고등 셀파 역학과 에너지

# 정답과 해설



# I 시공간과 운동

## 01 힘과 운동

**탐구 기출 문제** | p.10 |

01 ③ 02 ①

**01** 일직선으로 된 미끄럼틀에서 미끄러지는 물체는 마찰과 공기 저항을 무시할 때, 등가속도 운동을 한다. 따라서 시간에 따른 이동 거리 그래프는 기울기가 점점 가파르게 증가하는 아래로 볼록한 곡선 형태가 된다.

**02** 물체에 작용하는 힘은 중력 $mg$밖에 없으며, 이 힘은 빗면과 나란한 힘 $F_1$과 수직인 힘 $F_2$로 분해할 수 있다.
따라서 $F_1=mg\sin\theta$, $F_2=mg\cos\theta$이다.

**내신 기초 문제** | p.12~13 |

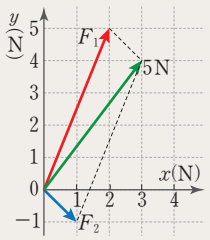
01 ③ 02 ④ 03 ③ 04 ④ 05 ② 06 ⑤
07 ③ 08 ④ 09 ④ 10 ①

**01** 서로 수직인 크기가 각각 3 N, 4 N인 두 힘의 합력은 평행사변형의 대각선의 길이를 이용하면 $\sqrt{3^2+4^2}=5$(N)이다.

**02** 오답 피하기
④ 나란하지 않은 두 힘의 합력은 두 힘이 이루는 각이 작을수록 크다.

**03** 힘은 벡터량으로, 평면상에서 두 힘의 합은 벡터의 합성으로 구한다. 합력 $F$의 $x$ 성분은 3 N, $y$ 성분은 4 N이므로 합성 벡터의 크기는 $\sqrt{3^2+4^2}=5$(N)이다.

**문제 속 자료**




• 두 벡터의 시작점을 일치시킨 후, $F_1$, $F_2$를 이웃 변으로 하는 평행사변형을 그려서 평행사변형의 대각선으로 합력 $F$를 구할 수 있다.

**04** 물체에 작용하는 알짜힘은 $F_1$, $F_2$의 합력이다. $F_1$, $F_2$가 서로 수직이므로 $F_1$, $F_2$가 만드는 평행사변형의 대각선의 크기로 합력을 구할 수 있다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{F_1^2+F_2^2}=6\sqrt{2}$(N)이다.

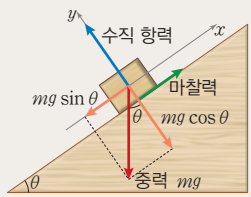
**05** 평면상에서 힘이 평형을 이루면 각 성분끼리도 힘의 평형이 성립한다. $x$ 성분끼리 힘의 평형을 이루므로 $F_1\cos30^\circ=F_2\cos60^\circ$이고, $y$ 성분끼리 힘의 평형을 이루므로 $F_1\sin30^\circ+F_2\sin60^\circ=100$ N이다. 따라서 두 식을 연립하면 $F_1=50$ N, $F_2=50\sqrt{3}$ N이다.

**06** 빗면에서 물체에 작용하는 중력의 크기를 분해하면 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘은
$mg\sin\theta=4\times10\times\sin45^\circ=20\sqrt{2}$(N)이다. 물체가 정지해 있으려면 힘 $F$의 빗면과 나란한 방향 성분이 $20\sqrt{2}$ N이어야 한다. 따라서 $F\cos45^\circ=20\sqrt{2}$ N이 되는 $F$는 40 N이다.

**07** 물체의 가속도의 크기는 $a=g\sin\theta-\mu g\cos\theta$에서 $\theta=30^\circ$이므로 $a=\left(10\times\frac{1}{2}\right)-\left(\frac{\sqrt{3}}{4}\times10\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)=5-\frac{15}{4}=\frac{5}{4}$(m/s$^2$)이다.

**08** 수직 항력은 물체가 표면을 누르는 힘에 대한 반작용이므로 D 방향으로 작용한다.

**문제 속 자료**




• 마찰이 있는 빗면을 따라 내려오는 물체에는 중력, 수직 항력, 마찰력 등이 작용한다.
• 수직 항력은 빗면에 수직인 중력의 성분과 힘의 평형 관계이다.
• 마찰력은 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다.

**09** ㄴ. A의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 모두 연직 위 방향이다.
ㄷ. A, B는 등가속도 직선 운동을 하므로 A를 놓은 후 3 초 동안 B가 이동한 거리는 $s=\frac{1}{2}at^2$을 이용하여
$s=\frac{1}{2}\times\frac{10}{3}\times3^2=15$(m)이다.

오답 피하기
ㄱ. 함께 운동하는 두 물체에 작용하는 알짜힘은
40 N−20 N=20 N이므로 20 N=6 kg×$a$에서 가속도의 크기는 $a=\frac{10}{3}$m/s$^2$이다.

**10** 전체 질량은 $5m$이고, 알짜힘의 크기는 $3mg$이므로 가속도의 크기는 $\frac{3mg}{5m}=\frac{3}{5}g$이다.

## 내신 실전 문제

| p.14~17 |

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

**01** $\vec{F}_2$와 $\vec{F}_3$를 $x$와 $y$ 성분으로 분해하면,

$\vec{F}_2$는 $F_{2x}=-F_2\cos30°=-4\times\frac{\sqrt{3}}{2}=-2\sqrt{3}$과

$F_{2y}=F_2\sin30°=4\times\frac{1}{2}=2$로 분해되며,

$\vec{F}_3$은 $F_{3x}=-F_3\cos60°=-F_3\times\frac{1}{2}=-\frac{F_3}{2}$과

$F_{3y}=-F_3\sin60°=-F_3\times\frac{\sqrt{3}}{2}=-\frac{\sqrt{3}F_3}{2}$으로 분해된다.

그런데 알짜힘이 $+x$ 방향이므로 $\vec{F}_2$와 $\vec{F}_3$의 $y$ 성분은 서로 상쇄된다. 즉, $F_{2y}+F_{3y}=2-\frac{\sqrt{3}}{2}F_3=0$이므로 $F_3=\frac{4\sqrt{3}}{3}$ N이다. $x$ 성분의 힘을 합한 알짜힘은

$F_1+F_{2x}+F_{3x}=8\sqrt{3}-2\sqrt{3}-\frac{2\sqrt{3}}{3}=\frac{16\sqrt{3}}{3}$(N)이다.

**02** 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 수평 방향, 연직 방향으로 작용하는 힘의 합력 또한 각각 0이어야 한다. 물체의 무게와 물체에 작용하는 10 N의 연직 방향 성분이 같은 크기이므로 물체의 무게는 $5\sqrt{3}$ N이다.

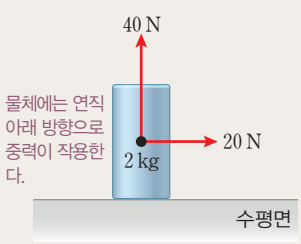
**03** ㄱ. 두 용수철저울의 합력은 물체의 무게와 같다.

ㄴ. (나)에서 두 용수철저울이 이루는 각을 증가시키면 용수철저울 하나의 눈금의 크기가 커진다.

ㄷ. (가)와 (나) 모두 힘의 합성을 이용하여 물체의 무게를 측정하는 방법이다.

**04** 물체에는 연직 아래 방향으로 중력이 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $\sqrt{20^2+20^2}=20\sqrt{2}$(N)이다. 따라서 $a=\frac{20\sqrt{2}\text{ N}}{2\text{ kg}}=10\sqrt{2}\text{ m/s}^2$이다.

**문제 속 자료**



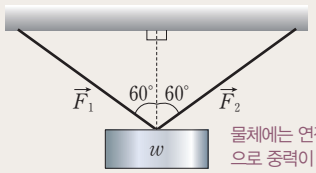

**물체에 작용하는 힘**

- 연직 아래 방향: $mg=2\text{ kg}\times10\text{ m/s}^2=20\text{ N}$
- 연직 위 방향: 40 N
- 수평 방향: 20 N

**05** ㄱ. 두 줄이 양쪽으로 이루는 각도가 같으므로 $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$의 크기는 서로 같다.

ㄴ, ㄷ. 두 힘의 합력은 $w$와 크기는 같고 방향은 반대이다.

**문제 속 자료**

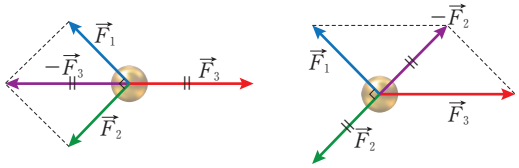



- 물체는 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
- $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$의 합력은 $w$와 크기는 같고 방향은 반대이다.

**06** 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 $\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3=0$이다.

ㄴ. $\vec{F}_1+\vec{F}_2=-\vec{F}_3$이고, $|\vec{F}_1+\vec{F}_2|=F_3$이다.

ㄷ. $\vec{F}_1+\vec{F}_3=-\vec{F}_2$이고, $|\vec{F}_1+\vec{F}_3|=F_2$이다.




**오답 피하기**

ㄱ. $|\vec{F}_1+\vec{F}_2|$와 $F_3$이 같은데, $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$가 이루는 각이 90°이므로 $\vec{F}_3$의 크기가 가장 크다.

**07** (가)에서 두 물체는 정지해 있으므로 두 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다. 따라서

$(2\times10)-(m_A\times10\times\sin30°)=0$이므로 $m_A=4$ kg이다.

따라서 실이 끊어진 후 A에 작용하는 알짜힘의 크기는

$F=mg\sin\theta=4\times10\times\sin30°=20$(N)이다.

**08** 물체의 가속도의 크기는 $a=g\sin45°-\mu g\cos45°$이므로

$a=\left(10\times\frac{\sqrt{2}}{2}\right)-\left(0.2\times10\times\frac{\sqrt{2}}{2}\right)=5\sqrt{2}-\sqrt{2}=4\sqrt{2}\text{ (m/s}^2\text{)}$

이다. 따라서 가속도의 크기는 $4\sqrt{2}\text{ m/s}^2$이다.

**09** A와 B가 등속 운동을 하고 있으므로 A에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 방향 성분의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기는 같다. A에 작용하는 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $2mg\sin\theta$이며, B에 작용하는 중력의 크기는 $\sqrt{3}mg$이므로 $2mg\sin\theta=\sqrt{3}mg$이다. 따라서 $\sin\theta=\frac{\sqrt{3}}{2}$인 $\theta=60°$이다.

**10** (가)에서 A와 B는 정지해 있으므로 A에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 방향 성분의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기는 같다. 따라서 $4mg\sin\theta=3mg$이므로 $\sin\theta=\frac{3}{4}$이다.

(나)에서 A에 작용하는 중력의 크기는 $4mg$, B에 작용하는 중력의 빗면과 나란한 방향 성분의 크기는

$3mg\sin\theta=3mg\times\frac{3}{4}=\frac{9}{4}mg$이므로 알짜힘의 크기는

$4mg-\frac{9}{4}mg=\frac{7}{4}mg$이다. A, B의 질량은 $7m$이므로 A의 가속도의 크기는 뉴턴 제2법칙에 따라 $a=\frac{1}{4}g$이다.

**11** 빗면 위의 두 물체가 정지해 있으므로 두 물체의 알짜힘은 0이다. 따라서 A, B에 작용하는 중력의 빗면 방향 성분의 크기는 같다. B의 무게를 $w$라고 하면, A에 작용하는 중력의 빗면 방향 성분의 크기는 $mg\sin\theta=80\times\frac{9}{15}$이고, B에 작용하는 중력의 빗면 방향 성분의 크기는 $w\times\frac{9}{12}$이다. 따라서 $80\times\frac{9}{15}=w\times\frac{9}{12}$이므로 $w=64$ N이다.

**12** A에 작용하는 중력의 빗면 방향 성분의 크기는 $mg\sin\theta=20\times10\times\sin30^\circ=100$(N), B에 작용하는 중력의 크기는 300 N이다. 따라서 B는 연직 아래 방향으로 운동하고 A는 빗면 위쪽 방향으로 운동한다. 물체에 작용하는 알짜힘은 300 N−100 N=200 N이므로 가속도의 크기는 뉴턴 제2법칙 따라 $a=\frac{200\text{ N}}{50\text{ kg}}=4\text{ m/s}^2$이다. 등가속도 직선 운동 공식 $v=v_0+at$을 이용하면 3초 뒤 물체의 속력은 $v=0+(4\text{ m/s}^2\times3\text{ s})=12\text{ m/s}$이다.

**13** ㄱ. A, B는 각각 빗면과 나란한 방향으로 $mg\sin\theta$의 힘을 받으므로 A는 $m_Ag\sin\theta=\sqrt{2}\times10\times\frac{\sqrt{2}}{2}=10$(N),

B는 $m_Bg\sin\theta=4\sqrt{2}\times10\times\frac{\sqrt{2}}{2}=40$(N)의 힘을 받는다.

ㄴ. B에 작용하는 힘이 더 크므로 A는 빗면 위로, B는 빗면 아래로 운동한다. 따라서 총 알짜힘이 40 N−10 N=30 N이므로 A, B의 가속도의 크기는 뉴턴 제2법칙에 따라 $a=\frac{30\text{ N}}{5\sqrt{2}\text{ kg}}=3\sqrt{2}\text{ m/s}^2$이다. 따라서 B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $ma=4\sqrt{2}\times3\sqrt{2}=24$(N)이다.

ㄷ. 등가속도 직선 운동 공식 $s=\frac{1}{2}at^2$을 이용하면 A는 $s=\frac{1}{2}\times3\sqrt{2}\times4^2=24\sqrt{2}$(m)이동한다.

**14** 물체가 정지해 있으므로 A에 작용하는 중력의 빗면 방향 성분의 크기와 B에 작용하는 중력의 크기는 같다. 따라서 $Mg\sin60^\circ=4g$이므로 $M=\frac{8\sqrt{3}}{3}$ kg이다.

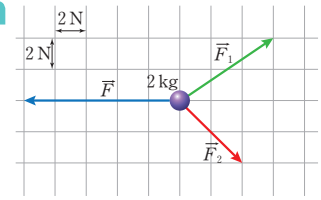
**15** (1) **모범 답안** 알짜힘의 크기: 10 N, 가속도의 크기: 5 m/s$^2$

**해설**

평행사변형법을 이용하면, 물체의 알짜힘의 크기는 모눈종이 다섯 칸의 크기와 같다. 따라서 알짜힘의 크기는 10 N이다. 물체의 질량이 2 kg이므로 가속도의 크기는 5 m/s$^2$이다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 힘의 합성을 이용하여 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 가속도의 크기를 옳게 구한 경우 | 100 |
| 힘의 합성을 이용하였으나 물체에 작용하는 알짜힘의 크기와 가속도의 크기를 옳게 구하지 못한 경우 | 50 |

(2) **모범 답안**




**해설**

물체에 새로운 힘 $\vec{F}$가 작용했을 때, 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 0이므로 $\vec{F}_1$과 $\vec{F}_2$의 합성 벡터와 $\vec{F}$는 힘의 크기는 같고, 방향은 반대여야 한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 세 힘의 알짜힘이 크기가 0이 되는 힘 $\vec{F}$를 모눈종이 위에 옳게 그린 경우 | 100 |
| 세 힘의 알짜힘이 크기가 0이 되는 힘 $\vec{F}$를 모눈종이 위에 옳게 그리지 못한 경우 | 0 |

**16** (1) **모범 답안** $5m$ N

**해설**

물체에는 중력의 빗면 방향 성분의 크기와 같은 알짜힘이 작용한다. 따라서 알짜힘의 크기는 $mg\sin\theta=m\times10\times\sin30^\circ=5m$(N)이다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 옳게 구한 경우 | 100 |
| 물체에 작용하는 알짜힘의 크기를 옳게 구하지 못한 경우 | 0 |

(2) **모범 답안** 15 m/s

**해설**

물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 $5m$ N이므로 물체의 가속도의 크기는 뉴턴 제2법칙에 따라 5 m/s$^2$이다. 물체는 빗면 위에서 일정한 가속도를 받는 등가속도 운동을 한다. 따라서 등가속도 직선 운동 공식 $v=v_0+at$를 이용하면 수평면에 도달한 직후 물체의 속력의 크기는 $v=0+(5\text{ m/s}^2\times3\text{ s})=15\text{ m/s}$이다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 등가속도 직선 운동 공식을 이용하여 수평면에 도달한 직후 물체의 속력의 크기를 옳게 구한 경우 | 100 |
| 등가속도 직선 운동 공식을 이용하였으나 수평면에 도달한 직후 물체의 속력의 크기를 옳게 구하지 못한 경우 | 40 |

## 02 포물선 운동, 등속 원운동과 진자 운동

### 탐구 기출 문제

| p.22~23 |

01 ① 02 ② 03 ① 04 ④

**01** 물체의 출발 시점을 중력에 의한 위치 에너지의 기준으로 보면, 출발점에서 A, B 모두 중력에 의한 위치 에너지는 0이고 속력이 같으므로 운동 에너지도 같다. 따라서 출발점에서 A, B의 역학적 에너지가 같으므로 지면에 도달하는 순간의 역학적 에너지도 같다.

**02** 최고점에 도달하는 시간은 $t_H=\frac{v_0\sin\theta}{g}$이다. 따라서 $t_H=\frac{8\times\sin45^\circ}{10}=\frac{2}{5}\sqrt{2}(\mathrm{s})$이다.

**03** ㄱ. 물체가 포물선 운동을 할 때, 최고점에서 연직 성분의 속도는 0이다.

오답 피하기

ㄴ. 두 공 모두 처음 속력이 $v$이므로 다시 지면에 도달했을 때의 속력도 $v$이다.

ㄷ. 두 공을 던진 각도가 30°와 60°이므로 두 공의 수평 도달 거리는 같다.

**04** 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 처음 물체를 던진 순간의 역학적 에너지와 최고점에서 역학적 에너지는 서로 같고, 따라서 역학적 에너지는 $E=\frac{1}{2}mv^2$이다. 최고점에서 물체의 수평 방향 속도는 $v_x=v\cos60^\circ=\frac{1}{2}v$이므로 최고점에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_x^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{1}{2}v\right)^2=\frac{1}{4}E$이다. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 역학적 에너지는 운동 에너지와 위치 에너지의 합이므로, 위치 에너지는 $E-\frac{1}{4}E=\frac{3}{4}E$이다.

### 세미나 기출 문제

| p.25 |

01 ② 02 ②

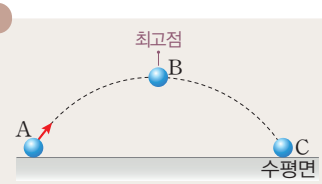
**01** ㄷ. 물체가 포물선 경로를 따라 운동하는 동안 물체의 운동 에너지와 중력에 의한 위치 에너지의 합인 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

오답 피하기

ㄱ. 물체의 운동 에너지는 A, C에서 가장 크다.

ㄴ. 포물선 운동을 하는 물체는 최고점에서 연직 방향 속도는 0이지만, 수평 방향 속도는 0이 아니므로 B에서 물체는 위치 에너지와 운동 에너지를 모두 갖는다.

문제 속 자료




- 물체의 역학적 에너지는 A, B C에서 동일하다.
- 물체의 위치 에너지는 B에서 가장 크고 A, C에서 가장 작다.
- 물체의 운동 에너지는 A, C에서 가장 크고 B에서 가장 작다.

**02** 공이 8 초 동안 수평으로 이동한 거리가 80 m이므로 공의 수평 방향 속력은 10 m/s라고 할 수 있다. 포물선 운동을 할 때, 최고점에서 물체의 연직 방향 속도는 0이다. 따라서 최고점에서 운동 에너지는 $E_K=\frac{1}{2}mv_x^2=\frac{1}{2}\times5\times10^2=250(\mathrm{J})$이다.

### 내신 기초 문제

| p.26~27 |

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

**01** 수평으로 던진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동, 연직 방향으로는 자유 낙하 운동을 하므로 A의 가속도는 중력 가속도이다.

오답 피하기

⑤ 낙하 시간은 높이에 의해 결정되므로 높이가 같으면 자유 낙하 운동과 수평으로 던진 물체의 운동에서 낙하 시간이 같다.

**02** 공이 포물선 운동을 할 때, 최고점에서 연직 방향의 속력은 0이다. 공이 최고점에 도달할 때까지 걸리는 시간은 $t_H=\frac{v_0\sin\theta}{g}$를 이용하면 0.5 초이며, 수평 방향으로 이동한 거리는 $R=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g}$를 이용하면 $5\sqrt{3}$ m이다. 공이 다시 지면에 도달한 순간의 속력은 처음 속력과 같은 10 m/s이다.

오답 피하기

② 포물선 운동할 때 수평 방향으로는 힘이 작용하지 않으므로 공의 수평 방향의 속력은 항상 일정하다. 따라서 공의 수평 방향의 속력은 $v_0\cos30^\circ=5\sqrt{3}(\mathrm{m/s})$이다.

**03** 공은 연직 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 $H=\frac{1}{2}gt^2$

이고, 공은 2초 뒤에 지면에 도달하므로

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

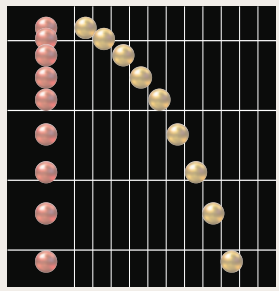
**04** ㄱ. 빨간색 공과 노란색 공은 동시에 지면에 도달한다.

ㄴ. 노란색 공의 수평 방향 속력은 시간이 지나도 일정하다.

오답 피하기

ㄷ. 운동의 시작점에서 두 물체의 위치 에너지는 같지만, 노란색 공은 수평 방향으로 초기 속도를 지니고 있으므로 운동 에너지를 갖고 있다. 따라서 노란색 공의 역학적 에너지가 빨간색 공의 역학적 에너지보다 크다.

문제 속 자료



- 빨간색 공은 자유 낙하 운동을 하며, 연직 방향으로 중력이 가속도인 등가속도 운동을 한다.
- 노란색 공은 포물선 운동을 하며, 연직 방향으로는 중력이 가속도인 등가속도 운동을, 수평 방향으로는 등속도 운동을 한다.

**05** 수평으로 던진 물체는 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 가속도가 중력 가속도인 등가속도 운동을 한다.

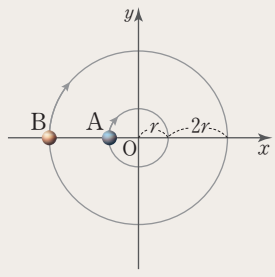
오답 피하기

④ 연직 방향으로 이동한 거리는 시간의 제곱에 비례하므로 포물선 모양의 그래프가 되어야 한다.

**06** 등속 원운동하는 물체에 작용하는 구심력은

$F=mr\omega^2=mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$이다. 물체의 질량과 주기가 같으므로 $\frac{F_A}{F_B}=\frac{1}{3}$이다.

문제 속 자료




**질량과 주기가 같은 두 물체 A, B**

- 각속도 $\omega=\frac{2\pi}{T}$
  ⇨ $\omega_A:\omega_B=1:1$
- 속력 $v=r\omega$
  ⇨ $v_A:v_B=1:3$
- 구심 가속도 $a=r\omega^2$
  ⇨ $a_A:a_B=1:3$
- 구심력 $F=mr\omega^2$ ⇨ $F_A:F_B=1:3$

**07** 등속 원운동에서 구심 가속도는 $a=\frac{v^2}{r}$으로 속력이 변하지 않을 때 반지름에 반비례한다. 따라서 반지름이 두 배가 되면 구심 가속도는 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 그러므로 구심 가속도의 크기는 2 m/s$^2$이다.

**08** ㄴ. 같은 회전목마에 타고 있으므로 A와 B의 각속도는 같다.

오답 피하기

ㄱ. 속력은 $v=r\omega$이므로, 안쪽에 탄 A의 속력이 B보다 작다.

ㄷ. 구심 가속도는 $\frac{v^2}{r}=\frac{(r\omega)^2}{r}=r\omega^2$이므로, A의 구심 가속도가 B보다 작다.

