ. A, B는 모두  $n=1$ 인 기본 진동이다.

ㄴ. A의 파장은  $2l$ 이고 B의 파장은  $4l$ 이므로, 파장은 B에서가 A에서의 2배이다.

**바로알기** | ㄷ. 관 속의 공기를 진동시켜 발생시킨 정상파에 의해 음파가 발생하는데, 두 관 속의 공기의 온도가 같으므로 음파의 속력은 같다.

**434** ㄱ. 기타 줄의 양 끝이 고정되어 있으므로 줄을 튕기면 정상파가 형성되어 소리가 발생한다.

ㄷ. 줄에 진동에 의한 소리는 약하지만, 줄의 진동에 의한 소리가 기타 몸통 안의 공기 진동과 공명이 일어나 큰 소리가 발생한다.

**바로알기** | ㄴ. 줄의 길이가 같을 때, 줄이 굵을수록 진동하기 어려워 진동수가 작아 낮은 소리가 발생한다.

**435** ① 현악기에서는 고정된 양쪽 끝이 마디가 되어 정상파가 형성된다.

③ 양쪽 끝이 열린 관악기에 정상파가 형성될 때, 열린 양 끝은 모두 공기가 크게 진동하므로 배가 된다.

④ 관의 길이가  $L$ 인 양쪽 끝이 열린 관악기에서 기본 진동의 정상파가 형성될 때, 정상파의 파장은  $2L$ 이므로 관의 길이가 길수록 정상파의 파장이 길어진다.

⑥ 관의 길이를  $L$ 이라고 하면 기본 진동의 정상파가 형성되었을 때 현악기에서 파장은  $2L$ 이고, 한쪽 끝이 막힌 관악기에서 파장은  $4L$ 이다. 따라서 정상파의 속력은 일정하므로 진동수는 현악기에서가 한쪽 끝이 막힌 관악기에서보다 크다.

⑦ 외부에서 가한 진동이 물체가 가지고 있는 고유 진동수와 일치하여 파동의 진폭이 커지는 현상을 공명이라고 한다.

**바로알기** | ② 현악기에서 줄의 길이가 같아도 줄의 진동 상태에 따라 파동이 달라지므로 다른 높이의 소리를 만들 수 있다.

⑤ 한쪽 끝이 막힌 관악기에서는 열린 끝은 배가 되고, 닫힌 끝은 마디가 된다.

**436** ㄱ. 정상파가 형성되는 관의 길이가 (가)에서가 (나)에서보다 길고, (가), (나)에서 모두 기본 진동의 정상파가 형성되었으므로 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 길다.

ㄴ. 정상파의 속력은 (가)에서와 (나)에서가 같고, 파장은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 진동수는 (가)에서가 (나)에서보다 작다. 따라서 (가)에서가 (나)에서보다 낮은 소리가 발생한다.

ㄷ. 음파의 속력은 공기 중에서 같으므로 (가)에서와 (나)에서가 같다.

**437** **모범 답안** 소리의 속력은  $340\text{ m/s}$ 이고, 진동수는  $510\text{ Hz}$ 이므로 정상파의 파장  $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340\text{ m/s}}{510\text{ Hz}} = \frac{2}{3}\text{ m}$ 이다. 따라서 관 속에서 공명이 일어날 때 음파의 파장은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리의 2배와 같으므로 물의 높이차를  $h$ 라 하면  $\lambda = 2h$ 이다. 따라서 물의 높이차는  $\frac{1}{3}\text{ m}$ 이다.

| 채점 기준                                               | 배점    |
|-----------------------------------------------------|-------|
| 파동의 요소를 이용하여 파장을 구한 후, 정상파를 이용하여 물의 높이차를 올바르게 구한 경우 | 100 % |
| 물의 높이차만 올바르게 구한 경우                                  | 50 %  |

**438** ㄴ. 소리의 속력이  $340\text{ m/s}$ 이고, 소리의 파장이  $40\text{ cm}$ 이므로 소리의 진동수  $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340\text{ m/s}}{0.4\text{ m}} = 850\text{ Hz}$ 이다.

ㄷ. 한쪽 끝이 막힌 관에서 형성되는 정상파는 막힌 끝에 마디가 형성되므로 눈금실린더 바닥에는 마디가 형성된다.

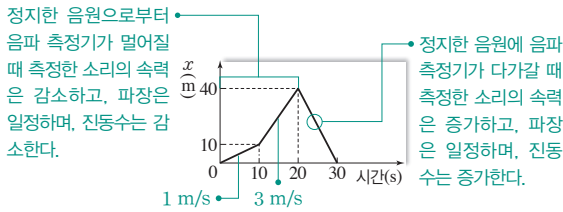
**바로알기** | ㄱ. 관 속에서 공명이 일어날 때 음파의 파장은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리의 2배이므로 소리의 파장은  $40\text{ cm}$ 이다.