## 내신 실전 문제

| p.28~31 |

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

**01** 물체는 연직 방향으로 가속도가 중력 가속도인 등가속도 운동을 하므로 $h=\frac{1}{2}gt^2$이다. $h=20$ m, $g=10$ m/s$^2$이므로 물체는 던져진 후 2 초 만에 지면에 도달한다. 따라서 수평 방향의 속도는 3 m/s로 일정하므로, 3 m/s$\times$2 s$=$6 m이다.

**02** ㄴ. 물체가 다시 지면에 도달하는 데 걸리는 시간은 물체가 최고점에 도달하는 데 걸리는 시간의 절반이다.

오답 피하기

ㄱ. 공은 연직 아래 방향으로 알짜힘이 작용하므로 A에서 공의 운동 방향과 알짜힘의 방향은 다르다.

ㄷ. 공의 속도가 0이 되는 지점은 없다.

**03** 공은 연직 방향으로 가속도가 중력 가속도인 등가속도 운동을 하므로 던진 속도의 연직 방향 속도를 $v_y$라 하면 등가속도 공식에 따라

$s=v_yt-\frac{1}{2}gt^2$이므로 $10=\left(v_y\times 1\right)-\left(\frac{1}{2}\times 10\times 1^2\right)$에서 $v_y=15$ m/s이다. 공이 다시 지면에 도달하는 시간은 연직 방향의 변위가 0이 되는 지점이므로

$y=v_yt-\frac{1}{2}gt^2=0$에서 $t=3$ s이다. 따라서 공이 p에서 다시 지면에 도달하는 시간은 전체 운동 시간인 3 초에서 1 초를 뺀 2 초이다.

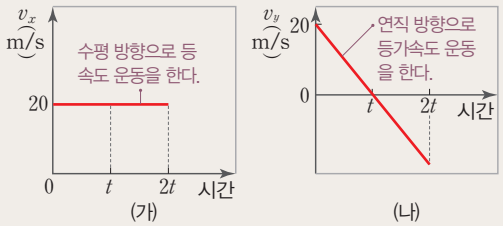
**04** 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하고, 연직 방향으로 등가속도 운동을 하므로 물체는 비스듬히 위로 던진 운동을 하는 것을 알 수 있다.

ㄱ. 물체는 $t$ 초일 때 최고점에 도달하고, 중력 가속도는 $10\ \mathrm{m/s^2}$이므로 $10=\frac{20}{t}$에서 $t=2$ 초이다.

ㄴ. 0 초일 때 수평 방향의 속력과 연직 방향의 속력이 같으므로 $\theta=45°$이다.

ㄷ. 4 초일 때 물체가 지면에 도달하므로 수평 도달 거리는 (가) 그래프 아래의 넓이인 80 m이고, 최고점의 높이는 (나) 그래프에서 0~$t$ 초까지 그래프 아래 넓이인 20 m이다.

**문제 속 자료**




- 시간·속도 그래프에서 그래프의 기울기는 가속도이다.
- 시간·속도 그래프에서 그래프의 아래 넓이는 이동 거리이다.

**05** ㄱ. 공이 지면에 도달하는 데 걸린 시간은 $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $t\propto\sqrt{h}$이다.

ㄷ. 공의 연직 방향의 속력은 $-2gh=v^2-v_0^2$에서 $v_0\propto\sqrt{h}$이다.

**오답 피하기**

ㄴ. 공의 수평 방향 속력은 $R=v_{0x}t$에서 $v_{0x}\propto R$이다.

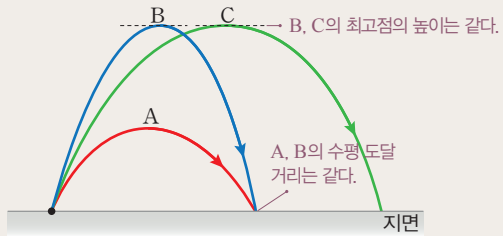
**06** ㄱ. A와 B의 수평 도달 거리는 같지만 최고점의 높이는 A가 B보다 작으므로 물체의 수평 방향 속력은 A가 B보다 크다.

ㄴ. B와 C의 최고점의 높이가 같으므로 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 B와 C가 같다.

**오답 피하기**

ㄷ. B와 C의 최고점의 높이가 같으므로 던질 때 물체의 연직 방향 속력의 크기는 같다. 그러나 C의 수평 도달 거리가 B보다 길기 때문에 던질 때 수평 방향 속력의 크기는 B가 C보다 작다.

**문제 속 자료**




- 최고점의 높이는 연직 방향의 속도 성분에 의해서만 결정된다.
- 물체가 운동하는 시간은 연직 방향 속도 성분에 의해서만 결정된다.

**07** 공이 6 초 동안 수평으로 이동한 거리가 120 m이므로 공의 수평 방향 속력은 20 m/s이다. 공은 최고점에서 속도의 수평 방향 성분만 있으므로 최고점에서 공의 운동 에너지는 $E_K=\frac{1}{2}mv_x^2=\frac{1}{2}\times2\times20^2=400(\mathrm{J})$이다.

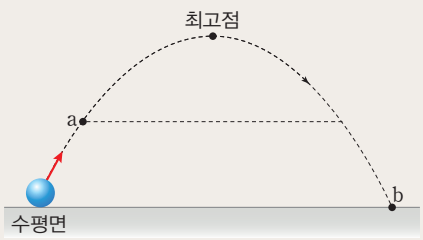
**08** ㄱ, ㄷ. 두 물체는 질량이 같고, 같은 속력 $v$로 던져졌으므로 처음 운동 에너지가 같고, 동일한 높이에서 던져졌으므로 처음 위치 에너지가 같다. 따라서 던져지는 순간 역학적 에너지가 같으므로 지면에 도달했을 때의 역학적 에너지도 동일하며, 수평면에 도달할 때 A와 B의 속력 역시 같다.

**오답 피하기**

ㄴ. A는 시작점에서 연직 위쪽 방향의 속도 성분이 있고, B는 시작점에서 연직 방향의 속도 성분이 없으므로 B가 먼저 수평면에 도달한다.

**09** 물체의 역학적 에너지는 $E$이고 최고점에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{8}E$이므로, 최고점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 $\frac{7}{8}E$이다. a에서 물체의 위치 에너지는 최고점에서의 위치 에너지의 $\frac{1}{2}$ 배이므로, a에서 물체의 위치 에너지의 크기는 $\frac{7}{8}E\times\frac{1}{2}=\frac{7}{16}E$이다.

**문제 속 자료**




- 포물선 운동에서 물체의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 따라서 a, 최고점, b에서의 역학적 에너지는 같다.
- b에서 중력에 의한 위치 에너지가 0이므로, b에서의 운동 에너지가 물체의 역학적 에너지라 할 수 있다.

**10** 지면에서 물체의 속력은 30 m/s이고, 최고점에서 속력은 지면에서의 속도의 수평 방향 성분과 같은 $30\ \mathrm{m/s}\times\cos60°=15\ \mathrm{m/s}$이므로 지면과 최고점에서 물체의 운동 에너지의 비는 속력 제곱의 비인 4 : 1이다. 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 지면에서 물체의 운동 에너지는 최고점에서 물체의 운동 에너지와 위치 에너지의 합과 같으므로, 최고점에서 물체의 운동 에너지와 위치 에너지의 비는 1 : 3이다.

**11** 1 초에 5 번 회전하므로 진동수는 5 Hz이고, 등속 원운동하

는 물체의 속력은 $v=r\omega=2\pi rf$이므로 $2\pi\times0.3\text{ m}\times5\text{ Hz}=3\pi\text{ m/s}$이다. 알짜힘의 크기는 $F=mr\omega^2=mr(2\pi f)^2$이므로 $6\text{ kg}\times0.3\text{ m}\times(2\pi\times5\text{ Hz})^2=180\pi^2\text{ N}$이다.

**12** 등속 원운동하는 물체에 작용하는 구심력의 크기는 $m\frac{v^2}{r}$이다. 구심력 $F_A=m_A\frac{v^2}{r}$과 $F_B=m_B\frac{(2v)^2}{2r}$의 크기가 같으므로 $m_A=2m_B$이다. 따라서 $m_A:m_B=2:1$이다.

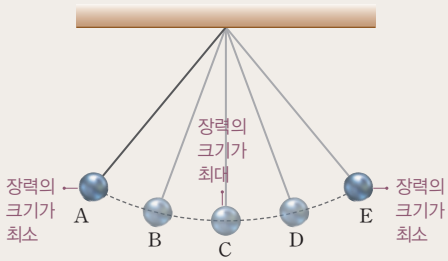
**13** ㄴ. C에서 물체의 알짜힘의 방향은 연직 위 방향이다.

오답 피하기

ㄱ. 진자 운동에서 물체에 작용하는 알짜힘은 중력과 장력의 합력이다.

ㄷ. B와 D에서 알짜힘은 중력과 장력의 합력으로, 알짜힘의 방향은 서로 다르다.

문제 속 자료




• 진자 운동에서 중력의 크기와 방향은 일정하지만 장력의 크기와 방향은 계속 변하므로 진자에 작용하는 알짜힘은 계속 변한다.

**14** ㄱ, ㄷ. (가)와 (나)에서 물체의 운동 방향과 다른 방향으로 알짜힘이 작용하며 가속도 운동이다.

오답 피하기

ㄴ. (가)에서 물체는 등속 원운동을 하고 있으므로 물체의 속도의 크기는 항상 일정하지만, (나)에서 물체는 진자 운동을 하고 있으므로 물체의 속도의 크기는 위치에 따라 변한다.

**15** (1) 모범 답안 $5\sqrt{3}\text{ m}$

해설

포물선 운동하는 물체의 수평 이동 거리는 $R=\frac{v_0^2\sin2\theta}{g}$이므로 $R_A=\frac{10^2\times\sin60^\circ}{10}=5\sqrt{3}(\text{m})$이다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 포물선 운동하는 물체의 수평 이동 거리를 옳게 구한 경우 | 100 |
| 포물선 운동하는 물체의 수평 이동 거리를 옳게 구하지 못한 경우 | 0 |

(2) 모범 답안 5 m

해설

A의 수평 방향 이동 거리는 $5\sqrt{3}$ m이고, 수평 방향 속력은 $v_0\cos\theta=10\times\cos30^\circ=5\sqrt{3}(\text{m/s})$이므로 운동 시간은 1 초이다. B는 연직 방향으로 중력 가속도 $10\text{ m/s}^2$인 등가속도 운동을 하였으므로 $H=\frac{1}{2}gt^2$에서 $H=\frac{1}{2}\times10\times1^2=5(\text{m})$이다.

[서술형 TIP]

A는 수평 방향으로는 등속도 운동을 하므로 이동 거리는 속력과 시간의 곱과 같다. B는 연직 아래 방향으로 가속도가 중력 가속도인 등가속도 운동을 한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| A의 운동에서 운동 시간을 도출하여 답을 옳게 구한 경우 | 100 |
| 답은 옳게 구하였으나 A의 운동에서 운동 시간을 도출하지 못한 경우 | 50 |

**16** (1) 모범 답안 $4\sqrt{5}\text{ m/s}$

해설

자동차의 구심 가속도의 크기는 $a=\frac{v^2}{r}$이므로 $a=\frac{8^2}{40}=1.6(\text{m/s}^2)$이다. 자동차가 50 m의 원형 도로를 돌 때 속력의 크기를 $v$라고 하면 $1.6=\frac{v^2}{50}$에서 $v=4\sqrt{5}\text{ m/s}$이다.

[서술형 TIP]

자동차의 구심 가속도의 크기는 동일하다는 것을 이용한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 구심 가속도의 크기가 동일하다는 것을 이용하여 옳게 구한 경우 | 100 |
| 답을 옳게 구하였으나 구심 가속도의 크기가 동일하다는 것을 이용하지 못한 경우 | 40 |

(2) 모범 답안 10 m/s

해설

자동차의 주기는 $T=\frac{2\pi r}{v}$이므로 $T=\frac{2\pi\times40}{v}=10\pi(\text{s})$이다. 자동차가 50 m의 원형 도로를 돌 때 속력의 크기를 $v$라고 하면 $10\pi=\frac{2\pi\times50}{v}$에서 $v=10\text{ m/s}$이다.

[서술형 TIP]

자동차의 주기는 일정하게 유지된다는 것을 이용한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 자동차의 주기가 일정한 것을 이용하여 주기를 옳게 구한 경우 | 100 |
| 자동차의 주기가 일정한 것을 이용하였으나 주기를 옳게 구하지 못한 경우 | 40 |

## 03 케플러 법칙과 중력의 작용

### 탐구 기출 문제 | p.35 |

01 ② 02 ③

**01** ㄷ. 항성 주위를 행성이 돌 때 행성의 공전 주기의 제곱은 행성의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. B의 긴반지름이 A의 긴반지름의 4 배이므로 B의 긴반지름의 세제곱은 A의 긴반지름의 세제곱의 64 배이고, 64는 8의 제곱이므로 B의 공전 주기는 A의 공전 주기의 8 배이다.

오답 피하기

ㄱ. 항성 주위를 도는 행성은 항성을 한 초점으로 하여 타원 운동을 한다.

ㄴ. B행성의 긴반지름이 A의 긴반지름의 4 배이므로 B의 긴반지름의 세제곱은 A의 긴반지름의 세제곱의 64 배이다.

**02** ㄱ. 표를 보면 각 행성의 긴반지름의 세제곱은 공전 주기의 제곱에 비례한다. 따라서 각 행성은 케플러 제3법칙이 모두 성립한다.

ㄴ. 표를 보면 행성의 긴반지름이 커질수록 공전 주기가 길어짐을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄷ. 행성의 긴반지름이 2 배가 되면 행성의 긴반지름의 세제곱은 8배가 된다. 긴반지름의 세제곱은 공전 주기의 제곱에 비례하므로 행성의 긴반지름이 2 배가 되면 공전 주기는 $2\sqrt{2}$ 배가 된다.

### 세미나 기출 문제 | p.37 |

01 ③ 02 ③

**01** 중력의 크기는 $F=G\frac{Mm}{r^2}$이고, 인공위성 A, B의 질량이 같으므로 인공위성에 작용하는 중력은 지구로부터의 거리의 제곱에 반비례한다. A, B의 지구로부터 거리의 비는 2 : 1이므로 A와 B가 지구로부터 받는 중력의 크기의 비는 $F_A : F_B=\frac{1}{2^2} : \frac{1}{1^2}=1 : 4$이다.

**02** ㄷ. 케플러 제3법칙에 따라 공전 주기 $T$와 궤도 반지름 $r$의 관계는 $T^2 \propto r^3$이다. A와 B의 궤도 반지름이 각각 $r_A$, $r_B$이면 $r_A : r_B=2 : 1$이므로 A와 B의 주기를 각각 $T_A$, $T_B$라고 하면 $\frac{T_A^2}{2^3}=\frac{T_B^2}{1^3}$이 성립한다. 따라서 $T_A=2\sqrt{2}T_B$에서 A의 주기는 B의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

오답 피하기

ㄱ. 두 인공위성의 질량이 같으므로 가속도의 크기는 인공위성에 작용하는 중력에 비례한다. B에 작용하는 중력이 A의 4 배이므로 가속도의 크기도 B가 A의 4 배이다.

ㄴ. $G\frac{Mm}{r^2}=\frac{mv^2}{r}$에서 인공위성의 속력은 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$이다. 따라서 $r$가 2 배인 A의 속력이 B의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배이다.

### 내신 기초 문제 | p.38~39 |

01 ② 02 ② 03 ① 04 ⑤ 05 ①
06 (1) ⑤ (2) ① 07 ② 08 ④

**01** A. 행성의 공전 궤도는 타원 모양이다.

B. 태양은 행성이 공전하는 타원의 초점에 위치한다.

오답 피하기

행성이 포물선이나 쌍곡선 궤도를 따라 운동하면 한 번 지나간 지점으로 다시 되돌아올 수 없다. 따라서 포물선이나 쌍곡선은 행성과 같이 주기적인 운동을 하는 천체의 공전 궤도 모양이 될 수 없다.

**02** ㄷ. 케플러 제2법칙에 의해 행성과 태양을 연결한 선분이 같은 시간 동안 근일점에서 쓸고 지나간 면적과 원일점에서 쓸고 지나간 면적은 같다.

오답 피하기

ㄱ. 케플러 제1법칙에 의해 모든 행성은 태양 주위를 타원 궤도로 운동한다.

ㄴ. 케플러 제2법칙에 의해 행성은 근일점에서는 속력이 빠르고, 원일점에서는 속력이 느리다. 따라서 근일점과 원일점에서의 속력은 다르다.

**03** ① A는 행성과 태양이 가장 가까운 곳이므로 근일점이다.

오답 피하기

②, ③ $a$는 긴반지름이고, $b$는 짧은반지름이다.

④ 행성은 타원 궤도를 따라 운동한다.

⑤ 태양은 타원 궤도의 한 초점에 고정되어 위치하며, 행성의 위치에 따라 행성과 태양 사이의 거리가 달라지므로 행성은 가속 운동을 한다.

**04** 행성이 태양 주위에서 타원 궤도를 돌 때 케플러 제3법칙에 의해 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 행성의 긴반지름이 4 배이면 행성의 긴반지름의 세제곱은 64 배이고, 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 64 배가 된다. 따라서 B의 공전 주기는 A의 8 배가 된다.

**05** ㄱ. 중력은 질량을 가진 물체 사이에 작용하는 힘으로 인력이 작용한다.

오답 피하기

ㄴ. 지구와 물체 사이에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{Mm}{r^2}$이다. 즉, 중력의 크기는 지구의 질량과 물체의 질량의 곱에 비례하고, 지구와 물체 사이의 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄷ. 중력에 의한 물체의 가속도의 크기는 $\frac{GM}{r^2}$이다. 즉, 중력의 크기가 지표면에서 멀어질수록 지구 중심으로부터의 거리의 제곱에 반비례하여 감소하므로 중력에 의한 물체의 가속도는 거리가 멀어질수록 작아진다.

**06** (1) 공전 주기의 제곱은 반지름의 세제곱에 비례한다. 궤도 반지름이 4 배이면, 공전 주기는 8 배가 된다.

(2) $\frac{1}{2}mv^2=G\frac{Mm}{r}$에서 $v=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다. 즉, 반지름이 4 배가 되면 속력은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

**07** ㄴ. 행성의 탈출 속도는 $v_{탈출}=\sqrt{\frac{2GM}{r}}$이다. 행성의 질량이 같을 때 행성의 반지름의 제곱근에 반비례하므로 행성의 반지름이 커지면 물체의 탈출 속도는 작아진다.

오답 피하기

ㄱ. 행성마다 행성의 질량과 반지름이 모두 다르므로 물체의 탈출 속도는 행성마다 다르다.

ㄷ. 물체의 탈출 속도는 행성의 질량의 제곱근에 비례하므로 행성의 질량이 클수록 물체의 탈출 속도가 커진다.

**08** ㄱ. 공기 분자들의 속력 분포는 공기 분자의 질량이 작을수록 넓게 분포하고, 대기의 온도가 높을수록 분자들의 속력은 빨라진다.

ㄷ. 물체의 지구형 행성은 탈출 속도가 작아서 질량이 작은 기체는 속도가 빨라 쉽게 탈출 속도에 도달한다. 따라서 지구형 행성에는 질량이 작아서 속도가 빠른 수소나 헬륨과 같은 기체는 거의 존재하지 않는다.

오답 피하기

ㄴ. 수소나 헬륨은 질소나 산소에 비해 질량이 작기 때문에 속력이 빠르다.

## 내신 실전 문제

| p.40~43 |

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

**01** ㄱ. 케플러 제1법칙에 의해 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 돈다.

ㄷ. 케플러 제3법칙에 의해 긴반지름의 세제곱은 공전 주기의 제곱에 비례하므로 태양에서 먼 곳에 있는 행성일수록 공전 주기가 길다.

오답 피하기

ㄴ. 케플러 제2법칙에 의해 근일점에서는 속도가 빠르고 원일점에서는 속도가 느리므로 근일점 부근에서는 같은 시간 동안 도는 각도가 크고, 원일점에서는 같은 시간 동안 도는 각도가 작다.

**02** ㄱ. p에서의 가속도의 크기는 $a=\frac{GM}{r^2}$이므로 항성의 질량과 항성과 행성 사이의 거리에만 관계된다. 따라서 p에서 A와 B의 가속도의 크기는 같다.

ㄴ. 행성의 긴반지름의 비가 1 : 2이므로 긴반지름을 세제곱하면 1 : 8이 된다. 공전 주기의 제곱이 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 B의 공전 주기는 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

오답 피하기

ㄷ. 케플러 제2법칙에 의해 A의 근일점인 p에서의 속력이 원일점인 q에서의 속력보다 빠르다.

**03** ㄱ. 케플러 법칙은 태양과 태양 주위를 도는 행성 사이의 운동을 나타내는 데 적용되지만, 행성 주위를 도는 인공위성의 운동에도 적용할 수 있다.

ㄴ. 행성이 태양 주위를 도는 것은 태양과 행성 사이에 끌어당기는 힘(인력)이 작용하기 때문이다.

ㄷ. 뉴턴은 물체를 수평으로 던지면 물체에 중력이 작용하기 때문에 포물선 운동을 하며 떨어지는데 물체를 아주 빠르게 던지면 지구가 둥글기 때문에 물체가 지구 둘레를 계속 돌 수 있다고 생각하였다.

**04** ④ 태양 주위의 행성의 공전 주기와 긴반지름의 관계 그림을 보면 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례하는 직선 형태임을 알 수 있다.

오답 피하기

① 자료는 공전 주기의 제곱과 궤도 반지름의 세제곱의 관계를 로그 눈금으로 나타낸 것이다. 따라서 로그 그래프에서 직선의 기울기는 일정하지만 거리의 세제곱을 비교할 때

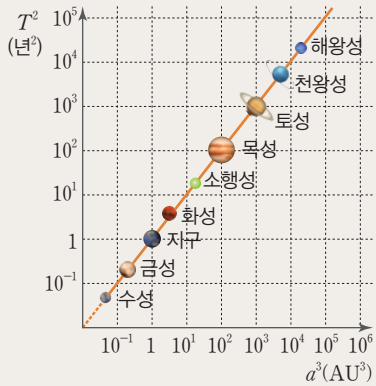
행성마다 다르므로 공전 주기도 행성마다 다르다.

② 정비례는 공전 주기와 긴반지름의 기울기가 1일 때이므로 공전 주기는 긴반지름에 정비례하지 않는다.

③ 공전 주기 $T$와 긴반지름 $a$는 $T^2 \propto a^3$의 관계이다.

⑤ 공전 주기의 제곱과 긴반지름의 세제곱 사이에 비례 관계라는 규칙성이 있다.

**문제 속 자료**




- 공전 주기의 제곱($T^2$)과 긴반지름의 세제곱($a^3$) 사이에는 비례 관계이므로 그래프가 직선으로 나타남을 알 수 있다.
- 지구형 행성(수성, 금성, 지구, 화성)보다 목성형 행성(목성, 토성, 천왕성, 해왕성)의 공전 주기가 더 길고, 반지름도 크다.

**05** ㄴ. 모든 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다.

ㄷ. 케플러 제2법칙에 의해 행성과 태양을 연결한 선분이 같은 시간 동안 쓸고 지나간 면적은 같다. 따라서 $S_1$과 $S_2$는 같다.

**오답 피하기**

ㄱ. 케플러 제2법칙에 의해 행성과 태양을 연결한 선분이 같은 시간 쓸고 지나간 면적은 같다. 따라서 행성의 운동 속력은 태양에 가까울수록 빠르고 멀수록 느리므로 태양에 가까운 A에서의 속력이 B에서의 속력보다 빠르다.

**06** ㄱ. 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 긴반지름이 긴 B의 공전 주기가 A보다 길다.

**오답 피하기**

ㄴ. P에서의 속력이 빠를수록 지구로부터 더 멀리까지 멀어진다. 따라서 P에서의 속력은 B가 A보다 빠르다.

ㄷ. 케플러 제2법칙에 의해 지구에 가까울수록 B의 속력이 빠르다. 따라서 B의 속력은 P에서가 Q에서보다 빠르다.

**07** ㄱ. 태양 주위를 도는 행성이나 혜성 등은 태양의 중력을 받아 태양 주위를 타원 궤도로 운동하고 있다.

ㄷ. 혜성의 공전 주기가 76년이므로 근일점에서 원일점까지 이동하는 데는 $76년 \times \frac{1}{2} = 38년$이 걸린다. 혜성이 1988년에 근일점인 A를 통과했으므로 1988년+38년=2026년에 원일점인 C를 통과한다.

**오답 피하기**

ㄴ. 근일점에서 원일점으로 이동하는 동안 속력이 점점 느려진다. 따라서 B에서의 속력은 C에서 속력보다 빠르다.

**08** 색칠한 공전 궤도 면적을 지나는 데 걸리는 시간을 $T$라고 하면, A는 $6T$일 때 1바퀴를 돌고, B는 $48T$일 때 1바퀴를 돈다. 따라서 A, B의 공전 주기의 비는 1 : 8이다.

**09** 지구의 질량을 $M$이라 하면

$F_A = G\frac{Mm}{r^2}$, $F_B = G\frac{M(2m)}{(2r)^2} = G\frac{Mm}{2r^2}$이다. 따라서 $F_A : F_B = 2 : 1$이다.

**10** ㄱ. 두 인공위성의 질량이 같으므로 중력의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 A가 받는 중력이 B가 받는 중력의 4 배이다.

**오답 피하기**

ㄴ. 두 인공위성의 질량이 같고, 가속도의 크기는 중력의 크기에 비례한다. 따라서 A의 가속도가 B의 4 배이다.

ㄷ. 공전 주기의 제곱은 궤도 반지름의 세제곱에 비례한다. A와 B의 궤도 반지름이 다르므로 A와 B의 공전 주기는 다르다.

**11** ㄱ. 위성이 행성으로부터 받는 중력의 크기는 $G\frac{Mm}{R^2}$이다. (나)는 (가)에 비해 질량의 곱과 반지름의 제곱의 값이 각각 4 배이므로 (가)와 (나)에서 위성이 행성으로부터 받는 중력의 크기는 같다.

**오답 피하기**

ㄴ. 위성의 구심 가속도의 크기는 (가)는 $G\frac{M}{R^2}$이고, (나)는 $G\frac{M}{2R^2}$이므로 (가)의 위성의 구심 가속도 크기는 (나)의 위성의 2 배이다.

ㄷ. (가)와 (나)를 비교하면 (가)의 위성이 가속도의 크기가 크고, 반지름도 작으므로 (나)에 비해 공전 주기가 짧다.

**12** ㄱ. 중력에 의한 위치 에너지를 무한히 먼 지점에서 0으로 정하면 행성의 중력장에 속박된 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 0보다 작다.

**오답 피하기**

ㄴ. 인공위성의 중력에 의한 위치 에너지는 지구 중심으로부터의 거리에 반비례하므로 지면으로부터의 높이에 비례하지 않는다.

ㄷ. 물체의 역학적 에너지가 0보다 작으면 행성으로부터 물체가 탈출할 수 없고, 역학적 에너지가 0보다 커야 물체가 행성으로부터 탈출할 수 있다. 역학적 에너지가 0일 때의 속도를 탈출 속도라고 한다.

**13** ㄱ. 물체의 질량을 $m$이라고 하면, 중력과 구심력이 같아야 한다. $m\frac{v^2}{R}=\frac{GMm}{R^2}$에서 정리하면 $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$이다.

ㄷ. 물체가 원 궤도를 돌 때 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{2R}$이고, 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{R}$이다. 따라서 운동 에너지의 크기는 위치 에너지의 크기의 $\frac{1}{2}$배이다.

오답 피하기

ㄴ. 행성을 벗어나기 위한 최소 속도(탈출 속도)는 $v_{탈출}=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$이다. 단순히 원 궤도 속도보다 크다고 해서 탈출하는 것이 아니라 $\sqrt{2}$ 배 이상이 되어야 행성을 벗어날 수 있다.

**14** ㄱ. 대기 원소는 온도와 질량에 관계된다. 온도는 태양 복사 에너지와 질량은 행성의 탈출 속도와 관계가 깊다.

ㄴ. 탈출 속도가 작으면 질량이 작은 기체는 속도가 빨라서 쉽게 탈출 속도에 도달할 수 있다. 따라서 탈출 속도가 작은 행성의 대기에는 질량이 작은 기체가 존재하기 어렵다.

오답 피하기

ㄷ. 행성의 표면 온도가 높으면 가벼운 기체가 쉽게 탈출하기 때문에 태양에 가까운 행성에는 가벼운 기체가 존재하기 어렵다. 무거운 기체는 속력이 상대적으로 느리기 때문에 태양에 가까운 행성에는 무거운 기체가 주로 존재하게 된다.

**15** (1) 모범 답안 근일점

〔서술형 TIP〕

타원 궤도에서는 근일점에서 속력이 가장 빠르고, 원일점에서 속력이 가장 느리다.

(2) 모범 답안 행성에 작용하는 만유인력은 만유인력 상수 $G$, 행성과 태양 사이의 거리를 $R$, 태양의 질량을 $M$, 행성의 질량을 $m$이라고 하면 $F=G\frac{Mm}{R^2}$이다. 따라서 만유인력은 거리의 제곱에 반비례하므로 만유인력의 크기는 원일점보다 근일점에서 크다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 근일점과 원일점에서 만유인력의 크기를 수식을 통하여 옳게 비교한 경우 | 100 |
| 만유인력의 크기가 근일점이 원일점보다 크다고만 설명한 경우 | 50 |

**16** 모범 답안 인공위성의 속력 $v=\frac{2\pi r}{T}=\sqrt{\frac{GM}{r}}$에서 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$이다. 따라서 인공위성의 궤도 반지름 $r$가 커지면 인공위성의 주기 $T$도 증가한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 인공위성의 궤도 반지름이 커질 때 주기가 어떻게 달라지는지 수식을 이용하여 옳게 설명한 경우 | 100 |
| 인공위성의 궤도 반지름 $r$가 커지면 인공위성의 주기 $T$도 증가한다고만 설명한 경우 | 50 |

## 04 일반 상대론

### 내신 기초 문제 | p.48~49 |

01 ④ 02 ③ 03 ⑤ 04 ③ 05 ① 06 ⑤
07 ⑤ 08 ④ 09 ⑤

**01** ㄴ. 관성력은 가속 좌표계의 가속도의 방향과 반대 방향으로 작용한다.

ㄷ. 원심력은 원운동하는 좌표계에서 관찰되는 가상의 힘으로 관성력이라고 할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 정지해 있거나 등속도 운동하는 좌표계를 관성 좌표계라고 한다.

**02** 관성 질량은 물체에 작용하는 알짜힘과 물체의 가속도의 비로 측정하는 질량이고, 등가 원리는 중력 질량과 관성 질량이 동등함을 설명해 준다.

**03** 중력에 의한 시공간의 휘어짐과 빛의 중력에 의한 휘어짐, 중력에 의한 시간 지연 현상은 모두 아인슈타인의 일반 상대론으로 설명할 수 있다.

**04** ㄱ. (가)의 지구 표면에 정지해 있는 우주선 안에서 빛을 비추면 빛이 중력에 의해 중력 방향으로 약간 휘어진다.

ㄴ. (나)의 중력이 작용하지 않는 우주 공간에서 가속도 $g$로 위로 등가속도 운동을 하는 우주선 안에서 빛을 비추면 가속도의 방향과 반대 방향인 관성력의 방향으로 빛이 약간 휘어진다.

오답 피하기

ㄷ. 우주선 안에 있는 소연이가 볼 때 빛의 휘어진 정도가

(가), (나)에서가 같으므로 같은 운동으로 인식하게 된다. 따라서 밖을 볼 수 없다면 소연이는 (가)와 (나)를 구별할 수 없다.

**문제 속 자료**




(가) (나)

- (가): 지구 표면에 정지해 있는 우주선 안에서 빛을 비추면 빛이 중력에 의해 중력 방향으로 약간 휜다.
- (나): 우주 공간에서 가속도 $g$로 위로 등가속도 운동을 하는 경우 가속도의 방향과 반대 방향인 관성력의 방향으로 빛이 약간 휜다.
- 등가 원리: 가속 좌표계에서 나타나는 관성력을 근본적으로 중력과 구별할 수 없어 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상을 구분할 수 없다.

**05** ㄱ. 우주 정거장을 회전시키면 관성력에 의해 인공 중력이 발생한다.

**오답 피하기**

ㄴ. 인공 중력은 우주 정거장의 중심 반대 방향으로 작용한다. A에서의 인공 중력 방향은 위 방향이고, B에서의 인공 중력 방향은 아래 방향이다. 따라서 A와 B에서 인공 중력의 방향은 서로 반대 방향이다.

ㄷ. 인공 중력은 관성력인 원심력에 의해 발생하므로 인공 중력의 크기는 중심으로부터의 거리에 따라 달라지는 값이다. 따라서 위치에 따라 인공 중력의 크기는 다르다.

**06** ㄱ. 회전하는 좌표계는 가속 좌표계이며, 원판 위에는 관성력(원심력)이 작용한다.

ㄴ. 두 시계가 원판에서 함께 회전하므로 각속도($\omega$)는 일정하다. 원판의 구심력은 $mr\omega^2$이므로 시계에 작용하는 관성력도 $mr\omega^2$이다. 따라서 관성력은 거리에 비례하므로 시계 2가 시계 1보다 더 큰 관성력을 받는다.

ㄷ. 등가 원리에 의해 '관성력=중력'이므로 가장자리에 있는 시계에 더 큰 중력이 작용한다. 따라서 가장자리에 있는 시계의 시간이 더 느리게 흐른다.

**07** ㄱ. 그림은 중력에 의해 빛이 휘어져서 하나의 천체가 여러 개로 보이는 모습으로, 중력 렌즈 효과로 관찰되는 현상이다.

ㄴ. 중력 렌즈 효과에 의해 빛이 휘어지는 현상은 일반 상대론의 증거가 된다.

ㄷ. 하나의 천체에서 나온 빛이 은하단 주위의 휘어진 시공간을 따라 이동하기 때문에 이러한 현상이 관찰된다.

**08** • 미연: 블랙홀은 중력이 매우 큰 별로, 블랙홀 주변은 시공간의 휘어짐이 매우 심해 빛조차도 빠져나오지 못한다.

• 민수: 중력은 질량이 클수록 커진다. 따라서 중력이 큰 별 근처에서는 시공간의 휘어짐이 크다.

**오답 피하기**

• 상호: 태양 주위는 태양의 질량에 의해 시공간이 휘어지고, 이로 인하여 태양 근처를 지나는 빛도 휘어지면서 진행한다.

**09** ㄱ. 블랙홀은 중력이 매우 커서 블랙홀에 접근할수록 주변의 시공간의 휘어짐이 매우 크다.

ㄴ. 블랙홀 주변을 지나는 빛은 시공간의 휘어짐으로 인해 블랙홀에서 빠져나오지 못한다.

ㄷ. 블랙홀에 접근할수록 중력이 커져서 시공간이 크게 휘어진다. 시공간이 많이 휘어질수록 시간이 점점 느리게 흘러간다.

## 내신 실전 문제

| p.50~53 |

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

**01** ㄱ. 버스 천장에 연결된 실에 매달린 물체가 일정하게 기울어져 있으므로 버스는 가속도 운동을 하고 있다.

**오답 피하기**

ㄴ. 버스 천장에 연결된 실에 매달린 물체가 왼쪽으로 기울어져 있으므로 버스의 가속도 방향은 오른쪽이다.

ㄷ. 버스 천장에 연결된 실에 매달린 물체가 기울어진 채로 정지해 있으므로 A의 관성계에서 물체는 가속도 운동을 하는 것으로 보이지 않는다.

**02** ㄱ. $F=ma$이므로 같은 힘을 가했을 때 질량이 클수록 가속도는 작다. 여기서의 질량은 관성 질량이다.

ㄷ. 관성 질량과 중력 질량이 항상 같은 까닭은 등가 원리로 설명할 수 있다.

**오답 피하기**

ㄴ. 중력의 크기는 중력 질량에 비례하므로 중력 질량이 큰 물체일수록 중력이 크게 작용한다.

**03** • 광수: A가 지구에 더 가까우므로 더 큰 중력을 받는다. 중력의 크기와 관성력의 크기가 같으므로 관성력의 크기는 A에서가 B에서보다 크다.

• 소연: 인공위성 내부에서는 중력과 관성력의 크기가 같고 방향이 반대이므로 합력이 0이 되어 무중력 상태가 된다.

오답 피하기

• 세훈: 중력에 의한 시간 지연은 중력이 클수록 크므로 지구에 더 가까운 A에서가 B에서보다 크다.

**04** ㄱ. (가)는 중력이 아래 방향으로, (나)는 관성력이 아래 방향으로 작용한다. 따라서 철수의 몸무게는 (가)와 (나) 모두 $mg$로 측정된다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 몸무게가 $mg$로 같다. 이는 중력에 의한 현상과 관성력에 의한 현상은 구별할 수 없다는 등가 원리로 설명할 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. (가)와 (나)에서 몸무게가 같으므로 철수는 중력 질량과 관성 질량을 구별할 수 없다. 따라서 (가)와 (나) 상황을 구별할 수 없다.

**05** ㄴ. 질량이 큰 천체는 중력이 크므로 중력에 의해 주위의 시공간은 휘어져 있다.

ㄷ. 시공간의 휘어진 정도에 따라 시간이 흐르는 정도가 달라진다.

오답 피하기

ㄱ. 중력이 작용하면 시공간이 휘어진다. 중력이 클수록 시공간이 많이 휘어진다. 빛은 시공간을 따라 이동하므로 시공간이 휘어지면 빛의 진행 방향도 휘어진다.

**06** ㄷ. 우주선의 가속도의 크기가 클수록 관성력의 크기도 커진다. 관성력이 커지면 시공간의 휘어짐도 커진다. 시공간의 휘어짐이 커질수록 빛도 더 많이 휘어진다.

오답 피하기

ㄱ. 무중력 공간에서 우주선 내부에서 쏜 빛은 관성력의 방향으로 휘어진다. 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대이다. 따라서 우주선의 가속도의 방향은 A 방향이다.

ㄴ. 우주선에 탄 광우는 관성 질량과 중력 질량을 구별할 수 없으므로 관성력 때문인지, 중력 때문인지 구별할 수 없다.

**07** ㄱ. (가)의 우주선은 정지 상태이다. 물체가 정지해 있으면 작용하는 힘들의 합인 알짜힘은 0이다. 따라서 (가)의 우주선에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄴ. (나)에서 우주선이 오른쪽으로 움직이므로 물체는 왼쪽으로 관성력을 받는다. 우주선 안에서 관찰할 때 물체에 작용하는 관성력의 크기는 질량과 가속도의 곱이므로 10 N이다.

오답 피하기

ㄷ. (나)의 우주선 안에서 관찰할 때, 물체의 가속도는 관성력의 방향과 같으므로 왼쪽으로 5 $m/s^2$이다.

**08** ㄱ. 빛이 천체에서 멀리 떨어진 곳을 지날 때는 직진하지만, 천체에 가까운 곳을 지날 때는 중력에 의해 천체 쪽으로 빛이 휘어진다. 천체에 가까울수록 중력이 커지기 때문에 시공간의 휘어짐도 커진다.

ㄴ. 중력이 큰 곳은 시공간이 많이 휘고, 중력이 작은 곳은 시공간이 조금 휜다. 천체에 가까운 곳은 중력이 크고, 먼 곳은 중력이 작기 때문에 천체 주위의 시공간이 빛의 경로를 굴절시켜 렌즈와 같은 역할을 한다. 이를 중력 렌즈 현상이라고 한다.

ㄷ. 중력에 의한 시공간의 휘어짐은 일반 상대론으로 설명할 수 있다.

**09** ㄱ. 은하단 주변은 별의 중력에 의해 시공간이 휘어진다. 빛은 휘어진 시공간을 따라 이동하므로 빛이 휘어져서 나타나는 현상이다.

ㄴ. 은하단 주변을 지나는 빛의 휘어짐은 중력 렌즈 효과로 설명할 수 있다.

ㄷ. 시공간의 휘어짐 현상은 일반 상대론으로 설명할 수 있다.

**10** ㄱ. 그림은 태양의 중력 때문에 주위의 시공간이 휘어져 있어서 태양 주변을 지나는 별빛이 태양 쪽으로 휘어져 나타나는 현상을 나타낸 것이다.

오답 피하기

ㄴ. 태양보다 질량이 작은 천체는 중력이 작으므로 시공간의 휘어짐도 작아진다. 따라서 태양보다 별빛이 휘는 정도도 작아진다.

ㄷ. 태양보다 질량이 큰 천체는 태양보다 중력이 더 크므로 시공간의 휘어짐이 더 커진다. 따라서 태양보다 질량이 큰 천체를 지날 때 별빛이 휘는 정도가 더 커진다.

**11** ㄱ. 블랙홀에 가까울수록 중력이 더 크게 작용한다.

ㄴ. 블랙홀에 가까울수록 중력이 더 커지므로 시공간도 더 많이 휘어진다.

ㄷ. 블랙홀에 가까울수록 시공간의 휘어짐이 심해지므로 시간이 점점 느리게 흘러간다.

**12** ㄱ. 블랙홀은 중력이 매우 큰 천체이므로 블랙홀 주변의 시공간은 극도로 휘어져 있다.

ㄷ. 블랙홀 주변에서 빛이 휘어져 진행하는 중력 렌즈 효과가 나타날 수 있다.

**오답 피하기**

ㄴ. 블랙홀은 중력이 매우 큰 천체이므로 시공간이 많이 휘어진다. 빛도 시공간을 이동하므로 블랙홀 주변을 지날 때 블랙홀의 영향을 받아 직진하지 못하고 휘어져 진행한다.

**13** ㄱ. 블랙홀의 시공간의 휘어짐과 시간 지연 현상은 일반 상대론으로 설명할 수 있다.

ㄴ. 블랙홀에 가까울수록 중력이 더 커지므로 시공간도 더 많이 휘어져서 빛조차도 빠져 나올 수 없다.

ㄷ. 위성 항법 장치인 GPS는 일반 상대론을 이용하는 대표적인 사례이다.

**14** ㄱ. (가)는 중력이 작용하지 않는 공간에 정지해 있으므로 중력과 관성력이 작용하지 않는다. 이 우주선 안에서 빛은 직진한다.

ㄴ, ㄷ. (나)는 관성력에 의해 빛의 경로가 휘어지는 현상이고, (다)는 중력에 의해 빛의 경로가 휘어지는 현상이다. (나)와 (다)에서 빛의 경로가 같으므로 우주선 밖을 볼 수 없는 우주선 안의 우주인은 자기가 받는 힘이 중력인지 관성력인지 구분할 수 없다.

**15** (1) **모범 답안** 블랙홀, 중성자 별, 백색 왜성

**〔서술형 TIP〕**

중력이 클수록 휘어짐이 크므로 시공간의 휘어짐이 큰 순서로 나타내면 블랙홀, 중성자 별, 백색 왜성이다.

(2) **모범 답안** 블랙홀, 중성자 별, 백색 왜성, 까닭: 천체의 중력이 클수록 탈출 속도도 크다. 중력이 큰 순서대로 나타내면 블랙홀, 중성자 별, 백색 왜성이다.

| 채점 기준 | | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | 탈출 속도가 큰 순서와 까닭을 모두 옳게 나타낸 경우 | 100 |
| (2) | 탈출 속도가 큰 순서와 까닭 중 하나만 옳게 나타낸 경우 | 50 |

**16** **모범 답안** 일반 상대론에 의하면 중력이 클수록 시간이 느려진다. 인공위성의 궤도에서 중력은 지표면에서보다 작으므로 인공위성의 시간은 지표면에서보다 빠르게 간다. 따라서 인공위성에서의 시간이 지표면에서의 시간보다 빠르게 가는 것을 보정해 주어야 한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 중력에 따른 시간이 흐름 차이와 위성 시간 보정의 필요성을 모두 옳게 설명한 경우 | 100 |
| 시간 흐름의 차이와 시간 보정의 필요성을 설명했으나, 중력과 일반 상대론의 연결이 불완전한 경우 | 50 |

## 단원 마무리 문제 | p.56~59 |

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

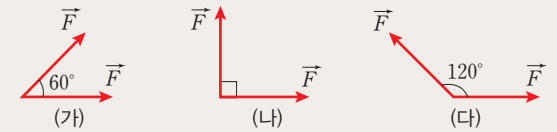
**01** ㄱ. 두 힘이 이루는 각이 작을수록 알짜힘의 크기가 커진다. 따라서 힘의 합력이 가장 큰 것은 (가)이다.

ㄷ. (다)의 합력의 크기는 $F$이다.

**오답 피하기**

ㄴ. 합력의 크기는 (가)>(나)>(다) 순으로 크다.

**문제 속 자료**




합력의 크기는 평행사변형법을 이용하여 구할 수 있다.

- (가)의 합력의 크기: 한 변의 길이가 $F$인 정삼각형 2 개로 나뉠 수 있는 마름모 모양이다. 이때 합력을 나타내는 대각선의 길이는 정삼각형 높이의 2 배이므로 $\sqrt{3}F$이다.
- (나)의 합력의 크기: 한 변의 길이가 $F$인 정사각형의 대각선 길이이므로 $\sqrt{2}F$이다.
- (다)의 합력의 크기: 한 변의 길이가 $F$인 정삼각형 2 개의 모양이다. 따라서 합력의 크기는 $F$이다.

**02** **모범 답안** $\frac{20\sqrt{3}}{3}$ N

**해설**

빗면에서 물체에 작용하는 중력의 크기를 분해하면 A에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘은 $mg\sin\theta = 4 \times 10 \times \sin 30^\circ = 20$(N)이고, B에 빗면과 나란한 방향으로 작용하는 힘은 $mg\sin\theta = \sqrt{2} \times 10 \times \sin 45^\circ = 10$(N)이다. 두 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 빗면과 나란한 방향의 힘 $F$의 성분이 20 N − 10 N = 10 N이어야 하므로 $F\cos 30^\circ = 10$ N인 $F$는 $\frac{20\sqrt{3}}{3}$ N이다.

**〔서술형 TIP〕**

물체가 정지해 있으면 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.

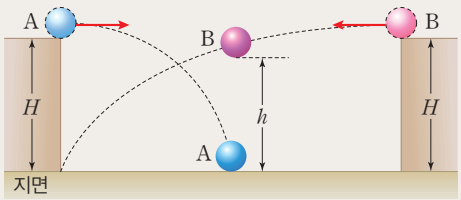
| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 물체에 작용하는 알짜힘이 0이라는 것을 이해하고 힘 $F$의 크기를 옳게 구한 경우 | 100 |
| 물체에 작용하는 알짜힘이 0이라는 것을 이해하였으나 힘 $F$의 크기를 옳게 구하지 못한 경우 | 40 |

**03** 물체가 수평면에 도달하는 시간은 $h = \frac{1}{2}gt^2$에서 $h = 10$ m

이므로 $t=\sqrt{2}$ 초이다. 물체가 P까지 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 초이고, 물체의 수평 방향 속력은 $v_x=20$ m/s로 일정하다. 물체의 연직 방향의 속력은 $v_y=gt$이므로 $5\sqrt{2}$ m/s이다. 따라서 P에서 물체의 속력은 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{20^2+(5\sqrt{2})^2}=15\sqrt{2}(\text{m/s})$이다.

**04** 수평으로 던진 물체의 운동에서 연직 높이가 같으므로 A와 B의 낙하 시간은 같다. 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 수평 도달 거리는 처음 속도의 크기에 비례한다. 따라서 처음 속도의 크기는 B가 A의 2 배이다. 처음 속도의 크기가 2 배일 때 수평 방향의 이동 거리가 같으면 걸린 시간이 $\frac{1}{2}$ 배이다. $h=\frac{1}{2}gt^2$에서 $h\propto t^2$이므로 연직 방향의 이동 거리는 $\frac{1}{4}$ 배가 된다. 즉, A가 수평 도달 거리 $R$만큼 이동하는 동안 $H$만큼 낙하하지만 B는 $\frac{1}{4}H$만큼 낙하하므로 $h=\frac{3}{4}H$이다.