## 최고 수준 도전 기출

134쪽~135쪽

439 ③    440 ⑤    441 ③    442 ⑤    443 ③    444 ⑤  
445 ⑤    446 ③

# 439



ㄱ. 25초일 때 정지한 음원을 향해 음파 측정기가 다가가고 있으므로 25초일 때 음파 측정기에서 측정된 소리의 진동수는  $f_0$ 보다 크다.

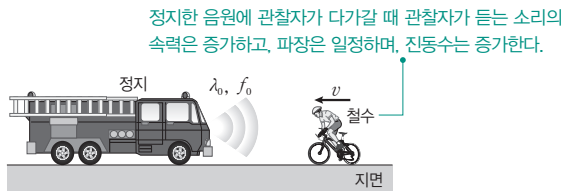
ㄴ. 정지한 음원으로부터 음파 측정기가 멀어질 때, 음파 측정기에서 측정된 소리의 진동수는 감소하고, 멀어지는 속력이 클수록 측정된 소리의 진동수는 더 감소한다. 따라서 음파 측정기의 속력은 5초일 때가 15초일 때보다 작으므로, 음파 측정기에서 측정된 소리의 진동수는 5초일 때가 15초일 때보다 크다.

**다른 해설** ㄱ, ㄴ. 소리의 속력을 340 m/s라 하면, 도플러 효과에 의해 정지한 음원 주위에서 운동하는 음파 측정기가 측정된 소리의 진동수는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \bullet 5\text{초일 때: } f_5 &= \frac{340-1}{340} f_0 = \frac{339}{340} f_0 \\ \bullet 15\text{초일 때: } f_{15} &= \frac{340-3}{340} f_0 = \frac{337}{340} f_0 \\ \bullet 25\text{초일 때: } f_{25} &= \frac{340+4}{340} f_0 = \frac{344}{340} f_0 \end{aligned}$$

**바로알기** ㄷ. 15초일 때는 정지한 음원으로부터 음파 측정기가 멀어지고, 25초일 때는 다가간다. 따라서 음파 측정기에서 측정된 소리의 속력은 15초일 때는 소리의 속력보다 작고, 25초일 때는 소리의 속력보다 크다.

# 440



ㄱ. 철수가 듣는 소리의 속력은  $v_0 + v$ 이다.

ㄴ. 정지한 음원에 철수가 다가가므로 철수가 듣는 소리의 진동수는 증가한다. 따라서  $f_0 < f$ 이다.

ㄷ. 도플러 효과에 의해 철수가 듣는 소리의 진동수는  $f = \frac{v_0 + v}{v_0} f_0$ 이고, 소리의 속력은  $v_0 = f_0 \lambda_0$ 이다. 이를 정리하면  $f v_0 = f_0 v_0 + f_0 v$ 이고,  $v_0 = f_0 \lambda_0$ 을 대입하면  $\lambda_0 = \frac{v}{f - f_0}$ 이다. 따라서 철수가 듣는 소리의 파장은 정지한 음원에서 발생하는 소리의 파장과 같은  $\frac{v}{f - f_0}$ 이다.

# 441

정지한 음원에 관찰자가 다가갈 때 관찰자가 듣는 소리의 속력은 증가하고, 파장은 일정하며, 진동수는 증가한다.



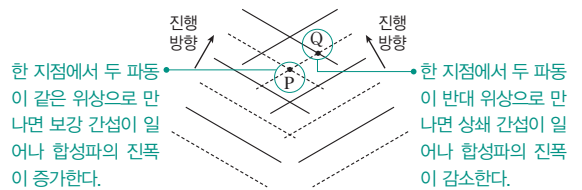
• 관찰자의 속력을  $v_0$ , 음원의 진동수를  $f_0$ , 음원의 속력을  $v$ 라 하면, 관찰자가 듣는 음원의 진동수는  $f = \frac{v \pm v_0}{v} f_0$ 이다.

ㄱ. 철수와 음원은 정지해 있으므로 철수가 듣는 소리의 진동수는 음원의 진동수와 같은  $f_0$ 이다.

ㄷ. 영희가 듣는 소리의 진동수는  $\frac{10v+v}{10v} f_0 = \frac{11}{10} f_0$ 이고, 민수가 듣는 소리의 진동수는  $\frac{10v-v}{10v} f_0 = \frac{9}{10} f_0$ 이다. 따라서 영희가 듣는 소리의 진동수는 민수가 듣는 소리의 진동수의  $\frac{11}{9}$ 배이다.

**바로알기** ㄴ. 정지한 음원에 영희가 다가가고 있으므로 영희가 측정된 소리의 속력은  $10v + v = 11v$ 이다.

# 442

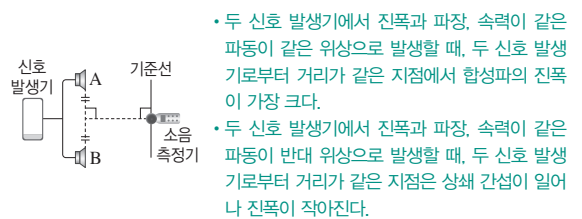


ㄱ. P에서는 같은 위상인 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. Q에서는 반대 위상인 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 Q의 변위는 변하지 않는다.