**문제 속 자료**




- 수평으로 던진 물체의 운동은 수평 방향으로는 등속도 운동, 연직 방향으로는 자유 낙하 운동이 동시에 이루어지는 운동이므로 수평 방향의 물리량을 구할 때는 등속도 운동 식을, 연직 방향의 물리량을 구할 때는 자유 낙하 운동 식을 적용한다.
- 지면 도달 시간은 연직 방향의 높이에 의해 결정되는 물리량이므로 수평으로 던진 물체의 지면 도달 시간은 자유 낙하 운동의 지면 도달 시간과 같다.
- 수평 도달 거리는 수평 방향의 운동에 의해 결정되는 물리량이므로 수평 방향의 속력에 의해 결정된다.

**05** 공이 출발하는 순간의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times0.1\times4^2=0.8(\text{J})$이다. 최고점에 도달하는 순간 공의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times0.1\times(2\sqrt{3})^2=0.6(\text{J})$이다. 공이 포물선 운동 하는 동안 역학적 에너지는 일정하므로, 최고점에서 물체의 위치 에너지는 0.8 J − 0.6 J = 0.2 J이다.

**오답 피하기**

② 공은 최고점에서 연직 방향의 속력이 0이지만, 수평 방향의 속력은 $v_0\cos30^\circ=4\times\frac{\sqrt{3}}{2}=2\sqrt{3}(\text{m/s})$이다.

**06** (1) **모범 답안** 5 m

**해설**

A가 최고점까지 도달하는 데 걸리는 시간은 $t=\frac{v_0\sin\theta}{g}=\frac{10\times\sin45^\circ}{10}=\frac{\sqrt{2}}{2}(\text{s})$이고, A의 최고점에서 수평면에 도달하는 순간 수평 방향 이동 거리는 $v_xt=5\sqrt{2}\times\frac{\sqrt{2}}{2}=5(\text{m})$이다. 이는 B가 수평 방향으로 이동한 전체 거리와 같으므로 B는 수평 방향으로 5 m 이동하였다.

**[서술형 TIP]**

비스듬히 위로 던진 운동에서 물체는 수평 방향으로 등속도 운동을 한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| A의 운동 시간을 구하여 B의 수평 방향 이동 거리를 옳게 구한 경우 | 100 |
| A의 운동 시간을 구하였지만, B의 수평 방향 이동 거리를 옳게 구하지 못한 경우 | 40 |

(2) **모범 답안** $\frac{5\sqrt{10}}{2}$ m/s

**해설**

B는 $v$의 속도로 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ 초 동안 5 m 이동하였으므로 $v_x\times\frac{\sqrt{2}}{2}=5$에서 $v_x=5\sqrt{2}$ m/s이다. 또한 B가 최고점에 도달하는 데 걸린 시간은 $\frac{\sqrt{2}}{4}$ 초이고, 최고점에서 B의 연직 방향 속도는 0이므로 $0=v_y-gt$를 만족하는 $v_y=\frac{5\sqrt{2}}{2}$ m/s이다.

B의 속도의 크기는 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$이므로 $v=\sqrt{(5\sqrt{2})^2+\left(\frac{5\sqrt{2}}{2}\right)^2}=\sqrt{\frac{125}{2}}=\frac{5\sqrt{10}}{2}(\text{m/s})$이다.

**[서술형 TIP]**

비스듬히 위로 던진 운동에서 물체의 속력은 $x$ 성분과 $y$ 성분으로 분해할 수 있다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| $v$를 $x$ 성분과 $y$ 성분으로 분해하여 답을 옳게 구한 경우 | 100 |
| $v$를 $x$ 성분과 $y$ 성분으로 분해하였으나 답을 옳게 구하지 못한 경우 | 40 |

**07** 등속 원운동하는 물체의 가속도는 $a=r\omega^2$이다. A, B의 각속도는 같고 회전 반지름의 비가 1 : 2이므로 A, B의 구심가속도의 비는 1 : 2이다.

**08** ㄱ. (가)와 (나)는 수평 방향으로는 등속도 운동을, 연직 방향으로는 등가속도 운동을 한다.

오답 피하기

ㄴ. (가)와 (나) 모두 운동하는 동안 연직 방향으로 중력만을 받는 등가속도 운동을 한다.

ㄷ. (다)에서 물체는 속력은 일정하지만 운동 방향이 변하는 운동을 한다.

**09** 모범 답안 중력의 크기 비 9 : 1, 까닭: 행성에 작용하는 중력의 크기 $F=G\frac{Mm}{r^2}$이므로 행성에 작용하는 중력의 크기 비는 $\frac{1}{r^2}$에 비례한다. 따라서 A와 B에서의 중력의 크기 비는 9 : 1이다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| A와 B에서의 중력의 크기 비를 까닭과 함께 옳게 설명한 경우 | 100 |
| A와 B에서의 중력의 크기 비만 구한 경우 | 50 |

**10** ㄱ. B의 궤도가 A의 궤도보다 크므로 긴반지름도 B가 크다.

오답 피하기

ㄴ. 행성 A와 B의 긴반지름의 세제곱의 비는 1 : 8이다. 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례하므로 B의 공전 주기는 A의 공전 주기의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

ㄷ. p는 B의 근일점이고 r는 원일점이다. 케플러 제2법칙에 의해 행성의 운동 속력은 항성에 가까운 근일점에서 빠르다.

**11** ④ 케플러 제3법칙에 따르면 공전 주기의 제곱은 긴반지름의 세제곱에 비례한다.

**12** ㄱ. 인공위성도 지구 상의 물체이므로 만유인력을 받아 운동한다. 따라서 인공위성이 지구 궤도를 벗어나기 위해서는 만유인력 법칙을 이용한다.

ㄴ. 행성이 태양의 만유인력에 의해 태양 주위를 돌 듯이 인공위성도 지구의 만유인력에 의해 지구 주위를 돈다. 따라서 인공위성의 궤도 운동은 케플러 법칙을 만족한다.

오답 피하기

ㄷ. 발사체에서 분리된 페어링은 연직 아래 방향으로 만유인력을 받으므로 포물선을 그리며 낙하한다.

**13** ② 버스가 오른쪽으로 가속되고 있으므로 물체에는 그 반대쪽인 왼쪽 방향으로 관성력이 작용한다.

오답 피하기

① 버스가 가속도 운동을 하고 있기 때문에 버스의 실에 매달린 물체가 일정한 각도를 유지하고 있다. 등속 운동이면 실에 매달린 물체는 기울어지지 않아야 한다.

③ 수평 방향 힘(관성력 또는 장력의 수평 성분)이 존재해야 기울어짐이 설명된다.

④ 물체는 원운동하는 것이 아니라 가속도 운동 속 평형 상태이다.

⑤ 장력은 중력과 관성력의 합력이므로 중력보다 크다.

**14** ② 광우는 등가 원리에 의해 빛이 휘어지는 까닭이 우주선의 관성력 때문인지 중력 때문인지 구별할 수 없다.

오답 피하기

① 무중력 공간에서 우주선이 위쪽으로 가속되므로 빛의 방향이 아래로 계속 휘어져 진행한다. 만약 무중력 공간에서 우주선이 등속 운동을 하거나 정지하면 시공간이 휘어지지 않으므로 빛은 직선으로 진행한다.

③ 우주선의 가속도가 크면 관성력도 커진다. 등가 원리에 의해 관성력 = 중력이므로 관성력이 커지면 중력에 의한 시공간의 휘어짐도 커진다. 이때 빛의 휘는 정도도 커진다.

④ 우주선이 B 방향으로 가속되면 빛은 위로 휘어져야 한다. 빛이 아래로 휘어졌으므로 우주선의 가속도의 방향은 A 방향이다.

⑤ 관성력이나 중력이 0이면 빛은 직진한다.

**15** ㄱ. 아인슈타인은 일반 상대론에서 물체의 질량이 클수록 주변 시공간이 크게 휘어진다고 하였다.

ㄴ. 천체에 가까울수록 중력에 의한 시공간의 휘어짐이 심해진다.

오답 피하기

ㄷ. 뉴턴에 의하면 빛은 중력의 영향을 받지 않고 직진한다. 따라서 시공간의 휘어짐은 뉴턴의 중력 법칙으로는 설명할 수 없다.

**16** ㄴ. 그림에서 (나)가 더 깊게 휘어졌으므로 중력에 의한 공간의 휘어짐은 (가)에서보다 (나)에서가 크다.

ㄷ. 물체의 탈출 속도는 항성의 크기가 같다면 항성의 질량이 큰 쪽(B)에서가 크다.

오답 피하기

ㄱ. 항성의 크기가 같을 때 항성의 질량이 클수록 공간의 휘어짐이 더 크므로 질량은 B가 A보다 크다.

# II 열과 에너지

## 01 열과 물질의 상태 변화와 이상 기체

### 탐구 기출 문제 | p.65 |

01 ④ 02 ③

**01** 오답 피하기

ㄱ. 열전달은 복사, 대류, 전도가 복합적으로 작용하여 일어난다.

**02** A로 감싼 경우의 온도가 더 높으므로 A로 감싼 종이컵 물의 열에너지 손실이 더 적고 B로 감싼 종이컵의 물이 더 많은 열에너지를 잃었다.

오답 피하기

ㄴ. A가 더 성능이 좋은 단열재이다.

### 탐구 기출 문제 | p.66 |

01 ③ 02 ③

**01** 오답 피하기

ㄷ. 기체의 압력이 2 배가 되면 부피는 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.

**02** 오답 피하기

ㄴ. 삼각 플라스크의 입구는 고무 마개로 막혀 있으므로 삼각 플라스크 속 기체의 부피는 일정하다.

### 세미나 기출 문제 | p.68 |

01 ③ 02 ④

**01** 오답 피하기

ㄴ. 온도가 높아졌을 때 B가 A보다 더 많이 늘어나 바깥쪽에 위치하므로 선팽창 계수는 B가 A보다 크다.

**02** 바이메탈은 온도가 높아지면 두 금속이 팽창하는 정도가 달라져 휘어지고 온도가 낮아지면 다시 원래의 모양으로 돌아간다.

오답 피하기

ㄷ. 온도 변화에 민감하게 반응하기 위해 바이메탈은 선팽창 계수 차이가 큰 두 금속을 사용하는 것이 효과적이다.

### 세미나 기출 문제 | p.69 |

01 ④ 02 ④

**01** 단열재는 두껍고 열전도도가 작은 물질을 사용하고, 열교환기에는 열을 빠르게 전달하기 위해 단면적이 넓고 열전도도가 큰 물질을 사용한다.

오답 피하기

ㄴ. 열교환기는 열전도도가 큰 물질을 사용하여 열전달 효율을 극대화 시킨다.

**02** 전도를 통해 이동하는 열량은 $Q=kA\frac{T_1-T_2}{L}t$이다. 온도차 10 °C, 단면적 1 $m^2$, 시간 1 초로 같으므로 열전도도와 두께를 고려하면 A가 방출하는 열량은 B의 2 배이다.

### 내신 기초 문제 | p.70~71 |

01 ③ 02 ① 03 ⑤ 04 ③ 05 ④ 06 ④
07 ④ 08 ⑤ 09 ② 10 ④

**01** 가열된 물은 부피가 팽창하여 밀도가 작아지므로 위로 상승하고, 상대적으로 밀도가 큰 차가운 물은 아래로 가라앉는다. 이러한 과정을 통해 열이 전달되는 것을 대류라고 한다.

**02** 단열재의 두께가 두꺼울수록 열전도도가 낮은 물질일수록 단열 효과가 좋다. 두께가 가장 두껍고 열전도도가 낮은 A의 단열 효과가 가장 좋을 것이다.

**03** 오답 피하기

⑤ 콘크리트 내부에 철근을 넣는 것은 강도를 강하게 하기 위함이지 단열 성능과는 직접적인 관련 없다.

**04** 다리 이음매 틈은 여름에 열팽창으로 다리 길이가 길어져 휘어지는 것을 방지하기 위해 이음매 사이에 공간을 둔 것을 말한다.

오답 피하기

ㄷ. 선팽창 계수는 물질의 종류에 따라 다르므로 온도 변화가 같더라도 종류에 따라 늘어난 길이는 다르다.

**05** 물질의 온도를 높이는 데 필요한 열량 $Q=cm\Delta T$에 의하여 $Q=504$ kJ이다.

**06** 오답 피하기

④ 얼음이 융해하여 물이 될 때 얼음은 열을 흡수한다.

**07** 물질은 A 구간에서 고체, B 구간에서 고체와 액체 공존, C 구간에서 액체로 존재한다. 고체를 완전히 액체로 바꾸는데 60 kJ의 열량이 소모되었으므로 융해열은 60 kJ/kg이다.

오답 피하기

ㄱ. 0~40 °C 구간에서 이 물질은 고체로 존재한다. 60 kJ의 열을 가했을 때 온도가 40 °C 상승했으므로 $Q=cm\Delta T$에 의하여 비열은 1.5 kJ/kg·°C이다.

**08** 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피의 곱은 일정하므로 기체의 압력과 부피는 반비례한다.

**09** 오답 피하기

ㄷ. 비행기가 높이 올라가면 기압이 낮아져 과자 봉지가 부풀어 오르는 것은 보일의 법칙으로 설명할 수 있다.

**10** 이상 기체 법칙에 따라 이상 기체는 상태 변화 과정에서도 $\frac{PV}{T}$가 일정하므로 7 °C일 때 기체의 부피를 $V$라고 하면,

$\frac{1\text{ 기압}\times 10\text{ L}}{300\text{ K}}=\frac{\frac{2}{3}\text{기압}\times V}{280\text{ K}}$ 만족한다. 따라서 기체의 부피 $V=14$ L이다.

## 내신 실전 문제 | p.72~75 |

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

**01** (가)는 (나)보다 길이가 2 배 단면적은 $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 같은 시간 동안 이동한 열량의 비는 1 : 4이다.

**02** A는 복사, B는 대류, C는 전도에 의한 열전달 방법이다.

**03** 오답 피하기

ㄱ. 단면적과 두께가 같을 때 같은 시간 동안 전도되는 열량은 열전도도에 비례하므로 B가 A보다 크다.

**04** ㄱ. 전도에 의해 전달되는 열량은 온도 차에 비례하므로 창문 안과 밖의 온도 차가 클수록 더 많은 열이 전달된다.

ㄷ. 열전도도는 공기가 유리보다 작으므로 공기로 채워진 (나)의 단열 성능이 우수하다.

오답 피하기

ㄴ. 공기의 열전도도가 유리보다 작으므로 유리가 공기보다 열을 잘 전달한다.

**05** 열팽창 공식에 의해 $\Delta l=l_0\alpha\Delta T$이므로 공식에 대입하면 $\Delta l=0.03$ m$=3$ cm이다.

**06** 스위치를 닫으면 전류의 열작용으로 인하여 바이메탈을 구성하는 두 금속의 온도가 상승한다. 전류가 흐를 때 회로가 차단되려면 바이메탈이 위로 휘어야 하므로 열을 받을 때 B가 A보다 많이 휘어야 한다.

오답 피하기

ㄴ. 선팽창 계수는 B가 A보다 크다.

**07** 기화열은 539 kcal이고 융해열은 80 kcal이므로 차이는 459 kcal이다.

오답 피하기

ㄴ. 물이 끓는 100 °C에서는 온도 변화는 없지만 열을 계속 흡수하므로 열에너지의 이동이 있다.

**08** A와 B의 질량이 같으므로 비열은 A가 B보다 크다. $T_2<T_3$이므로 물이 잃은 열량은 A를 넣은 열량계에서 더 크다. 따라서 얻은 열량은 A가 B보다 크다. A가 B보다 더 많은 열량을 얻었지만 온도 변화는 더 작으므로 열용량은 A가 B보다 크다.

**09** 5 분 동안 A의 온도는 30 °C 증가했고, B는 10 °C 증가했다. 같은 열량을 가했으므로 같은 시간 동안 액체가 얻은 열량은 같다. $Q=cm\Delta T$에 의해 A의 비열은 B의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

**10** 물이 끓는 동안 가해진 열은 상태 변화에 사용되어 온도가 일정하게 유지된다. 열은 물에서 음식물로 이동하므로 음식물은 끓는 물의 온도보다 높아질 수 없다.

**11** 같은 온도와 압력에서 A의 부피가 B보다 크므로 A의 분자 수가 더 많다. 절대 온도와 부피는 비례하므로 0 °C 기준에서 부피가 2 배가 되는 온도는 약 273 °C이다.

오답 피하기

ㄱ. 기체의 종류에 상관없이 t는 −273 °C로 일정하다.

ㄹ. 온도가 0 °C에서 약 273 °C로 높아질 때 B의 부피 증가량은 $V_0$보다 작다.

**12** $P_0V_0=NkT_0$이고 변한 기체 분자수를 $N'$이라 하면 $4P_0V_0=N'k(2T_0)$이 된다. 따라서 $4(NkT_0)=2N'kT_0$이므로 $N'=2N$이다.

**13** 과자 봉지의 변화는 보일의 법칙으로 설명할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 자동차 타이어가 달리면서 내부 공기 온도가 올라가 압력이 증가하는 현상은 게이뤼삭 법칙으로 설명할 수 있다.

ㄷ. 뜨거운 물에 넣은 찌그러진 탁구공의 내부 공기 온도가 올라가 부피가 커지는 현상은 샤를의 법칙으로 설명할 수 있다.

**14** 이상 기체 법칙에 따라 $\frac{PV}{T}$가 일정하므로 ㉠과 ㉡은 $4T$이며, 압력과 부피의 곱은 절대 온도에 비례한다.

**15** 모범 답안 (1) 80 °C (2) 두 막대에는 같은 시간 동안 같은 양의 열이 전도되는데, 금속 A는 열전도도가 크고 길이가 짧아 온도 변화량이 작고, 금속 B는 열전도도가 작고 길이가 길어 온도 변화량이 크다.

해설

A의 열전도도를 $2k$, B의 열전도도를 $k$, A와 B의 접촉면의 온도를 $T$라고 할 때 같은 시간 동안 같은 양의 열이 전도되므로 $\frac{Q}{t}=2kA\frac{100-T}{10}=kA\frac{T-0}{20}$, $T=80$ °C이다.

| 채점 기준 | | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | 두 금속 막대의 접촉면의 온도를 구한 경우 | 40 |
| (2) | (1)의 답변을 통해 두 금속에서의 온도 변화량의 크기가 서로 다른 까닭을 열전도도와 길이를 이용하여 서술한 경우 | 60 |

**16** 모범 답안 (1) 물의 비열은

$c=\frac{100\ \text{kcal}}{1\ \text{kg}\times 100\ ^\circ\text{C}}=1\ \text{kcal/kg}\cdot ^\circ\text{C}$이다.

(2) 0 °C 얼음이 물로 상태 변화할 때 1 kg × 80 kcal/kg = 80 kcal, 물의 온도를 0 °C에서 100 °C로 높일 때는 1 kcal/kg·°C × 1 kg × 100 °C = 100 kcal, 100 °C 물이 수증기로 상태 변화 할 때 1 kg × 539 kcal/kg = 539 kcal이므로 가해진 열량은 총 719 kcal이다.

| 채점 기준 | | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | 물의 비열을 계산 과정을 포함하여 구한 경우 | 40 |
| (2) | 가해진 열량을 계산 과정을 포함하여 구한 경우 | 60 |

## 02 열역학 제1법칙

### 탐구 기출 문제 | p.79 |

01 ③ 02 ⑤

**01** 열 출입이 없는 단열 압축 과정으로, 기체가 외부로부터 일을 받아 내부 에너지가 증가하여 온도가 높아진다.

**02** 열 출입이 없는 단열 팽창 과정으로 $Q=0$이므로 $0=W+\Delta U$이다. 이때, 기체의 부피가 증가하며 외부에 일을 하므로 $W>0$이다. 따라서 $\Delta U<0$이므로 내부 에너지는 감소한다.

### 세미나 기출 문제 | p.81 |

01 ① 02 ㄴ, ㄷ

**01** 높새바람이 불 때 공기가 산을 타고 올라갈 때는 단열 팽창하고, 산을 타고 내려올 때는 단열 압축한다.

ㄱ. A → B는 단열 팽창 과정으로, 부피가 팽창하면서 기체가 외부에 일을 한다.

오답 피하기

ㄴ. B → C는 단열 압축 과정으로 기체는 외부에서 일을 받아 부피가 압축되고, 내부 에너지가 증가하여 온도가 높아진다.

ㄷ. A → B → C는 단열 과정으로 외부와 열 출입이 없다.

**02** 오답 피하기

ㄱ. 구름이 만들어지는 것은 단열 팽창으로 수증기가 응결할 때는 열을 방출한다.

### 내신 기초 문제 | p.82~83 |

01 ③ 02 해설 참조 03 ③ 04 ② 05 ⑤
06 ⑤ 07 ④ 08 ④

**01** 오답 피하기

③ 기체가 한 일은 $P\Delta V$이므로 $P_0(V_2-V_1)$이다.

**02** 모범 답안 (1) 기체의 절대 온도 $T$는 압력 $P$와 부피 $V$의 곱에 비례한다. 처음 상태의 $PV$값은 $P\times V=PV$이고 나중 상태의 $PV$값은 $3P\times\frac{1}{2}V=1.5PV$이다. 따라서 나중 온도는 처음 온도의 1.5 배인 450 K가 된다.

(2) 기체의 절대 온도가 높아졌으므로 분자들의 평균 운동 에너지가 커졌고, 따라서 내부 에너지도 증가하였다. 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하며, 절대 온도는 기체 분자들의 평균 운동 에너지에 비례하기 때문이다.

| 채점 기준 | | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | 기체의 절대 온도를 계산하는 과정을 이상 기체 법칙 이용하여 옳게 설명한 경우 | 40 |
| (2) | 내부 에너지가 증가하는 까닭을 옳게 서술한 경우 | 60 |

**03** 기체의 부피는 증가하고, 온도는 일정한 등온 팽창으로 $W>0$, $\Delta U=0$이므로 $Q=W$이다.

**04** 등압 압축으로 $W<0$, $\Delta U<0$이므로 $Q<0$이다. 기체의 내부 에너지가 작아지면 온도가 내려가고, 기체의 열운동이 둔해진다.

**05** 단열 압축으로 $Q=0$이고, $W<0$이므로 $\Delta U>0$이다. 내부 에너지가 증가하면 기체의 온도도 증가한다.

**06** 등적 과정으로 $W=0$이므로 $Q=\Delta U$이다. 기체가 흡수한 열은 모두 내부 에너지 변화로 나타난다.

**07** 오답 피하기

ㄱ. (가), (나)의 과정에서 기체의 처음 상태와 나중 상태가 서로 같으므로 내부 에너지 변화량이 같다.

**08** 오답 피하기

ㄱ. B와 A에서 기체의 온도가 같으므로 B → C 과정의 내부 에너지 감소량과 C → A 과정의 내부 에너지 증가량이 서로 같다. 따라서 B → C → A 과정의 내부 에너지 변화량은 0이다.

## 내신 실전 문제

| p.84~87 |

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

**01** 그래프에서 아랫부분의 넓이가 기체가 한 일이다. 기체의 내부 에너지는 온도에 비례한다.

**02** A → B에서 기체가 한 일은 $PV$, B → C에서 기체가 한 일은 $2PV$이다. 압력이 일정한 상태에서 부피가 증가하는 과정이므로 온도가 상승하며, 기체의 온도는 이상 기체 분자의 평균 운동 에너지에 비례한다.

**03** 오답 피하기

ㄷ. B의 이상 기체는 외부에 일을 하고, A의 이상 기체는 외부로부터 일을 받는다.

**04** 오답 피하기

ㄱ. 부피가 일정할 때 압력이 높아지면 온도가 높아진다.

**05** 오답 피하기

ㄴ. B와 C에서 온도가 같으므로 A → B, A → C에서 기체의 내부 에너지 증가량은 같다. 따라서 기체가 흡수한 열은 기체가 외부에 일도 한 경우인 A → C 과정이 A → B 과정보다 크다.

**06** 문제의 조건을 보면, 두 피스톤이 막대로 연결되어 있고 천천히 이동하여 정지하므로, 모든 과정에서 A와 B의 압력은 같다. 또, 실린더의 전체 부피가 고정되어 있으므로 A의 부피가 증가하면 B의 부피는 그만큼 감소한다.

ㄷ. B는 온도가 일정한 상태에서 피스톤에 밀려 외부로부터 열을 받으므로 열역학 제1법칙에 의해 받은 일만큼 열을 외부로 방출한다.

**07** 고정된 금속판을 통해 열전달이 자유로으므로, (가)와 (나)의 모든 상태에서 A와 B의 온도는 항상 같다. 또, 외부와의 열출입은 차단되어 있으므로 피스톤을 밀 때 한 일은 A와 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

오답 피하기

ㄷ. B는 외부로부터 일을 받았으므로 $W<0$, A로 열이 빠져나갔으므로 $Q<0$이다. 따라서 B가 받은 일은 B의 내부 에너지 증가량보다 크다.

**08** 오답 피하기

ㄴ. 두 과정의 초기 온도가 같고, 최종 온도도 같으므로 내부 에너지 증가량은 두 과정이 같다.

**09** 피스톤이 압축되는 (나)는 부피가 감소하는 B → C 과정이며, 등온 압축 시 기체가 받은 일은 모두 외부로 방출된다. B와 C에서 온도가 같으므로 온도는 C에서가 A에서보다 높다. 따라서 C의 내부 에너지가 A보다 크다.

**10** 오답 피하기

ㄱ. 기체의 압력과 부피의 곱은 기체의 절대 온도에 비례한다. A에서의 압력과 부피는 모두 C에서보다 작으므로 기체의 온도는 C에서가 A에서보다 높다.

**11** 오답 피하기

ㄱ. 가열한 뒤 (나)에서 기체의 절대 온도는 가열 전 온도인 $T$보다 높다.

ㄷ. (가)는 등적 과정으로 $Q=\Delta U$이고, (나)는 등압 과정으로 $Q=W+\Delta U$이다. 이때 공급한 열량 $Q$가 서로 같으므로 $W_{(나)}\neq\Delta U_{(가)}$이다.

**12** 풍선 속 기체는 부피가 감소하는 동안 외부로 열을 방출하므로 단열 과정이 아니다.

**13** 오답 피하기

ㄷ. 기체가 A → B 과정에서 흡수한 열량은 C → A 과정에서 방출한 열량보다 크다.

**14** A → B 과정에서 $2P\times(3V-V)=4PV$만큼 일을 하고 C → D 과정에서 $P\times(3V-V)=2PV$만큼 일을 받는다. B → C 과정과 D → A 과정은 등적 과정이므로 일을 하지 않는다. 따라서 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 $4PV-2PV=2PV$이다.

**15** 모범 답안 (1) ㉠ 1 기압, ㉡ 27 °C

(2) 100 J, B → C 과정에서 부피 감소량이 $V_0$이므로 $W=P\Delta V=10^5\ \mathrm{N/m^2}\times 0.001\ \mathrm{m^3}=100$ J이다.

해설

(1) 기체의 온도가 일정할 때 압력과 부피의 곱은 항상 일정하다. 따라서 A의 압력과 부피의 곱은 B의 압력과 부피의 곱과 같으므로 ㉠은 1 기압이다. 또, 기체의 압력이 일정할 때 절대 온도와 부피는 서로 비례한다. B의 절대 온도는 600 K이므로, C의 절대 온도는 300 K이다. 따라서 ㉡은 27 °C이다.

| 채점 기준 | | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | ㉠과 ㉡ 모두 옳게 쓴 경우 | 40 |
| (2) | 기체가 받은 일과 풀이 과정을 모두 옳게 쓴 경우 | 60 |

**16** 모범 답안 ㄴ. 온도 변화량, ㄷ. 내부 에너지 변화량, A → B는 $W=0$이므로 $Q=\Delta U$이고, B → C는 $W>0$이므로 $Q=W+\Delta U$이다. 각 과정에서 공급한 열량 $Q$는 같으므로 A → B 과정에서가 B → C 과정에서보다 내부 에너지 변화량이 크다. 내부 에너지와 절대 온도는 비례하므로 온도 변화량도 A → B 과정에서가 더 크다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 큰 물리량만 모두 옳게 고른 경우 | 40 |
| 큰 물리량을 모두 옳게 고르고 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 100 |

## 03 열기관과 엔트로피

내신 기초 문제 | p.92~93 |

**01** ③ **02** 0.5 **03** ③ **04** ③ **05** ④ **06** ④
**07** 해설 참조 **08** ② **09** ④ **10** ⑤

**01** 오답 피하기

ㄴ. 열에너지는 고열원에서 열을 흡수하여 일을 하고 저열원으로 열을 방출한다. 열의 이동이 일어나려면 온도가 다른 두 열원 사이에서 작동해야 한다.

**02** 이상적인 최대 열효율은 카르노 기관의 열효율로서 $1-\frac{T_2}{T_1}=1-\frac{400}{800}=0.5$이다.

**03** 오답 피하기

ㄷ. $Q=W$인 열기관은 저열원으로 열을 방출하지 않아 열효율이 1인 열기관을 의미한다. 이는 열역학 제2법칙에 따라 만들 수 없다.

**04** 카르노 기관의 열효율은 $1-\frac{T_2}{T_1}$이며, C → D에서 $W<0$, $\Delta U=0$이므로 $Q<0$이다. 따라서 기체는 열을 방출한다.

**05** 오답 피하기

ㄱ. 이 열기관의 열효율은 $\frac{6Q-4Q}{6Q}=\frac{1}{3}$이다.

**06** 오답 피하기

ㄷ. (나)에서 (가)로 변하는 과정이 저절로 일어나지 않는 까닭은 열에너지 이동의 방향성으로 설명할 수 있으므로 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

**07** 모범 답안 자연 현상은 항상 계의 엔트로피가 증가하는 방향으로 일어난다. 열이 고온에서 저온으로 이동하는 것은 전체 엔트로피가 증가하는 비가역적 현상이므로 자발적으로 일어나지만, 그 반대 과정은 엔트로피가 감소하므로 자발적으로 일어날 수 없다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 현상을 엔트로피의 관점에서 옳게 서술한 경우 | 100 |

**08** 자연 현상은 확률이 높은 경우로 진행하고, 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행한다.

오답 피하기

② 에너지의 총량이 변하지 않는 것은 에너지 보존 법칙이다.

**09** (나)와 같이 기체가 고르게 퍼져있는 상태가 일반적인 상태이며, 자발적으로 기체가 (가)처럼 한쪽으로 쏠리면서 다른 쪽을 진공상태로 만드는 일은 일어나지 않는다. 따라서 이 과정은 비가역적이다.

**10** ㄱ. 엔트로피 법칙: 고립계에서 자발적인 현상은 항상 엔트로피가 증가하거나 유지되는 방향으로 일어난다.

ㄴ. 열 이동의 방향성: 열은 외부의 도움 없이 스스로 저온에서 고온으로 이동할 수 없으며, 반드시 고온에서 저온으로만 흐른다.

ㄷ. 열효율의 한계: 공급된 열을 100 % 일로 바꾸는 것은 불가능하며, 열기관의 효율은 항상 1보다 작다.

## 내신 실전 문제

| p.94~97 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 01 ③ | 02 ④ | 03 ⑤ | 04 ⑤ | 05 ① | 06 ② |
| 07 ⑤ | 08 ④ | 09 ④ | 10 ① | 11 ① | 12 ① |
| 13 ② | 14 ④ | 15~17 해설 참조 | | | |

**01** 열기관의 열효율은 $\frac{W}{Q_1}$이며, 열기관에서는 에너지 보존 법칙이 성립한다.

**02** ㉠은 20, ㉡은 30, A의 열효율은 0.2, B의 열효율은 0.4이다.

**03** 열기관은 고온의 열원에서 열을 흡수하여 저온의 열원으로 열을 방출하여 작동하며, $W=Q_1-Q_2$의 관계를 만족한다.

**04** (가)에서 열효율은 $\frac{W}{W+Q}$이고, (나)에서 열효율은 $\frac{3W}{4Q}$이다. 이 두 값이 같으므로 $Q=3W$이다.

**05** 오답 피하기

ㄴ. B → C와 D → A는 모두 단열 과정이므로 열 출입이 없다.

ㄷ. 카르노 기관의 열효율은 열기관의 이론적인 최대 효율이므로 이보다 더 좋은 열효율을 가진 열기관은 만들 수 없다.

**06** 오답 피하기

ㄷ. B → C에서 기체의 부피가 커지므로 기체는 외부에 일을 하고, D → A에서는 기체의 부피가 작아지므로 기체는 외부로부터 일을 받는다.

**07** 열기관이 열원에서 흡수한 열량을 $Q_1$, 열원으로 방출한 열량을 $Q_2$, 열기관이 한 일은 $W$라고 할 때, $Q_2=110$ J, $W=20$ J이므로 $Q_1=W+Q_2=130$ J이다.

**08** ㄴ. A → B, C → D는 부피가 일정한 등적 과정이므로 기체가 한 일 $W=0$이다. 따라서 열기관이 한 번 순환하는 동안 한 일은 B → C, D → A가 한 일의 합인 50 J 이다. 이때 열효율이 0.25이므로 총 흡수한 열량은 200 J임을 알 수 있으며 이는 A → B, B → C 과정에서의 합이므로 A → B에서 기체가 흡수한 열량은 50 J이다.

| 과정 | $Q$(J) | $\Delta U$(J) | $W$(J) |
|---|---|---|---|
| A → B | +50 | +50 | 0 |
| B → C | +150 | 0 | +150 |
| C → D | −150 | −150 | 0 |
| D → A | 0 | +100 | −100 |
| 합 | +50 | 0 | +50 |

ㄷ. 한 순환 과정에서 내부 에너지 변화의 총합은 0이다.

오답 피하기

ㄱ. A에서 B로 갈 때 부피는 일정하고 압력이 높아지므로 온도가 상승한다. B와 C는 등온선 위에 있으므로 온도가 같다. 따라서 온도는 C가 A보다 높다.

**09** 모래의 분포에 따른 미시적 상태의 수가 증가하였으므로 엔트로피는 (나)가 (가)보다 크다.

**10** ㄷ, ㄹ 모두 비가역 과정에 대한 설명이다.

**11** 오답 피하기

① 우주에서 일어나는 자발적인 변화에 의해 우주 전체의 엔트로피는 계속 증가한다.

**12** 개별 기체 분자의 움직임은 가역 과정이지만, 전체 기체 분자의 분포가 변해가는 과정은 비가역 과정이다. 기체 분자가 A, B에 고르게 퍼지고 난 이후에는 다시 모든 분자가 한 영역으로 모여 다른 영역을 진공으로 만드는 일은 일어나지 않는다.

**13** 오답 피하기

ㄱ. 역학적 에너지 보존 법칙이다. 열역학 제2법칙과 관련이 없다. ㄷ. 기체는 확산한 뒤 다시 한 점에 모이지 않는다.

**14** 오답 피하기

ㄷ. 25 ℃의 실내에서 물이 얼음으로 변하지 않는 까닭은 열역학 제2법칙에 위배되기 때문이다.

**15** 모범 답안 열기관의 열효율 $e$는 흡수한 열량 $Q_1$에 대한 한 일 $W$의 비율로, $e=\frac{W}{Q_1}$이다. 열효율을 개선하면 같은 양의 일을 하더라도 더 적은 열량을 흡수해도 되므로 에너지 낭비를 줄일 수 있다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 열기관의 열효율만을 옳게 쓴 경우 | 40 |
| 열기관의 열효율과 열효율을 개선하는 것이 중요한 까닭을 모두 옳게 쓴 경우 | 100 |

**16** 모범 답안 연료의 연소는 비가역 과정이다. 연료가 연소하면 열을 방출하고 연소 반응물이 생성되는데, 연소 반응물이 스스로 열을 흡수하여 다시 연료가 되는 과정은 일어날 수 없다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 연료의 연소 과정을 옳게 고른 경우 | 40 |
| 연료의 연소 과정과 그 까닭을 모두 옳게 서술한 경우 | 100 |

**17** 모범 답안 잉크 성분이 한 방울에 모여 있는 상태는 엔트로피가 작은 상태이고, 잉크가 물에 고르게 퍼져있는 상태는 엔트로피가 큰 상태이다. 열역학 제2법칙에 따라 고립된 계의 엔트로피는 작아지지 않으며, 물에 고르게 퍼진 잉크 성분이 스스로 모여서 잉크 방울이 되는 일은 엔트로피가 감소하는 과정이므로 일어날 수 없다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 까닭을 엔트로피를 이용하여 옳게 서술한 경우 | 100 |

## 단원 마무리 문제

| p.100~103 |

**01** ③ **02** ④ **03** 해설 참조 **04** ③ **05** ③
**06** ④ **07** 해설 참조 **08** ③ **09** ⑤ **10** ③
**11** ③ **12** ④ **13** ③ **14** 해설 참조 **15** ⑤
**16** ② **17** ②

**01** 오답 피하기

③ 복사는 전자기파에 의한 열전달이므로 진공인 공간에서도 복사에 의해 열이 전달될 수 있다.

**02** 오답 피하기

ㄴ. A의 열전도도가 B보다 크고 단위 시간 동안 이동하는 열량은 같으므로, A 양단의 온도 차는 B 양단의 온도 차보다 작다.

**03** 모범 답안 (1) 열전도도가 낮은 내장재를 두껍게 설치할수록 단열의 효과는 좋아진다. (2) A, A가 B보다 더 많이 휘므로 선팽창 계수는 A가 B보다 크다.

| | 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | 단열의 효과를 높이기 위해 내장재를 어떻게 하면 좋을지 두 조건을 모두 포함하여 옳게 서술한 경우 | 50 |
| (2) | 선팽창 계수가 큰 금속을 고르고 그 까닭을 옳게 서술한 경우 | 50 |

**04** 금속의 온도는 모두 같으므로 물에 넣었을 때 물의 온도를 가장 많이 올리는 금속은 열용량이 가장 큰 A이다. 물에 넣었을 때 금속의 온도가 가장 낮은 경우는 열용량이 가장 작은 B이다.

오답 피하기

ㄷ. 열용량은 비열과 질량의 곱과 같으므로 A가 가장 크다.

**05** 오답 피하기

③ 건물에 ㄷ자 모양의 구부러진 가스관을 설치하는 것은 온도 변화에 따른 열팽창으로 관이 파손되는 것을 방지하기 위해서이다.

**06** 바다에서는 수심이 10 m 깊어질수록 1 기압씩 증가한다. 바다 표면의 기압이 1 기압이므로 수심 110 m에서 기압은 12 기압이다. 바다 표면에 닿기 직전 공기 방울의 부피를 $V$라고 하면 이상 기체 법칙 $\frac{PV}{T}=\frac{P'V'}{T'}$에 따라서 $\frac{12\text{ 기압}\times 3.5\text{ cm}^3}{280\text{ K}}=\frac{1\text{ 기압}\times V}{300\text{ K}}$, 이므로 $V=45.0\text{ cm}^3$이다.

**07** 모범 답안 기체가 흡수한 열량은 기체 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다. 일정한 압력에서 기체를 가열하면 온도가 상승하여 내부 에너지가 증가하고, 동시에 부피가 팽창하면서 외부에 일을 한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 열역학 제1법칙으로 기체의 내부 에너지, 기체의 온도, 기체가 하는 일의 변화를 모두 옳게 서술한 경우 | 100 |

**08** 기체가 외부에 한 일은 부피－압력 그래프 아랫부분의 면적과 같으므로 (가)가 (나)보다 크고, (가), (나) 과정에서 기체의 처음 상태와 나중 상태가 서로 같아 내부 에너지의 변화량이 같으므로 $Q=W+\Delta U$에서 $\Delta U=0$이고 $Q=W$이다. 따라서 기체가 외부에 한 일이 큰 (가)에서 흡수한 열량이 더 크다.

**09** 등온 과정에서는 $\Delta U=0$이므로 기체가 한 일의 양은 기체가 흡수한 열의 양과 같다.

오답 피하기

① 기체의 분자 운동 에너지는 온도에 비례하므로 운동 에너지는 감소하지 않는다.

② 부피가 커지면 압력은 감소한다.

③ 등온 팽창 과정에서는 흡수한 열만큼 기체가 외부에 일을 한다.

④ 온도가 일정하므로 기체의 내부 에너지 변화량은 0이다.

**10** 단열 팽창이므로 $Q=0$이고, $0=W+\Delta U$이다. 이때 기체의 부피가 증가하여 외부에 일을 하므로 $W>0$이고, 따라서 $\Delta U<0$이므로 내부 에너지는 감소한다.

오답 피하기

ㄷ. 단열 과정에서 열 출입이 없으므로 흡수한 열량은 0이다.

**11** 푄 현상에서 공기가 상승하면 단열 팽창으로 냉각되고, 하강하면 단열 압축으로 가열된다. 냉각 장치는 단열 압축 후 단열 팽창을 이용해 온도를 낮춘다.

**12** A → B 과정에서 기체가 외부에 한 일은 부피－압력 그래프 아랫부분의 면적과 같으므로 $6P_0V_0$이다. 일정량의 이상 기체에서 절대 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다. 따라서 각 상태에서의 값을 비교하여 온도를 판단할 수 있다.

A 지점: $PV=4P_0V_0$

B 지점: $PV=6P_0V_0$

C 지점: $PV=3P_0V_0$

A 지점의 $PV$값이 C 지점보다 크므로, 기체의 절대 온도는 A에서가 C에서보다 높다.

**오답 피하기**

ㄱ. A → B 과정에서 $PV$값은 $4P_0V_0$에서 $6P_0V_0$으로 증가하므로 기체의 온도는 증가한다.

ㄷ. B → C 과정은 부피가 $3V_0$으로 일정한 등적 과정이다. 기체가 외부에 일을 하려면 부피가 팽창해야 하므로 이 과정에서 기체는 외부에 일을 하지 않는다.

**13** 고열원에서 흡수한 열량을 $Q_1$, 방출한 열량을 $Q_2$라고 하면, 열효율 공식에 따라 $e=\frac{W}{Q_1}=0.25=\frac{20}{Q_1}$이므로 $Q_1=80$ kJ이다. $Q_2=Q_1-W$이므로 60 kJ이다.

**14** **모범 답안** (1) 흡수한 열량에 대해 열기관이 한 일 $W=Q_1-Q_2=\frac{2}{5}Q_1$이므로 열효율 $e=\frac{W}{Q_1}=\frac{2}{5}$이다.

(2) 카르노 기관의 열효율 $e=1-\frac{T_2}{T_1}$에 의하여 $\frac{Q_2}{Q_1}=\frac{T_2}{T_1}$이므로 $\frac{3}{5}=\frac{T_2}{1000\ K}$에서 $T_2=600$ K이다.

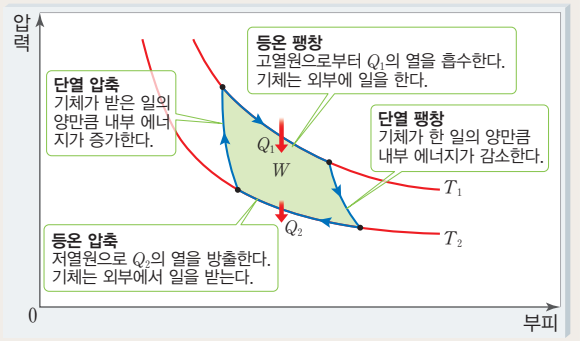
| 채점 기준 | | 배점(%) |
|---|---|---|
| (1) | 열기관의 열효율을 계산 과정을 포함하여 구한 경우 | 50 |
| (2) | $T_2$를 계산 과정을 포함하여 구한 경우 | 50 |

**15** 카르노 기관의 순환 과정은 온도가 일정한 두 개의 등온 과정(A → B, C → D)과 열의 출입이 없는 두 개의 단열 과정(B → C, D → A)으로 이루어진다.

**오답 피하기**

⑤ 카르노 기관의 열효율은 $e=1-\frac{T_2}{T_1}$이다.

**문제 속 자료**




- 카르노 기관은 등온 팽창 → 단열 팽창 → 등온 압축 → 단열 압축 과정이 순환하면서 작동하는 이상적인 열기관이다.
- 카르노 기관의 열효율 $e=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{T_2}{T_1}$

**16** **오답 피하기**

ㄱ. 확산된 잉크는 다시 모이지 않으므로 한쪽 방향으로만 진행되는 비가역 과정이다.

ㄷ. 잉크 입자들이 한 곳에 모여 있는 상태보다 물 전체에 흩어져 있는 상태가 훨씬 더 가능한 경우의 수가 많다. 엔트로피는 가능한 수와 관련된 물리량으로, 경우의 수가 많은 상태일수록 엔트로피가 크다. 따라서 잉크가 퍼져나가는 동안 계의 전체 엔트로피는 증가한다.

**17** 열이 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하는 과정은 비가역 과정이다.

**오답 피하기**

① 열은 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다.

③ A는 열을 잃었으므로 A의 엔트로피는 감소한다.

④ B는 열을 얻었으므로 B의 엔트로피는 증가한다.

⑤ 열이 고온에서 저온으로 이동하는 것은 비가역 과정이며, 열평형 이후 열이 B에서 A로 저절로 이동하지 않는다.

# III 탄성파와 소리

## 01 단진동

### 내신 기초 문제

| p.110~111 |

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

**01** 용수철에 연결된 물체가 마찰 없이 단진동 할 때 평형점 O에서는 속력이 최대이다. A 또는 B는 평형점에서 가장 멀리 떨어진 전환점이므로 물체의 속력은 0이고, 복원력의 크기는 변위의 크기에 비례한다. 따라서 B에서 물체가 받는 힘의 크기는 $x$에 비례한다.

오답 피하기

ㄴ. 용수철 진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$로, 진폭 $x$를 크게 해도 변하지 않는다.

**02** 마찰이 없는 수평면에서 단진동 하는 물체는 역학적 에너지가 보존된다. 또한 외부에서 에너지가 공급되거나 손실되지 않으므로 진폭은 일정하게 유지된다.

오답 피하기

ㄱ. 탄성력의 크기는 변위의 크기에 비례하므로 위치에 따라 변한다.

ㄴ. 탄성력의 방향은 항상 평형점을 향하므로 물체가 평형점의 어느 쪽에 있는지에 따라 달라진다.

**03** 용수철에 연결된 물체가 단진동 할 때 속력이 증가하는 구간에서는 물체가 평형점으로 가까워진다. 이때 변위의 크기가 작아지므로 복원력과 가속도의 크기도 함께 감소한다.

오답 피하기

ㄱ. 용수철의 길이가 $l$일 때는 처음 압축된 위치이므로 물체의 변위가 최대이고, 가속도의 크기도 최대이다.

ㄷ. 용수철 진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 질량을 $2m$으로 바꾸면 주기는 $\sqrt{2}T_0$가 된다.

**04** 그림에서 $t=0$일 때 물체는 평형점 O에 있고 이후 $+x$ 방향으로 움직인다. 따라서 변위는 $x=A\sin\omega t$로 나타낸다. 속도는 변위를 시간에 따라 미분한 값이므로 $v=A\omega\cos\omega t$이고, 가속도는 속도를 한 번 더 미분한 값이므로 $a=-A\omega^2\sin\omega t$이다.

**05** 등속 원운동 하는 물체의 그림자는 반지름 $r$을 진폭으로 하는 단진동을 한다. 각속도는 $\omega=\frac{v}{r}$이므로 그림자의 속력의 최댓값은 $r\omega=v$이고, 단진동의 주기는 원운동의 주기와 같아 $\frac{2\pi r}{v}$이다.

오답 피하기

ㄷ. 그림자가 A에 있을 때 가속도의 크기는 최대이며, 그 값은 $r\omega^2=\frac{v^2}{r}$이다.