ㄷ. 이 순간으로부터  $\frac{1}{2}T$ 가 지나면, P에서는 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어나고, Q에서는 골과 마루가 만나 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 중첩된 파동의 변위는 P에서가 Q에서보다 크다.

# 443

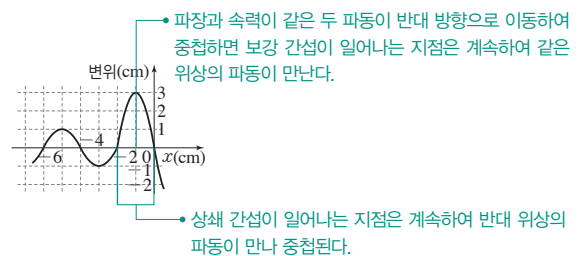


ㄱ. 기준선에서 소리의 세기가 가장 큰 지점은 경로차가 0인 지점이다. 따라서 (다)에서 찾은 지점은 A, B로부터 같은 거리에 있다.

ㄴ. A, B에서 같은 위상인 P를 발생시키면 A, B에서 같은 거리에 있는 지점에서는 소리가 같은 위상으로 만난다. 이 상태에서 B에 입력하는 신호만을 Q로 바꾸면 A, B에서 같은 거리에 있는 지점에서 소리가 반대 위상으로 만난다.

**바로알기** ㄷ. (마)에서는 P, Q가 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어나 소리의 세기가 감소한다. 따라서 (마)에서 상쇄 간섭이 일어난 소리의 세기는 (바)에서 Q의 세기보다 작다.

# 444



ㄱ. (가)에서 A의 파장은 파동이 한 번 진동하는 동안 이동한 거리이므로 4 cm이다.

ㄴ.  $t=2$ 초일 때 (나)에서  $x=-2$  cm인 지점부터  $x=0$ 인 지점 사이에서 A, B가 중첩되었으므로 B는 2초 동안 4 cm를 이동하였다. 따라서 B의 속력은 2 cm/s이다.

ㄷ.  $x=0$ 의 변위는 파동이 중첩되기 전에는 0이고, 파동이 처음 중첩되는  $t=1$ 초일 때 반대 위상으로 만나므로 변위가 0이다. 또한 A, B의 속력이 같으므로  $x=0$ 에서는  $t=1$ 초 이후 파동이 반대 위상으로 만난다. 따라서  $x=0$ 의 변위는 시간에 관계없이 일정하다.

✓ 개념 보충

파동의 중첩을 이용한 파동의 속력 구하기

(나)에서  $t=2$ 초일 때  $x=-2$  cm인 지점부터  $x=0$ 인 지점 사이에서 A, B가 중첩되었으므로 B는 2초 동안 4 cm를 이동하였다. 또한  $x=-1$  cm인 지점에서 중첩된 파동의 변위가 3 cm이므로 A와 B 모두 변위가 최대인 지점이 중첩된다. 따라서 (가)와 (나)에 의해 A는 2초 동안 4 cm를 이동하여야 하므로 A, B의 속력은 2 cm/s로 같다.

**445** ㄱ. 관의 길이를  $L$ 이라고 하면 (나)에서 A의 파장은  $2L$ 이고 B의 파장은  $4L$ 이므로, 파장은 B가 A의 2배이다.

ㄴ. 공기 중에서 소리의 속력은 일정하므로 파장과 진동수는 서로 반비례한다. 파장이 B가 A의 2배이므로 진동수는 A가 B의 2배이다. 따라서 A가 B보다 1옥타브 높은 소리가 발생한다.

ㄷ. 관에 기본 진동의 정상파가 형성될 때, 양 끝이 열린 관에서 파장은  $2L$ 이고, 한쪽 끝이 막힌 관에서 파장은  $4L$ 이다. 따라서 관의 길이가 같을 때 양 끝이 열린 관에서는 B를 만들 수 없다.

**446** ㄱ. 관 속에서 공명이 일어날 때, 소리의 파장은 이웃한 마디와 마디 사이의 거리의 2배이므로 소리굽쇠에서 발생한 소리의 파장은 50 cm이다.

ㄷ. 수면이 C에 위치할 때, 유리관에서 발생한 정상파는 A, B, C에서 모두 마디를 이룬다.

**바로알기** | ㄴ. 소리의 속력은 340 m/s이고, 소리의 파장은 0.5 m이므로, 수면이 C에 위치할 때 소리의 진동수는  $\frac{340 \text{ m/s}}{0.5 \text{ m}} = 680 \text{ Hz}$ 이다.



# MEMO

# MEMO