**06** 물체는 $t=0$일 때 최대 변위에 있고, $4t$일 때 다시 같은 변위와 운동 상태로 돌아온다. 따라서 단진동의 주기는 $4t$이다.

오답 피하기

ㄴ. $2t$일 때 물체는 음의 방향 최대 변위에 있으므로 탄성력의 크기는 최대이다.

ㄷ. 단진동에서 가속도의 방향은 항상 변위의 방향과 반대이다.

**07** 단진동에서 가속도의 크기는 변위의 크기에 비례하므로 $|a|=\omega^2|x|$이다. 변위의 크기가 1 m일 때 가속도의 크기가 4 m/s$^2$이므로 $\omega^2=\frac{4}{1}=4$, $\omega=2$이다. 따라서 단진동의 주기는 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\pi$초이다.

**08** 동일한 용수철에 매달린 물체의 단진동 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. 그래프에서 B의 주기가 A보다 짧으므로 B의 질량이 더 작고, A의 질량이 B보다 크다.

오답 피하기

ㄴ. 그래프에서 진폭은 A가 $L$, B가 $2L$이므로 B가 A의 2 배이다.

ㄷ. 운동 에너지의 최댓값은 전체 역학적 에너지와 같고, $E=\frac{1}{2}kA^2$이다. 진폭이 B가 A의 2 배이므로 B의 운동 에너지의 최댓값은 A의 4 배이다.

### 내신 실전 문제

| p.112~115 |

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

**01** 용수철에 질량 $m$인 물체를 매달아 평형을 이룰 때 중력과 탄성력의 크기가 같으므로 $kx_0=mg$이다. 물체를 용수철이 $A+x_0$만큼 늘어난 위치에서 놓으면 평형점 $x_0$에서 $A$만큼 떨어진 위치에서 출발하므로 단진동의 진폭은 $A$이다. 용수철 진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다.

오답 피하기

ㄴ. 단진동의 진폭은 평형점으로부터의 최대 변위이므로 $A$이다.

**02** (가)와 (나) 모두 평형 위치에서 $A$만큼 떨어진 지점에서 놓았으므로 단진동의 진폭은 $A$이다. 또 용수철과 물체가 같으므로 단진동의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$도 같다. 빗면에서 중력의 빗면 방향 성분은 평형 위치만 이동시킬 뿐 주기에는 영향을 주지 않는다.

오답 피하기

ㄷ. 빗면의 평형 위치에서는 탄성력이 중력의 빗면 방향 성분과 평형을 이루므로 탄성력의 크기는 중력의 빗면 방향 성분의 크기와 같다.

**03** 물체를 용수철의 원래 길이에서 가만히 놓으면, 물체는 평형 위치를 중심으로 단진동 한다. A의 평형 위치는 원래 길이에서 $\frac{mg}{k}$만큼 아래이고, B의 평형 위치는 $\frac{2mg}{k}$만큼 아래이므로 진폭은 B가 A의 2 배이다. 용수철 진자의 주기 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에 의해 질량이 2 배인 B의 주기는 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

오답 피하기

ㄷ. 속력의 최댓값은 진폭과 각진동수의 곱으로 구한다. B는 진폭이 2 배이고 각진동수는 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배이므로 속력의 최댓값은 A의 $\sqrt{2}$ 배이다.

**04** 실을 끊기 전에는 두 추의 질량이 같으므로 A, B를 당기는 실의 장력은 같다. 평형 상태에서 이 장력은 용수철의 탄성력과 크기가 같으므로 $kx_A=2kx_B$가 되고, 따라서 $x_A=2x_B$이다. 실을 끊는 순간 A, B는 각각 평형 위치에서 $x_A$, $x_B$만큼 떨어진 곳에서 정지 상태로 출발하므로 이 값이 단진동의 진폭이 된다. 따라서 A의 진폭은 B의 2 배이다. 용수철 진자의 주기는 $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 A의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}$, B의 주기는 $2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$이다. 따라서 A의 주기는 B의 2 배이다.

**05** 점 P에서 그림자의 변위는 0이고, 점 Q에서 그림자는 진폭의 $\frac{1}{2}$ 지점을 지나므로 $A\sin\theta=\frac{A}{2}$이다. 따라서 $\sin\theta=\frac{1}{2}$이므로 $\theta=\frac{\pi}{6}$이다. 원운동에서 한 바퀴 $2\pi$를 도는 데 $T$가 걸리므로, $\frac{\pi}{6}$를 도는 데 걸리는 시간은 $\frac{T}{12}$이다.

**06** 그림자의 속력의 최댓값은 $r\omega$이므로, 그림자의 속력이 $r\omega$인 순간은 그림자가 평형점을 지나는 순간이다. 이때부터 시간 $t$가 지나면 그림자의 변위 크기는 $|x|=r\sin\omega t$로 나타낼 수 있다. 그림자의 가속도 크기는 $|a|=\omega^2|x|$이므로, 이 값이 처음으로 $r\omega^2$이 되려면 $|x|=r$이어야 한다. 따라서 $\sin\omega t=1$이고, $\omega t=\frac{\pi}{2}$이므로 $t=\frac{\pi}{2\omega}$이다.

**07** 그래프에서 그림자의 진폭은 0.4 m이고, 주기는 $\frac{\pi}{5}$ 초이다. 따라서 각속도는 $\omega=\frac{2\pi}{T}=10$ rad/s이다. O 점은 그림자가 평형 위치를 지나는 지점이므로 속력이 최대이고, 그 값은 $A\omega=0.4\times10=4$ m/s이다. b 점은 그림자가 최대 변위에 있는 지점이므로 가속도의 크기가 최대이고, 그 값은 $A\omega^2=0.4\times10^2=40$ m/s$^2$이다.

**08** 2 초일 때 물체는 $x=-0.1$ m인 최대 변위 위치에 있으므로 속도는 0이다. 그래프에서 2 초일 때 0이 되는 것은 Y이므로 Y가 속도, X가 가속도 그래프이다. 그래프의 주기는 8초이므로 각진동수는 $\omega=\frac{2\pi}{T}=\frac{\pi}{4}$ rad/s이다. 따라서 $k=m\omega^2=1\times\left(\frac{\pi}{4}\right)^2=\frac{\pi^2}{16}$ N/m이다.

오답 피하기

ㄱ. X는 가속도 그래프이다.

ㄷ. 4 초일 때 물체는 평형 위치를 지나므로 탄성력의 크기는 0이다.

**09** 용수철 진자에서 탄성력의 크기는 변위의 크기에 비례하므로 변위의 크기가 최대인 양 끝점에서 탄성력의 크기가 최대가 된다. 따라서 탄성력의 최댓값은 $kA$이다. c에서는 변위가 음의 값이고 속도가 양의 값이므로 탄성력은 평형점 O를 향해 작용하고 운동 방향과 같다. 또 a에서 b까지는 최대 변위에서 평형 위치까지 이동하는 과정이므로 걸리는 시간은 주기의 $\frac{1}{4}$이다. $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이므로 $\frac{T}{4}=\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{m}{k}}$이다.

**10** 용수철 진자의 평형 위치에서 속력은 최대이고, 최대 속력은 $v_{max}=\omega L$이다. A와 B의 진폭이 모두 $L$인데 B의 평형

위치 속력이 A의 2 배이므로 B의 각진동수는 A의 2 배이다. 주기는 각진동수에 반비례하므로 $T_A : T_B = 2 : 1$이다.

**11** 용수철에 연결된 물체를 평형 위치에서 $s$만큼 당겼다가 놓으면 단진동의 진폭은 $s$이다. 따라서 (가)에서 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 변위가 최대일 때 가장 크고, 그 값은 $ks$이다. 또 운동 에너지의 최댓값은 전체 역학적 에너지와 같으므로 (가)에서는 $\frac{1}{2}ks^2$, (나)에서는 $\frac{1}{2}\cdot 2k\cdot s^2 = ks^2$이다. 따라서 운동 에너지의 최댓값은 B가 A의 2 배이다.

오답 피하기

ㄴ. (나)의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$이므로 $\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}$는 반 주기에 해당한다. 물체를 놓은 뒤 반 주기가 지나면 평형 위치가 아니라 반대쪽 최대 변위에 있다.

**12** 용수철 진자의 주기는 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이다. A, B의 주기가 서로 같으므로 $\frac{m}{k_A} = \frac{2m}{k_B}$이고, 따라서 $k_B = 2k_A$이다. 탄성력의 최댓값은 변위가 최대일 때의 값이므로 $F_A = k_A L$, $F_B = k_B\cdot 2L = 4k_A L$이다. 따라서 $F_A : F_B = 1 : 4$이다.

**13** 운동 에너지는 평형 위치에서 최대가 되고, 양 끝점에서 0이 된다. 그래프에서 A의 운동 에너지는 2 초마다 반복되고, B의 운동 에너지는 1 초마다 반복된다. 운동 에너지 그래프의 주기는 단진동 주기의 $\frac{1}{2}$이므로 A, B의 단진동 주기는 각각 4 초, 2 초이다. 같은 용수철에 연결되어 있으므로 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에 따라 질량은 주기의 제곱에 비례한다. 따라서 $m_a = 4m_B$이다.

오답 피하기

ㄱ. 1 초일 때 A의 운동 에너지는 최대이므로 A는 평형 위치에 있고, 이때 가속도의 크기는 0이다.

ㄷ. 운동 에너지의 최댓값은 $\frac{1}{2}kA^2$에 비례한다. A의 운동 에너지 최댓값은 B의 2 배이므로 진폭은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.

**14** A의 평형 위치는 용수철이 $\frac{mg}{k}$만큼 늘어난 지점이고, 처음 위치는 $\frac{2mg}{k}$만큼 늘어난 지점이므로 A의 진폭은 $\frac{mg}{k}$이다. B의 평형 위치는 $\frac{\frac{m}{2}g}{2k} = \frac{mg}{4k}$만큼 늘어난 지점이고, 처음 위치는 용수철이 늘어나지 않은 지점이므로 B의 진폭은 $\frac{mg}{4k}$이다. A의 각진동수는 $\sqrt{\frac{k}{m}}$, B의 각진동수는 $\sqrt{\frac{2k}{\frac{m}{2}}} = 2\sqrt{\frac{k}{m}}$이므로 B의 주기는 A의 $\frac{1}{2}$이다. A가 처음으로 최고점에 도달하는 시간은 A의 반 주기인 $\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$이고, 이 시간은 B의 한 주기와 같으므로 A, B가 동시에 최고점에 있다. 또 A의 운동 에너지가 최대일 때 A는 평형 위치에 있고, 이때 B는 최고점 또는 최저점에 있으므로 B의 운동 에너지는 0이다.

오답 피하기

ㄱ. A의 진폭은 $\frac{mg}{k}$, B의 진폭은 $\frac{mg}{4k}$이다.

**15** 모범 답안 (나)는 늘어난 용수철과 압축된 용수철의 탄성력이 평형점을 향해 같은 방향으로 작용하므로 알짜힘의 크기는 $2kx$이고 합성 용수철 상수는 $2k$이다. 초기 변위가 $x$로 같아 진폭은 서로 같고, 주기 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$에서 $k$가 2 배이므로 주기는 (가)의 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배이다.

〔서술형 TIP〕

양쪽 용수철의 힘이 더해져 합성 용수철 상수 $2k$가 됨을 파악하고, 진동의 변화를 막연한 설명 대신 구체적인 주기 공식과 수치 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배로 서술한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 단진동의 진폭과 주기를 (가)의 운동과 비교하여 모두 옳게 서술한 경우 | 100 |
| 단진동의 진폭과 주기를 (가)의 운동과 비교하여 일부만 옳게 서술한 경우 | 50 |

**16** (1) 모범 답안 정지 상태에서는 용수철의 탄성력과 추의 무게가 평형을 이루므로 $kx_0 = Mg$이다. 따라서 $x_0 = \frac{Mg}{k}$이다.

〔서술형 TIP〕

정지 상태에서는 힘의 평형 조건을 이용한다. 용수철의 탄성력과 추의 무게가 같다는 관계를 세운다.

(2) $v_{max} = A\sqrt{\frac{k}{m+M}}$, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m+M}{k}}$. 물체와 추는 실로 연결되어 함께 운동하므로 운동하는 전체 질량은 $m+M$이다. 평형 위치에서 $x$만큼 벗어나면 용수철 탄성력의 변화량이 $kx$가 되어 복원력으로 작용하므로 각진동수는 $\sqrt{\frac{k}{m+M}}$이다. 따라서 최대 속력과 주기는 각각 $v_{max} = A\sqrt{\frac{k}{m+M}}$, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m+M}{k}}$이다.

〔서술형 TIP〕

단진동 할 때는 물체와 추가 함께 운동하므로 전체 질량을 $m+M$으로 두고, 진폭 $A$와 각진동수의 관계 $v_{max}=A\omega$를 이용한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| (1), (2)를 모두 옳게 서술한 경우 | 100 |
| (1), (2) 둘 중 하나만 옳게 서술한 경우 | 50 |

## 02 탄성파

### 탐구 기출 문제 | p.119 |

01 ③

**01** 파동의 속력은 $v=f\lambda$이다. 따라서 파장이 일정할 때 파동의 속력은 진동수에 비례하고, 파동의 속력이 일정할 때 진동수는 파장에 반비례한다.

오답 피하기

ㄷ. 주기는 진동수의 역수이므로 $T=\frac{1}{f}$ 관계를 이용한다. 따라서 표의 진동수를 주기로 바꾸면 주기와 속력의 관계도 알 수 있다.

### 세미나 기출 문제 | p.121 |

01 ③

**01** 그림 (나)에서 $x=3$ m인 지점의 변위가 같은 상태로 반복되는 데 걸리는 시간은 2 초이므로 파동의 주기는 2 초이다. 매질 Ⅱ에서는 마루와 이웃한 골 사이의 거리가 1 m이므로 파장은 2 m이고, 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{2}{2}=1$ m/s이다. 또 $x=3$ m에서 $t=0$일 때 변위는 0이고 이후 양의 방향으로 변하므로, 그림 (가)의 파동은 $+x$ 방향으로 진행한다. $x=5$ m는 $t=0$일 때 마루의 위치이므로 $t=2$ 초일 때도 마루이고, $t=2.5$ 초일 때는 $\frac{1}{4}$ 주기 뒤의 상태이므로 변위가 더 작다.

오답 피하기

ㄴ. $x=3$ m에서의 변위 변화와 $t=0$일 때의 파형을 비교하면 파동은 $+x$ 방향으로 진행한다.

### 내신 기초 문제 | p.122~123 |

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

**01** A는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 횡파이고, B는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 종파이다. 횡파와 종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향 사이의 관계로 구분한다.

오답 피하기

ㄴ. 음파와 지진파의 P파는 종파에 해당한다.
ㄷ. 지진파의 S파는 횡파에 해당한다.

**02** 그림은 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직인 파동을 나타낸 것으로 횡파이다. ㉠은 이웃한 마루 사이의 거리이므로 파장이고, ㉡은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 최대 변위이므로 진폭이다.

오답 피하기

ㄴ. 주기는 매질이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간이다.
ㄷ. ㉡은 진폭을 나타낸다.

**03** 그림은 용수철을 위아래로 흔들어 만든 파동이므로 매질의 진동 방향은 위아래이고, 파동의 진행 방향은 오른쪽이다. 따라서 이 파동은 횡파이다. 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$이므로 주기가 일정할 때 파동의 속력은 파장에 비례한다.

오답 피하기

ㄱ. 음파와 지진파의 P파는 종파에 해당한다.
ㄴ. 횡파에서는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 수직이다.

**04** 두 파동은 같은 속력으로 진행한다. 그래프에서 같은 시간 동안 P는 3 회, Q는 1 회 진동하므로 P의 진동수는 Q의 3 배이다.

오답 피하기

ㄱ. P의 최대 변위는 $A$이므로 진폭은 $A$이다.
ㄷ. 파동의 속력이 같을 때 파장은 진동수에 반비례하므로 P의 파장은 Q의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

**05** 고정단에서 반사된 파동은 입사파와 위상이 반대이고, 자유단에서 반사된 파동은 입사파와 위상이 같다. 또 파동이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행할 때의 반사는 고정단 반사와 같으므로 반사파의 위상은 입사파와 반대가 된다.

**06** 그림 (가)에서 이웃한 마루 사이의 거리가 $2l$이므로 파장은 $2l$이다. 그림 (나)에서 같은 위치의 변위가 같은 상태로 반복되는 데 걸리는 시간은 $2t$이므로 주기는 $2t$이다. 따라서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{2l}{2t}=\frac{l}{t}$이다.

오답 피하기

ㄱ. 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 최대 변위이므로 $A$이다.

**07** 안경 세척에는 초음파가 이용된다. 초음파는 탄성파의 한 종류로, 매질을 통해 진행하고 물체의 표면이나 내부에서 반사될 수 있다. 해저 지형 조사에는 반사되어 돌아오는 음파 또는 초음파가 이용되고, 태아의 성장 정도와 건강 진단에는 몸속에서 반사된 초음파가 이용된다.

오답 피하기

ㄷ. 전자레인지는 마이크로파를 이용해 음식을 가열한다. 마이크로파는 탄성파가 아니라 전자기파이다.

**08** 사이렌 소리 A와 후방 센서의 초음파 B는 모두 공기와 같은 매질을 통해 전달되는 탄성파이다. 초음파는 사람이 들을 수 있는 소리보다 진동수가 큰 소리이므로, 진동수는 A가 B보다 작다.

오답 피하기

ㄷ. 후방 센서는 초음파가 장애물에서 반사되어 돌아오는 시간을 이용해 거리를 측정한다.

## 내신 실전 문제

| p.124~127 |

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

**01** 그림 (가)에서 이웃한 마루 사이의 거리가 4 m이므로 파장은 4 m이다. 그림 (나)에서 같은 위치의 점 P가 같은 운동 상태로 되돌아오는 데 걸리는 시간은 4 초이므로 주기는 4 초이다. 따라서 파동의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{4}=1$ m/s이다.

**02** 그림 (가)에서 $x=2$ cm인 지점은 $t=0$일 때 변위가 0이고, 오른쪽으로 갈수록 변위가 작아지는 위치이다. 그런데 그림 (나)에서 $x=2$ cm인 지점의 변위는 시간이 지나면서 음의 방향으로 변한다. 따라서 파형이 왼쪽으로 이동해야 하므로 파동은 $-x$ 방향으로 진행한다.

오답 피하기

ㄴ. 그림 (가)에서 파장은 4 cm, 그림 (나)에서 주기는 2 초이므로 파동의 진행 속력은 2 cm/s이다.

ㄷ. 2 초는 한 주기이므로 $x=4$ cm에서의 변위는 $t=0$일 때와 같다. 그림 (가)에서 $x=4$ cm의 변위는 0이다.

**03** 그래프에서 이웃한 마루 사이의 거리는 4 m이므로 파장은 4 m이다. 진동수가 0.75 Hz이므로 파동의 진행 속력은 $v=f\lambda=0.75\times4=3$ m/s이다. 또 파동은 $+x$ 방향으로 진행하므로 $t=0$일 때의 파형이 오른쪽으로 이동한다. $x=0$에서 처음으로 변위가 2 m가 되려면 파형이 3 m 이동해야 하므로 $t_0=\frac{3}{3}=1$ 초이다.

오답 피하기

ㄷ. $t=0$초일 때 $x=3$ m인 지점은 골에 있으므로 파동의 변위는 $-2$ m이다.

**04** 그림 (나)에서 같은 변위 상태가 2 초마다 반복되므로 주기는 2 초이고, 진동수는 $f=\frac{1}{T}=0.5$ Hz이다. 또 파동은 $+x$ 방향으로 진행하므로, 어떤 지점의 변위가 시간에 따라 감소하려면 그 지점에서 파형의 기울기는 양수여야 한다. 그림 (가)에서 Q가 이에 해당하므로 (나)는 Q에서의 변위이다. 매질 A에서의 파장은 4 cm, 매질 B에서의 파장은 2 cm이고 진동수는 같으므로, 파동의 진행 속력은 A에서가 B에서의 2 배이다.

오답 피하기

ㄱ. 주기가 2초이므로 진동수는 0.5 Hz이다.

**05** 매질 Ⅰ에서 이웃한 마루 사이의 거리는 2 m이므로 파장은 2 m이다. 또 매질 Ⅱ에서 마루 사이의 거리는 3 m이고 주기는 2 초이므로, 매질 Ⅱ에서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{3}{2}$ m/s이다. $t=0$일 때 $x=6$ m에 있는 마루는 $\frac{2}{3}$ 초 뒤 1 m를 이동하여 $x=7$ m 지점을 $t=0$일 때 $x=3$ m에 있는 마루는 $\frac{8}{3}$ 초 뒤 4 m를 이동하여 $x=7$ m 지점을 지난다.

오답 피하기

ㄱ. 매질 Ⅰ에서 파장은 2 m이다.

**06** 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 진동수와 주기는 변하지 않는다. 파장은 A에서가 B에서보다 크므로, $v=f\lambda$에 따라 물결파의 속력은 A에서가 B에서보다 크다. 또 물결파가 속력이 빠른 영역 A에서 속력이 느린 영역 B로 진행하므로, 경계에서 고정단 반사와 같이 반사파의 위상이 반대로 바뀐다.

**07** 매질 A에서 이웃한 마루 사이의 거리는 8 cm이므로 파장은 8 cm이다. A에서 파동의 진행 속력이 4 cm/s이므로 주기는 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{8}{4}=2$ 초이다. 파동이 다른 매질로 진행해도 주기는 변하지 않고, B에서의 파장은 4 cm이므로 B에서 파동의 진행 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4}{2}=2$ cm/s이다. 또 파동은 $+x$ 방향으로 진행하므로 $t=0.1$ 초일 때 P의 변위는 $t=0$일 때 P보다 왼쪽에 있던 파형의 변위와 같아지고, 이 값은 $y_p$보다 작다.

오답 피하기

ㄴ. B에서 파동의 진행 속력은 2 cm/s이다.

**08** (가)에서 파동은 벽까지 20 cm 떨어져 있고, (나)에서는 벽에서 반사된 뒤 다시 20 cm만큼 떨어진 상태이다. 거기에 파동의 길이 20 cm를 더하면 4 초 동안 이동한 거리는 60 cm이므로 파동의 속력은 15 cm/s이다. 또 벽에서 반사될 때 위상이 반대로 변하므로 고정단 반사이다.

오답 피하기

ㄷ. 자유단 반사에서는 반사파의 위상이 입사파와 같다.

**09** 가는 줄에서 굵은 줄로 파동이 진행하면 파동의 속력이 작아진다. 이때 경계면은 고정단처럼 작용하므로 반사파는 입사파와 위상이 반대가 되어 아래쪽 펄스로 되돌아간다. 투과파는 매질이 달라져도 입사파와 같은 위상을 유지하므로 위쪽 펄스로 굵은 줄을 따라 진행한다.

**10** 그림에서 밝은 부분은 마루이므로 이웃한 밝은 줄 사이의 거리로 파장을 비교한다. 물결파의 파장은 A에서가 B에서보다 길다. 파동이 다른 영역으로 진행해도 진동수는 변하지 않으므로 $v=f\lambda$에 따라 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

오답 피하기

ㄴ. 물결파의 속력은 A에서 더 크다.

ㄷ. 속력이 빠른 영역 A에서 느린 영역 B로 진행할 때 경계에서 반사한 파동은 고정단 반사처럼 위상이 반대로 변한다.

**11** 탄성파가 매질 X에서 Y로 진행할 때 주기와 진동수는 변하지 않는다. 경계에서 자유단 반사가 일어났으므로 파동은 속력이 작은 매질에서 큰 매질로 진행한 것이다. 따라서 파동의 속력은 Y에서가 X에서보다 크고, 같은 진동수에서 파장은 Y에서 더 길다. 그림에서 A는 파장이 짧고 B는 파장이 길므로 A가 매질 X, B가 매질 Y에 해당한다.

오답 피하기

ㄴ. 탄성파의 속력은 X에서보다 Y에서 더 크다.

**12** 초음파 영상 진단 장치는 초음파가 신체 내부의 경계면에서 반사되는 정도가 다른 것을 이용한다. 초음파 비파괴 검사는 물체 안으로 보낸 초음파가 결함에서 반사되어 돌아오는 것을 측정하여 결함의 위치나 손상 정도를 알아낸다. 지진파 탐사도 지하 경계면에서 반사되거나 굴절한 지진파를 분석하여 지질 구조나 자원 분포를 파악한다.

**13** 초음파 비파괴 검사는 물체를 파괴하지 않고 내부로 초음파를 보내 결함을 탐지하는 방법이다. 물체 내부의 빈 공간이나 균열에서 초음파가 반사되어 돌아오면, 이를 분석하여 결함의 위치나 크기를 알아낼 수 있다.

오답 피하기

B. 초음파 비파괴 검사는 금속이나 콘크리트와 같은 고체 물체에도 이용할 수 있다.

C. 초음파 비파괴 검사는 물체를 손상시키지 않고 내부를 검사하는 방법이다.

**14** 초음파는 바다 바닥에서 반사되어 다시 배로 돌아오므로, 0.1 초는 초음파가 바다 바닥까지 갔다가 돌아오는 왕복 시간이다. 따라서 바다 바닥까지 가는 데 걸린 시간은 0.05 초이고, 수심은 1500 m/s × 0.05 초 = 75 m이다.

**15** 모범 답안 (1) 가는 줄에서 굵은 줄로 파동이 진행할 때, 경계면은 고정단처럼 작용한다. 따라서 반사파는 위상이 180° 바뀌어 뒤집힌 모양으로 진행하고, 투과파는 위상 변화 없이 원래 모양으로 진행한다.

(2) 굵은 줄에서 가는 줄로 파동이 진행할 때, 경계면은 자유단처럼 작용한다. 따라서 반사파는 위상 변화 없이 원래 모양으로 진행하고, 투과파 역시 위상 변화 없이 원래 모양으로 진행한다.

〔서술형 TIP〕

단순히 반사파가 뒤집히는지 여부만 쓰지 말고, 이 문항에서 투과파는 입사파와 같은 방향으로 진행한다는 점까지 서술한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 두 문제의 답을 모두 옳게 서술한 경우 | 100 |
| 두 문제 중 하나의 답을 옳게 서술한 경우 | 50 |

**16** 모범 답안 물체 내부에 초음파를 쏘아 보냈을 때 빈 공간이나 균열 등 내부 결함이 있는 경계면을 만나면 초음파가 반사되어 돌아온다. 이 반사파가 돌아오는 시간과 세기를 측정하여 내부 결함의 위치와 크기를 알아낸다.

〔서술형 TIP〕

초음파 비파괴 검사의 핵심은 파동의 반사이다. 단순히 초음파로 검사한다고 쓰는 데 그치지 말고, 내부 결함이나 균열이 경계면 역할을 하여 초음파가 반사된다는 점을 서술한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 내부 결함(또는 경계면)에서 초음파가 반사된다는 핵심 원리를 명확하게 서술한 경우 | 100 |
| 초음파가 반사된다는 사실은 언급했으나, 결함(경계면)과의 연관성을 일부만 옳게 서술한 경우 | 50 |

## 03 도플러 효과

### 탐구 기출 문제 | p.131 |

01 ④

**01** 음파 발생기가 음파 측정기에 가까워지면 측정 진동수는 원래 진동수보다 커지고, 멀어지면 원래 진동수보다 작아진다. 음파 발생기의 속력이 5 m/s일 때 측정 진동수가 680 Hz이므로 $680=f_0\frac{340}{340-5}$에서 $f_0=670$ Hz이다. 속력이 2 m/s로 가까워질 때는 5 m/s일 때보다 도플러 효과가 작으므로 ㉠은 680 Hz보다 작다.

오답 피하기

ㄴ. 음파 발생기가 음파 측정기에서 멀어지면 측정 진동수는 원래 진동수 $f_0$보다 작아진다.

### 세미나 기출 문제 | p.133 |

01 ②

**01** 박쥐가 벽을 향해 속력 $v_0$로 운동하므로, 벽에서 관측하는 음파의 진동수는 $f_1=f_0\frac{v}{v-v_0}$이다. 이 음파가 벽에서 반사될 때 벽은 정지해 있으므로 반사파의 진동수는 $f_1$ 그대로이다. 반사파는 벽에서 박쥐 쪽으로 진행하고, 박쥐는 반사파를 향해 운동하므로 박쥐가 측정한 진동수는 $f=f_1\frac{v+v_0}{v}$이다. 따라서 $\frac{f}{f_0}=\frac{v+v_0}{v-v_0}$이다.

### 내신 기초 문제 | p.134~135 |

01 ③ 02 ⑤ 03 ② 04 ② 05 ⑤ 06 ② 07 ⑤ 08 ③

**01** 도플러 효과는 음원과 관측자가 서로 가까워지거나 멀어지는 운동 때문에 관측 진동수가 달라지는 현상이다. 따라서 음원과 관측자가 같은 방향으로 같은 속력으로 움직여 서로 가까워지거나 멀어지지 않으면 관측 진동수는 변하지 않는다. 또 도플러 효과는 음파뿐만 아니라 빛과 같은 전자기파에서도 나타난다.

오답 피하기

ㄴ. 음원과 관측자의 거리가 멀어지면 관측자가 측정하는 진동수는 작아진다.

**02** 구급차에서 나온 사이렌 소리는 공기 중에서 일정한 속력으로 전파된다. 구급차가 철수에게 다가올 때는 철수가 더 높은 진동수의 소리를 듣고, 구급차가 철수 옆을 지나 멀어질 때는 더 낮은 진동수의 소리를 듣는다. 이때 관측 진동수가 작아지면 관측되는 파장은 길어진다.

**03** 물방개가 제자리에 있을 때는 물결파가 모든 방향으로 같은 간격으로 퍼지므로 A와 B에서 물결파의 진동수는 같다. 물방개가 오른쪽으로 이동할 때는 진행 방향 앞쪽인 D에서 파면 사이의 간격이 좁아지고, 뒤쪽인 C에서 파면 사이의 간격이 넓어진다. 따라서 같은 시간 동안 D에서는 더 많은 파면이 지나가므로 D에서 물결파의 진동수가 C에서보다 크다.

**04** 음파 발생기 A는 정지해 있으므로 공기 중 파장은 변하지 않는다. 자동차 B가 음파 발생기에서 멀어지고 있으므로 B가 만나는 파면의 상대 속력은 $V-v_0$이다. 따라서 B에서 측정한 진동수는 $f=f_0\frac{V-v_0}{V}$이므로 $\frac{f}{f_0}=\frac{V-v_0}{V}$이다.

**05** 음원이 정지한 음파 측정기 A 쪽으로 이동하므로 A에서는 원래보다 파장이 짧아지고, 진동수가 높게 측정된다. 반대로 음원은 B에서 멀어지고 있으므로 B에서는 원래보다 파장이 길어지고, 진동수가 낮게 측정된다. 따라서 도플러 효과가 나타나며, 측정 진동수는 A에서가 B에서보다 더 크다.

**오답 피하기**

⑤ 외부 은하의 적색 편이는 광원과 관측자의 거리가 멀어질 때 관측 파장이 길어지는 현상이므로, A에서 측정되는 경우와 반대이다.

**06** (가)에서는 음원이 정지해 있고 음파 측정기가 음원에서 멀어지므로 측정 진동수는 $f_{(가)}=\frac{V-v}{V}\cdot f_0$이다. (나)에서는 음원이 음파 측정기에서 멀어지고 있으므로 측정 진동수는 $f_{(나)}=\frac{V}{V+v}\cdot f_0$이다. 두 경우 모두 측정 진동수는 $f_0$보다 작지만, 같은 속력 $v$일 때 $\frac{V}{V+v}$가 $\frac{V-v}{V}$보다 크므로 $f_0>f_{(나)}>f_{(가)}$이다.

**07** 심장 초음파 검사는 혈액에서 반사된 초음파의 진동수 변화를 이용해 혈류의 속도와 방향을 알아낸다. 은하의 적색 편이는 빛의 도플러 효과로, 멀어지는 천체에서 오는 빛의 파장이 길어지는 현상이다. 스피드건은 물체에서 반사되어 돌아온 전자기파의 진동수 변화를 이용해 물체의 속력을 측정한다.

**08** 허블은 외부 은하의 스펙트럼에서 적색 편이가 나타나는 것을 관측하여 은하들이 멀어지고 있음을 알아냈고, 이를 바탕으로 우주가 팽창한다는 것을 알게 되었다. 외부 은하의 스펙트럼에서는 보통 적색 편이가 관측된다.

**오답 피하기**

ㄴ. 은하의 스펙트럼에는 여러 색의 선이 나타나며, 이 선들이 기준 위치에서 이동한 정도로 편이를 판단한다.

## 내신 실전 문제

| p.136~139 |

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

**01** 음원이 음파 측정기를 향해 속력 $v_s$로 이동하므로, 음원이 한 번 진동하는 동안 앞으로 이동한 거리 $\frac{v_s}{f}$만큼 앞쪽의 파장이 짧아진다. 따라서 음파 측정기에서 측정한 파장 $\lambda'$은 $\lambda$보다 $\frac{v_s}{f}$만큼 짧다. 또 $\lambda'=\frac{V-v_s}{f}$이므로 측정 진동수는 $f'=\frac{V}{\lambda'}=\frac{V}{V-v_s}f$이다.

**02** 경찰차가 철수에게 다가올 때와 멀어질 때 철수가 듣는 진동수는 각각 540 Hz, 450 Hz이다. 경찰차의 속력을 $v$라 하면 도플러 효과 식은 $540=f_0\times\frac{343}{343-v}$, $450=f_0\times\frac{343}{343+v}$이다. 두 식을 나누면 $\frac{540}{450}=\frac{343+v}{343-v}$이므로 $v=31.18\cdots$ m/s이다. 따라서 소수 첫째 자리에서 반올림하면 경찰차의 속력은 31 m/s이다.

**03** B와 음원은 같은 방향으로 같은 속력으로 운동하므로 두 물체 사이의 거리가 변하지 않는다. 따라서 B에서 측정한 진동수는 $f_B=f_0$이다. A는 음원과 서로 멀어지는 방향으로 운동하므로, 음원 뒤쪽에서 파장은 길어지고 A가 파면을 만나는 상대 속력은 작아진다. 따라서 A에서 측정한 진동수는 $f_A=\frac{V-v}{V+v}\cdot f_0$이므로 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{V-v}{V+v}$이다.

**04** A에서 측정한 진동수가 $f_0$보다 작으므로 음원은 A에서 멀어지고 있다. 따라서 음원은 B를 향해 운동한다. A에서 측정한 진동수는 $f_A=\frac{V}{V+v}\cdot f_0=\frac{10}{11}f_0$이므로 $v=\frac{V}{10}$이다.

**오답 피하기**

ㄱ. 음원은 B를 향해 운동한다.

ㄷ. B에서는 음원이 가까워지고 있으므로 측정 진동수는 $f_0$보다 크며 $f_B=\frac{V}{V-v}\cdot f_0=\frac{10}{9}f_0$이다.

**05** 음원 A, B가 모두 정지한 음파 측정기 C를 향해 운동하므로, 음원이 움직이는 도플러 효과를 적용한다. C에서 측정한 A의 진동수는 $\frac{V}{V-v}\cdot f_0$이고, B의 진동수는 $\frac{V}{V-2v}\cdot\frac{8}{9}f_0$이다. 두 진동수가 같으므로 $\frac{V}{V-v}=\frac{8V}{9(V-2v)}$이고, 이를 풀면 $V=10v$이다. 따라서 $v=\frac{V}{10}$이다.

**06** 음원 A, B가 모두 정지한 음파 측정기 C를 향해 운동하므로, 음원이 움직이는 도플러 효과를 적용한다. C에서 측정한 A의 진동수는 $\frac{V}{V-\frac{V}{7}}\cdot f_A=\frac{7}{6}f_A$이고, C에서 측정한 B의 진동수는 $\frac{V}{V-\frac{2}{7}V}\cdot f_B=\frac{7}{5}f_B$이다. 두 진동수가 같으므로 $\frac{7}{6}f_A=\frac{7}{5}f_B$이고, 따라서 $\frac{f_A}{f_B}=\frac{6}{5}$이다.

**07** 문제에서 $\frac{f_B}{f_A}=\frac{5}{6}$이므로, A에서 측정한 진동수가 B에서 측정한 진동수보다 크다. 따라서 음원 S는 A쪽으로 움직이며, A와 B의 속력을 $v$라고 하면, A에서 측정한 진동수 $f_A=\frac{V+v}{V-v_s}f_0$, B에서 측정한 진동수 $f_B=\frac{V+v}{V+v_s}f_0$이다. 문제에서 $\frac{f_B}{f_A}=\frac{5}{6}$이므로 $\frac{V-v_s}{V+v_s}=\frac{5}{6}$이다.

$6(V-v_s)=5(V+v_s)$에서 $V=11v_s$이므로 $v_s=\frac{V}{11}$이다.

**08** B는 음원과 같은 방향으로 같은 속력으로 운동하므로 음원과 B의 상대 속도는 0이다. 따라서 B에서 측정한 진동수는 원래 진동수와 같아 $f_B=f_0$이다. A는 음원에서 멀어지고 있고, 음원도 A에서 멀어지고 있으므로 A에서 측정한 진동수는 $f_A=f_0\times\frac{V-v}{V+v}$가 되어 $f_A<f_B$이다. 이 식을 $v$에 대해 정리하면 $v=\frac{f_0-f_A}{f_0+f_A}\cdot V$이다.

**09** $t=1.5$ s일 때는 음파 측정기와 음원 사이의 거리 $x$가 일정하므로 음원은 정지해 있다. 따라서 이때 측정한 진동수는 원래 진동수 $f_0$이다. $t=2.5$ s일 때 음원이 측정기 쪽으로 다가오므로 $f'=\frac{V}{V-v_s}f_0=\frac{27}{25}f_0$이고, 이를 풀면 $v_s=\frac{2}{27}V$이다. $t=0.5$ s일 때는 같은 속력으로 멀어지는 중이므로 측정 진동수는 $\frac{V}{V+v_s}f_0=\frac{27}{29}f_0$이다.

오답 피하기

ㄴ. $t=0.5$ s일 때 음원의 속력은 $\frac{2}{27}V$이다.

**10** 그래프에서 $t=3t_0$일 때 음원은 음파 측정기에서 멀어지는 방향으로 속력 $v_1$으로 운동하고, $t=7t_0$일 때는 음파 측정기에 가까워지는 방향으로 속력 $3v_1$로 운동한다. 따라서 두 경우의 측정 진동수는 각각 $f_1=\frac{V}{V+v_1}f_0$, $\frac{25}{21}f_1=\frac{V}{V-3v_1}f_0$이다. 두 식을 나누면 $\frac{V+v_1}{V-3v_1}=\frac{25}{21}$이므로 $v_1=\frac{V}{24}$이다.

따라서 $\frac{f_1}{f_0}=\frac{V}{V+v_1}=\frac{V}{V+\frac{V}{24}}=\frac{24}{25}$이다.

**11** 0부터 $t_0$까지 음원은 음파 측정기 쪽으로 다가가므로 측정 진동수는 $f_0$보다 크다. $t_0$부터 $2t_0$까지 음원은 음파 측정기에서 멀어지므로 측정 진동수는 $f_0$보다 작다. 두 구간에서 음원의 속력은 같지만, 다가올 때의 진동수 증가량$\left(\frac{V}{V-v_s}-V\right)$이 멀어질 때의 진동수 감소량$\left(V-\frac{V}{V+v_s}\right)$보다 크므로 $f_0$ 위쪽으로 더 크게 벗어나고, $f_0$ 아래쪽으로는 더 작게 벗어난다.

**12** 처음에는 A가 B의 뒤에서 접근하므로 B가 측정한 진동수는 $f'=f_0\frac{V-v_B}{V-v_A}=\frac{7}{6}f_0$이다. 이후 A가 B보다 앞서 가면 A는 B에게서 멀어지므로 B가 측정한 진동수는 $f'=f_0\frac{V+v_B}{V+v_A}=\frac{9}{10}f_0$이다. 두 식에서 $7v_A-6v_B=V$, $9v_A-10v_B=V$가 되므로 $v_A=2v_B$이다. 따라서 $v_A:v_B=2:1$이다.

**13** 1 단계에서 자동차 B는 음파 송수신기 A로부터 멀어지고 있으므로, B가 측정하는 진동수는 $f'=f_0\frac{V-v_0}{V}$이다. 2 단계에서 자동차 B는 진동수 $f'$인 음파를 반사하여 A 쪽으로 보내는 움직이는 음원처럼 작용한다. 이때 B는 A에서 멀어지고 있으므로 A에서 측정한 진동수는 $f=f'\frac{V}{V+v_0}$이다.

따라서 $\frac{f}{f_0}=\frac{V-v_0}{V+v_0}$이다.

**14** (가)에서는 A, B의 운동 방향이 관측자와 별을 잇는 방향에 수직이므로 시선 방향 속도 성분이 없다. 따라서 도플러 효과에 의한 스펙트럼 변화가 나타나지 않는다. 쌍성계가 한 바퀴 공전할 때 B의 시선 방향 속도 변화도 한 주기 반복되므로, B의 스펙트럼에서 적색 편이가 최대가 되는 시간 간격은 쌍성계의 공전 주기와 같다.

오답 피하기

ㄴ. (나)에서는 A가 관측자 쪽으로 운동하므로 청색 편이, B가 관측자에게서 멀어지므로 적색 편이가 나타난다.

**15** 모범 답안 S는 A 쪽으로 운동한다. $f_A-f_B=\frac{5}{12}f_0$이므로 실제로 A에서 측정한 진동수가 B보다 크므로, A에서는 $f_A>f_0$, B에서는 $f_B<f_0$가 되어 $f_A>f_B$가 된다.

〔서술형 TIP〕

측정 진동수의 크기 비교에서 음원의 운동 방향을 판단한다. 가까워지는 쪽에서는 $f_0$보다 크게, 멀어지는 쪽에서는 $f_0$보다 작게 측정되므로 $f_A > f_B$이면 음원은 A 쪽으로 운동하는 것을 알 수 있다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 음원 S가 A 쪽으로 운동한다고 쓰고, 이유를 도플러 효과로 설명하여 $f_A > f_B$와 연결해 서술한 경우 | 100 |
| 음원 S가 A 쪽으로 운동한다고만 썼거나, A 쪽 진동수가 더 크다는 사실만 언급하고 $f_0$와의 비교 또는 이유 설명이 부족한 경우 | 50 |

**16** (1) 모범 답안 (가)에서는 A, B의 운동 방향이 시선 방향에 수직이므로 도플러 효과에 의한 스펙트럼선의 이동이 나타나지 않는다. (나)에서는 A가 관측자 쪽으로 운동하므로 청색 편이가 나타나고, B가 관측자로부터 멀어지므로 적색 편이가 나타난다.

〔서술형 TIP〕

도플러 효과는 물체의 운동 방향에 시선 방향 성분이 있을 때 나타난다. 따라서 (가)처럼 시선 방향에 수직으로 운동하면 스펙트럼선의 이동이 없고, (나)처럼 시선 방향 성분이 있으면 접근하는 별은 청색 편이, 멀어지는 별은 적색 편이가 나타난다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| (가)에서 도플러 효과가 나타나지 않는 이유를 시선 방향 성분과 연결해 설명하고, (나)에서 A의 청색 편이와 B의 적색 편이를 모두 정확히 서술한 경우 | 100 |
| (가), (나) 중 한 경우만 맞게 설명했거나, 청색 편이·적색 편이의 대응이 일부만 맞는 경우 | 50 |

(2) 모범 답안 별빛의 스펙트럼에 나타나는 도플러 효과를 이용하면 별의 접근과 후퇴를 알 수 있다. 따라서 스펙트럼 변화가 주기적으로 반복되면 두 별이 서로 공전하고 있음을 알 수 있고 공전 주기도 구할 수 있다.

〔서술형 TIP〕

쌍성계는 두 별을 직접 분리해서 보기 어려운 경우가 많다. 이때 스펙트럼선의 주기적인 청색 편이와 적색 편이를 조사하면, 두 별의 공전 여부와 공전 주기를 알아낼 수 있다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 스펙트럼의 도플러 효과로 별의 접근·후퇴를 알 수 있고, 그 변화가 반복되면 공전 운동과 공전 주기를 알 수 있다고 서술한 경우 | 100 |
| 도플러 효과로 운동 상태를 알 수 있다는 점만 썼거나, 쌍성계의 공전 사실만 언급하고 공전 주기까지 연결하지 못한 경우 | 50 |

## 04 파동의 간섭과 정상파

### 탐구 기출 문제 | p.143 |

01 ④

**01** 버저의 진동수가 일정하므로 마개를 이동시켜도 관 안에서 만들어지는 정상파의 진동수는 변하지 않는다. 마개가 있는 쪽은 공기가 막혀 있어 공기 입자가 거의 진동하지 못하므로 정상파의 마디가 형성된다. 또 연속해서 큰 소리가 나는 지점 사이의 거리 차는 $\frac{\lambda}{2}$이므로, 정상파의 파장은 $2(l_2 - l_1)$이다.

오답 피하기

ㄱ. 정상파의 진동수는 버저의 진동수에 의해 정해지므로 마개를 이동해도 일정하다.

### 세미나 기출 문제 | p.145 |

01 ④

**01** 두 수면파가 같은 위상으로 발생했을 때 마루와 마루, 골과 골이 만나면 보강 간섭이 일어난다. p는 두 수면파의 골이 만나는 지점이므로 보강 간섭이 일어난다. r은 마루와 마루가 만나는 지점이므로 경로차는 $\lambda$에 해당한다.

오답 피하기

ㄴ. p는 두 골이 만나는 지점이므로 수면의 높이가 가장 낮다.

### 내신 기초 문제 | p.146~147 |

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

**01** O는 두 음원으로부터 같은 거리에 있는 지점이므로 두 음파가 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어난다. Q에서는 상쇄 간섭이 일어난다고 했으므로, P에서도 대칭성에 의해 Q와 같은 간섭 결과가 나타난다. 따라서 P에서는 두 음파가 반대 위상으로 만난다.

오답 피하기

ㄷ. P와 Q는 대칭인 두 지점이므로 중첩 결과가 같고, 음파의 진폭도 서로 같다.

**02** 상쇄 간섭은 두 파동이 반대 위상으로 중첩될 때 일어난다. 따라서 두 파동의 경로차는 $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$, $\frac{5\lambda}{2}$, …처럼 반파장의 홀수 배이다.

**03** 두 스피커에서 같은 위상으로 소리가 발생하므로 $x=0$에서는 경로차가 0이 되어 항상 보강 간섭이 일어난다. 또 첫 번째 보강 간섭 지점이 $f_1$일 때 $x=2d$, $f_2$일 때 $x=3d$이므로 $f_1$의 파장이 더 짧고, $f_1>f_2$이다.

**04** 두 음파가 같은 진폭으로 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭이 일어나 합성파의 진폭이 0이 될 수 있다. 또 체외 충격파 치료에는 초음파의 보강 간섭을 이용하여 특정 지점에서 진동을 크게 만드는 원리가 이용된다.

오답 피하기

B. 소음 제거 이어폰은 외부 소음과 반대 위상의 음파를 발생시켜 상쇄 간섭이 일어나게 한다.

**05** 양 끝이 고정된 줄에서는 양 끝이 마디가 된다. A는 길이 $2L$ 안에 반파장 1 개가 들어가므로 $\lambda_A=4L$이고, B는 길이 $L$ 안에 반파장 1 개가 들어가므로 $\lambda_B=2L$이다. 두 줄의 진동수는 같으므로 파동의 전파 속력은 $v=f\lambda$에 따라 파장에 비례한다. 따라서 $v_A : v_B=4L : 2L=2 : 1$이다.

**06** 관 속 공기의 정상파는 관 안에서 진행하는 음파와 반사된 음파가 중첩되어 만들어진다. 양쪽 끝이 열린 A에서는 양 끝이 배가 되므로 $l=\frac{\lambda_A}{2}$이고, 한쪽 끝이 닫힌 B에서는 열린 끝이 배, 닫힌 끝이 마디가 되므로 $l=\frac{\lambda_B}{4}$이다. 따라서 $\lambda_A=2l$, $\lambda_B=4l$이고, 소리의 속력이 같으므로 파장이 짧은 A의 진동수가 더 커서 A의 음이 더 높다.

오답 피하기

ㄱ. A의 파장은 $2l$, B의 파장은 $4l$이므로 A의 파장은 B의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

**07** 정상파는 같은 파장과 진폭을 가진 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하면서 중첩되어 만들어진다. 따라서 정상파의 파장은 원래 파동의 파장과 같은 20 cm이고, 배에서의 진폭은 원래 파동의 진폭의 2 배이므로 4 cm이다.

**08** 오르간의 파이프 안에서는 공기의 진동으로 정상파가 만들어진다. 양쪽이 열린 관에서는 양 끝이 배가 되는 정상파가 형성되며, 관의 길이가 짧을수록 파장이 짧아져 진동수가 커지므로 높은 소리가 난다.

오답 피하기

ㄷ. 같은 파이프에서 공기를 세게 불어 넣으면 주로 소리의 세기가 커진다. 소리의 높이는 주로 파이프의 길이와 공명 조건에 따라 정해진다.

## 내신 실전 문제

| p.148~151 |

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

**01** 두 스피커에서 같은 위상으로 같은 진동수의 음파가 발생하므로 $x=0$에서는 보강 간섭이 일어난다. $x=0$에서 $+x$ 방향으로 이동할 때 $x=2d$에서 첫 번째 보강 간섭이 일어났으므로, 대칭인 위치인 $x=-2d$에서도 보강 간섭이 일어난다. 또 $-2d$와 $2d$ 사이에는 $x=0$을 기준으로 양쪽에 각각 한 곳씩 상쇄 간섭 지점이 생긴다.

오답 피하기

ㄷ. 두 스피커에서 발생한 소리의 진동수는 같으므로 $x=-2d$와 $x=2d$에서 측정되는 소리의 진동수도 같다. 위치에 따라 달라지는 것은 소리의 세기이다.

**02** 점 Q까지의 거리는 A에서가 165 m, B에서가 55 m이므로 경로차는 110 m이다. 두 전파는 같은 위상으로 출발하므로 보강 간섭은 경로차가 파장의 정수배일 때 일어난다. 따라서 보강 간섭이 일어날 수 있는 가장 긴 파장은 110 m이다. 상쇄 간섭은 경로차가 반파장의 홀수 배일 때 일어나므로, 가장 긴 파장은 220 m이다.

**03** 두 점파원에서 같은 위상으로 수면파가 발생하므로, 보강 간섭은 경로차가 파장의 정수배일 때 일어난다. 그림의 점들은 $S_2$에서의 거리가 모두 $\frac{L}{2}$로 같으므로, 보강 간섭이 일어나는 지점이 달라질 때마다 $S_1$에서의 거리만 $\lambda$씩 달라진다. 따라서 $S_1$에서 a까지의 거리는 $S_1$에서 b까지의 거리보다 $\lambda$만큼 짧고, 오른쪽 끝 지점에서의 경로차가 $L=4\lambda$이다. c는 경로차가 $3\lambda$인 보강 간섭 지점이다.

**04** 두 수면파가 같은 위상으로 발생하므로 경로차가 반파장의 홀수 배일 때 상쇄 간섭이 일어난다. 선분 $\overline{S_1S_2}$ 위에서는 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3\lambda}{2}$인 지점이 각각 중심의 양쪽에 생기므로 상쇄 간섭 지점은 모두 4 개이다. Q는 $t=0$일 때 골에 해당하므로 반 주기 뒤인 $t=0.2$ 초일 때는 마루가 되어 변위가 A가 된다. 또 그림 (가)에서 파장은 0.08 m이고, 그림 (나)에서 주기는 0.4 초이므로 수면파의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{0.08}{0.4}$ $=0.2$ m/s이다.

**05** 두 물결파의 파장은 20 cm이고 진행 속력은 20 cm/s이므로 주기는 $T=\frac{\lambda}{v}=1$ 초이다. P에서는 서로 다른 종류의 파면이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다. 또 R에서 중첩된 물결파의 변위는 1 초마다 반복되므로 $t=1$ 초일 때와 $t=2$ 초일 때가 같다.

오답 피하기

ㄴ. Q는 같은 종류의 파면이 만나는 지점이므로 중첩된 물결파의 변위가 시간에 따라 변한다.

**06** P와 Q의 진동수는 0.25 Hz로 같으므로 두 파동은 같은 주기로 진동한다. $x=5$ m에서는 P가 진폭 $2A$로 진동하고, Q가 진폭 $A$로 진동하며, 이 지점에서 두 파동은 항상 반대 위상으로 중첩된다. 따라서 중첩된 파동의 변위의 최댓값은 $2A-A=A$이다.

**07** 그림 (가)에서 파장은 4 cm이고, 파동의 속력은 1 cm/s이다. 따라서 진동수는 $f=\frac{v}{\lambda}=\frac{1}{4}=0.25$ Hz이다. 두 파동은 같은 진폭과 파장으로 서로 반대 방향으로 진행하므로 정상파를 만들며, (나)에서 $x=-1$ cm인 지점은 항상 변위가 0인 마디이다.

오답 피하기

ㄷ. $t=4$ 초일 때 $x=0$인 지점에 A와 B의 변위는 모두 골이 오게 되어 중첩에 의한 합성 파동의 변위는 $-2$ cm이다.

**08** 같은 파장과 진폭을 가진 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하며 중첩되면 정상파가 만들어진다. 정상파의 배에서는 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 진폭이 원래 파동의 2 배인 $2A$가 된다.

오답 피하기

ㄴ. P는 정상파의 마디에 해당하므로 상쇄 간섭이 일어나 변위가 항상 0이다

ㄷ. $\frac{4d}{v}$는 한 파장이 이동하는 데 걸리는 시간, 즉 주기이다. 따라서 R의 변위는 처음 상태와 같으며, 그림에서 R의 처음 변위는 0이다.

**09** 양 끝이 고정된 줄에서 A와 C는 모두 기본 진동 형태이므로 줄의 길이 $L$에 반파장 하나가 들어간다. 따라서 A와 C의 파장은 모두 $2L$로 같다. 한편 B는 $S_2$에서 반파장 두 개가 들어간 정상파이므로 파장은 $L$이고, 진동수가 $f_0$이므로 $S_2$에서 파동의 속력은 $Lf_0$이다. A는 파장이 $2L$이고 진동수가 $2f_0$이므로 $S_1$에서 파동의 속력은 $4Lf_0$이다.

오답 피하기

ㄴ. 파동의 속력은 $S_1$에서가 $S_2$에서의 4 배이다.

ㄷ. C는 $S_2$의 기본 진동이므로 진동수는 B의 절반인 $\frac{1}{2}f_0$이다.

**10** A는 양쪽 끝이 열린 관에서 양 끝이 배가 되는 기본 진동이고, B는 한쪽 끝이 닫힌 관에서 열린 끝은 배, 닫힌 끝은 마디가 되는 기본 진동이다. 관의 열린 끝에서는 자유단 반사가 일어난다. A에서는 $l=\frac{\lambda_A}{2}$이므로 $\lambda_A=2l$이고, B에서는 $l=\frac{\lambda_B}{4}$이므로 $\lambda_B=4l$이다. 소리의 속력이 같으므로 진동수는 파장에 반비례하여 A가 B의 2 배이다.

**11** A, B는 같은 진동기 O에 연결되어 진동하므로 정상파의 진동수는 모두 $f_0$로 같다. A에서는 길이 $L$ 안에 한 파장이 들어가므로 파장은 $L$이다. B에서는 길이 $L$ 안에 $\frac{3}{2}$파장이 들어가므로 파장은 $\frac{2L}{3}$이다. 따라서 $v=f\lambda$에 의해 파동의 속력은 A에서가 $f_0L$, B에서가 $\frac{2f_0L}{3}$이다.

오답 피하기

ㄷ. 파동의 속력은 A에서가 B에서의 $\frac{3}{2}$배이다.

**12** 양 끝이 고정된 줄에서는 줄의 길이 안에 배의 개수와 같은 수의 반파장이 들어간다. 따라서 줄의 길이는 $L=\frac{n\times\lambda}{2}$이고, $\lambda=\frac{v}{f}$이다. A에서는 $\lambda_A=\frac{2v_0}{2f_0}=\frac{v_0}{f}$이므로

$L_A = 1 \times \frac{\lambda_A}{2} = \frac{v_0}{2f_0}$이다. B에서는 $\lambda_B = \frac{v_0}{3f_0}$이므로 $L_B = 2 \times \frac{\lambda_B}{2} = \frac{v_0}{3f_0}$이다. 따라서 $L_A : L_B = 3 : 2$이다.

**13** 한쪽이 막힌 관 A에서는 기본 진동일 때 관의 길이가 파장의 $\frac{1}{4}$이므로 $2f = \frac{v}{4L_A}$이다. 양끝이 열린 관 B에서는 기본 진동일 때 관의 길이가 파장의 $\frac{1}{2}$이므로 $3f = \frac{v}{2L_B}$이다. 따라서 $L_A = \frac{v}{8f}$, $L_B = \frac{v}{6f}$이므로 $L_A : L_B = 3 : 4$이다.

**14** 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하며 중첩되면 정상파가 만들어진다. 그림에서 Q는 중첩된 변위의 진폭이 가장 큰 배이므로 두 파동이 같은 위상으로 만나는 지점이다. R은 변위가 항상 0인 마디이므로 두 파동이 반대 위상으로 만나는 지점이다.

오답 피하기

A. P는 중첩된 변위가 시간에 따라 변하는 지점이다.

**15** 모범 답안 B에서 두 스피커의 소리가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭이 일어나므로 진폭이 0인 파형이 나타난다. B에서 그림과 같은 파형이 나타나려면 두 스피커에서 B까지의 거리 차가 반파장의 홀수 배가 되어야 한다.

〔서술형 TIP〕

B에서 상쇄 간섭이 일어나는 조건을 쓰는 문제이다. 따라서 두 스피커에서 B까지의 거리 차가 반파장의 홀수 배라는 점을 쓰고, 그 결과 진폭이 0이 된다고 정리한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 두 스피커에서 B까지의 거리 차가 반파장의 홀수 배임을 쓰고, 상쇄 간섭으로 진폭이 0이 된다고 설명한 경우 | 100 |
| 상쇄 간섭이 일어난다고만 썼거나, 거리 차가 반파장의 홀수 배라는 뜻은 드러났지만 표현이 불완전한 경우 | 50 |

**16** (1) 모범 답안 (가). 한쪽 끝이 막힌 관에서는 정상파가 형성되는 진동수가 기본 진동수의 홀수 배로 나타난다. 1400 Hz와 1800 Hz의 차는 400 Hz이므로 $2f_0 = 400$, $f_0 = 200$ Hz이다. 따라서 1400 Hz $= 7f_0$, 1800 Hz $= 9f_0$이므로 연속하는 정상파가 될 수 있다.

(2) 모범 답안 기본 진동수를 $f_0$라 하면, 한쪽 끝이 막힌 관의 연속하는 정상파는 홀수배이므로 1400 Hz $= 7f_0$, 1800 Hz $= 9f_0$로 둘 수 있다. 따라서 $1800 - 1400 = 9f_0 - 7f_0 = 2f_0$이고, $400 = 2f_0$이므로, $f_0 = 200$ Hz이다.

〔서술형 TIP〕

양쪽이 열린 관에서는 연속하는 정상파의 진동수가 $f_0$ 차이로 나타난다. 한쪽 끝이 막힌 관에서는 홀수배만 가능하므로 연속하는 정상파의 진동수 차이가 $2f_0$가 된다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 한쪽 끝이 막힌 관에서의 진동수가 기본 진동수의 홀수 배로 나타남을 근거로 (1), (2)의 답을 옳게 쓴 경우 | 100 |
| 한쪽 끝이 막힌 관에서의 진동수가 기본 진동수의 홀수 배로 나타남을 근거로 (1) 또는 (2)만 옳게 쓴경우 | 50 |

## 단원 마무리 문제

| p.154~157 |

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

**01** A의 평형 위치는 용수철이 $\frac{mg}{k}$만큼 늘어난 지점이다. 처음에는 $\frac{2mg}{k}$만큼 늘어난 상태에서 놓으므로 A는 평형 위치보다 아래쪽에 있고, 이후 평형 위치를 향해 연직 위 방향으로 운동한다. B의 평형 위치는 $\frac{\frac{m}{2}g}{2k} = \frac{mg}{4k}$만큼 늘어난 지점이므로, 처음 자연 길이에서 놓으면 진폭은 $\frac{mg}{4k}$이다. 따라서 A의 진폭은 $\frac{mg}{k}$, B의 진폭은 $\frac{mg}{4k}$로 A가 B의 4 배이다. 한편 A의 각진동수는 $\sqrt{\frac{k}{m}}$, B의 각진동수는 $\sqrt{\frac{2k}{\frac{m}{2}}} = 2\sqrt{\frac{k}{m}}$이므로 최대 속력은 A가 B의 2 배이다.

오답 피하기

ㄴ. A의 진폭은 B의 4 배이다.

**02** A, B는 모두 평형 위치 O에서 거리 $L$만큼 당겼다가 놓았으므로 진폭은 같다. 단진동에서 평형 위치를 지날 때 속력이 최대이고, 최대 속력은 $v_{max} = \frac{2\pi L}{T}$이다. O에서의 속력이 A가 B의 2 배이므로 $\frac{2\pi L}{T_A} = 2\left(\frac{2\pi L}{T_B}\right)$이고, 이를 정리하면 $T_B = 2T_A$이다. 따라서 A의 주기가 $T$이면 B의 주기는 $2T$이다.

**03** 평행 광선을 비추면 물체의 그림자는 원운동의 정사영이므로 단진동한다. 원운동의 각속도는 $\omega=\frac{v}{r}$이다. B는 진동 중심에서 $\frac{2r}{3}$만큼 떨어진 지점이므로 그림자의 속력은 $v_s=\sqrt{r^2-\left(\frac{2r}{3}\right)^2}=\frac{\sqrt{5}}{3}v$이다. C는 진동 중심에서 $\frac{r}{3}$만큼 떨어진 지점이므로 가속도의 크기는 $a=\omega^2\cdot\frac{r}{3}=\frac{v^2}{3r}$이다.

**04** 모범 답안 초음파가 재료의 표면에서 내부 결함까지 갔다가 반사되어 다시 표면으로 돌아오는 데 걸린 시간은 0.4 ms이다. 0.4 ms=0.0004 초이므로 초음파가 왕복한 거리는 3000 m/s×0.0004 s=1.2 m이다. 따라서 재료의 표면에서 내부 결함까지의 거리는 $x=\frac{1.2}{2}=0.6$ m이다.

〔서술형 TIP〕

초음파가 내부 결함까지 갔다가 다시 돌아오므로, 주어진 시간이 왕복 시간임을 이용한다.

| 채점 기준 | 배점(%) |
|---|---|
| 0.4 ms를 s로 바꾸고, 왕복 거리를 구한 뒤 2로 나누어 $x=0.6$ m를 구한 경우 | 100 |
| 답을 옳게 썼으나 풀이 과정이 미흡한 경우 | 70 |

**05** 그래프에서 이웃한 마루 사이의 거리가 4 m이므로 파장은 4 m이다. 파동의 속력이 10 m/s이므로 주기는 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{4}{10}=0.4$ 초이다. P에서 Q로 바뀌는 최소 시간이 0.3초이고, Q에서 P로 바뀌는 최소 시간이 0.1 초이므로 파동은 $-x$ 방향으로 진행한다.

오답 피하기

ㄷ. 파동은 $-x$방향으로 진행한다.

**06** 실선과 점선은 각각 마루와 골을 나타낸다. 그림에서 이웃한 마루와 골 사이의 간격은 $\frac{\lambda}{2}$이므로, P와 Q 사이의 거리는 $\frac{3\lambda}{2}$이다. 또 반사파가 입사파와 같은 위상을 유지하므로 반사면에서는 자유단 반사가 일어난다. Q에서는 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

오답 피하기

ㄱ. P와 Q 사이의 거리는 $\frac{3\lambda}{2}$이다.

**07** 그림 (나)에서 반사파는 입사파에 비해 위아래가 뒤집힌 모양이므로 반사파의 위상은 입사파와 반대이다. 또 파동이 A에서 B로 진행할 때 고정단 반사처럼 위상이 반대로 바뀌어 반사되므로 파동의 속력은 A에서가 B에서보다 크다.

오답 피하기

ㄷ. 연속적인 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 진동수는 변하지 않는다. 달라지는 것은 파동의 속력과 파장이다.

**08** (가)에서는 음원 A가 음파 측정기 B를 향해 다가가므로, 앞쪽에서 만들어지는 파장은 $\lambda=\frac{V-v_0}{f}$이다. $v_0=\frac{V}{10}$이므로 $\lambda=\frac{9V}{10f}$이다. (나)에서는 음원이 정지해 있고 음파 측정기만 움직이므로, 공기 중에 만들어진 음파의 파장은 변하지 않아 $\lambda=\frac{V}{f}$이다.

오답 피하기

ㄷ. (가)에서 측정 진동수는 $f_{(가)}=\frac{V}{V-v_0}f=\frac{10}{9}f$이고, (나)에서 측정 진동수는 $f_{(나)}=\frac{V+v_0}{V}f=\frac{11}{10}f$이다.

**09** 음원 S가 A에서 멀어지고 B로 가까워지므로 A가 측정한 진동수는 $f_A=\frac{V}{V+v}f_0$이고, B가 측정한 진동수는 $f_B=\frac{V}{V-v}f_0$이다. 따라서 $f_B-f_A=\left(\frac{V}{V-v}-\frac{V}{V+v}\right)f_0=\frac{5}{12}f_0$이다. 이를 정리하면 $\frac{2Vv}{V^2-v^2}=\frac{5}{12}$이고, $24Vv=5(V^2-v^2)$가 된다. 따라서 $v=\frac{V}{5}$이다.

**10** $S_1$, $S_2$에서 발생한 수면파는 서로 반대 위상이므로, 두 점파원으로부터의 경로차가 0인 수직이등분선 위에서는 상쇄 간섭이 일어난다. P는 수직이등분선 위의 점이므로 두 수면파가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭이 일어나고, 변위가 항상 0이다. 따라서 그림 (나)는 Q의 변위를 나타낸 것이다.

오답 피하기

ㄴ. 그림 (나)에서 주기는 4 초이고, 그림 (가)에서 읽은 파장은 0.5 m이다. 따라서 수면파의 속력은 $v=\frac{\lambda}{T}$에서, 0.125 m/s이다.

ㄷ. P는 두 점파원으로부터의 거리가 같아 경로차가 0이고, Q는 보강 간섭선 위의 점이므로 경로차의 크기가 P에서보다 크다.

**11** 그림 (가)의 A에서는 두 물결파의 같은 종류의 파면이 만나므로 보강 간섭이 일어난다. 또 두 경우에서 물결파의 진행 속력은 같고, (나)의 진동수는 (가)의 2 배이다. 파동의 속력 $v=f\lambda$가 일정하므로 진동수가 2 배가 되면 파장은 $\frac{1}{2}$ 배가 되어 $d_1=2d_2$이다.

**오답 피하기**

ㄴ. (나)처럼 두 점파원이 같은 위상으로 진동할 때 $S_1$, $S_2$ 사이의 상쇄 간섭 지점은 중점을 기준으로 대칭으로 생기므로 개수는 짝수 개다.

**12** 음파가 같은 매질을 따라 진행하므로 진동수는 A와 B에서 같다. B에서 두 음파가 상쇄 간섭하려면 두 음파가 반대 위상으로 만나야 하며, 이를 위해 A에서 B까지 가는 두 경로의 경로차는 반파장의 홀수 배가 되어야 한다.

**오답 피하기**

ㄱ. 같은 매질에서 진행하는 동안 음파의 진동수는 변하지 않는다.

ㄴ. 상쇄 간섭이 일어나려면 경로차는 파장의 정수 배가 아니라 반파장의 홀수 배이다.

**13** 눈금실린더는 한쪽 끝이 막힌 관이므로 닫힌 바닥에서는 마디, 열린 끝에서는 배가 되는 정상파가 만들어진다. 소리가 크게 들리는 공기 기둥의 길이가 54 cm, 44 cm, 34 cm로 연속해서 10 cm씩 차이 나므로, 연속한 공명 길이의 차 10 cm는 반 파장에 해당한다. 따라서 소리의 파장은 20 cm이고, 소리의 속력은 $v=f\lambda=1710\ \text{Hz}\times0.20\ \text{m}=342\ \text{m/s}$이다.

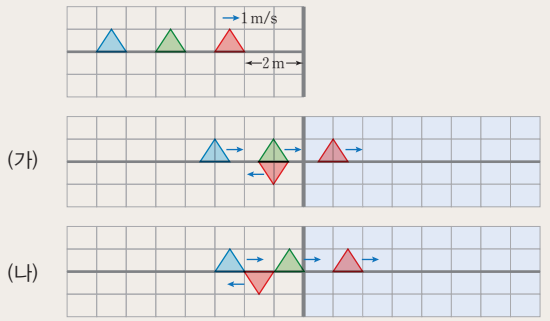
**14** 유리관 속 공기 기둥에서 공명이 일어날 때 소리굽쇠 쪽은 열린 끝, 물 표면은 닫힌 끝처럼 작용한다. 처음으로 소리가 가장 잘 들리는 경우는 공기 기둥의 길이가 $\frac{\lambda}{4}$일 때이다. 소리의 파장은 $\lambda=\frac{v}{f}=\frac{340}{400}\ \text{m}=85\ \text{cm}$이므로, 공기 기둥의 길이는 $\frac{85}{4}=21.25\ \text{cm}$이다. 따라서 약 21 cm이다.

**15** 파동은 벽을 향해 1 m/s의 속력으로 진행하므로, 벽에서 2 m 떨어진 첫 번째 삼각 파형은 2 초 후 벽에 도달한다. 벽은 고정단이므로 반사된 파형은 위상이 반대로 바뀌어 아래쪽 삼각 파형이 되어 되돌아간다. 이후 되돌아오는 반사파가 뒤따라오던 입사파와 중첩되면서 (가)의 모습은 3.5 초 후에 나타나고, (나)의 모습은 반사파가 두 번째와 세 번째 파형 사이를 지나는 4 초 후에 나타난다.

**문제 속 자료**

**반사파의 위치 찾기**

- 경계면에 거울이 있다고 생각하면, 반사파의 위치는 거울 너머로 진행하는 가상의 입사파와 대칭인 위치에 있다.




- (가)는 초기 상태에서 3.5 초가 지난 후의 파형이다. 빨간 펄스의 반사파가 녹색 펄스의 입사파와 상쇄된 모습이다.
- (나)는 초기 상태에서 4 초가 지난 후의 파형이다. 빨간 펄스의 반사파가 녹색과 파란 펄스 사이로 지나간다.

**16** 줄의 길이가 1 m이고 배가 2 개인 정상파가 만들어졌으므로 줄의 길이 안에는 한 파장이 들어간다. 따라서 파장은 1 m이고, 진동수가 50 Hz이므로 파동의 전파 속력은 $v=f\lambda=50\ \text{m/s}$이다. 장력이 일정하면 파동의 전파 속력은 변하지 않으므로, 진동수를 100 Hz로 바꾸면 파장은 0.5 m가 되어 정상파가 만들어질 수 있다. 또 진동수를 50 Hz로 유지하면 파장은 1 m이고, 정상파가 만들어지는 줄의 길이는 $\frac{\lambda}{2}$의 정수 배이다. 따라서 도르래를 왼쪽으로 이동시키는 과정에서 줄의 길이가 0.5 m, 1.0 m, …처럼 $\frac{\lambda}{2}$의 정수 배가 되는 위치에서는 정상파가 다시 나타날 수 있다.