



정답친해

정확한 답과 친절하 해설

물리학 I

역학과 에너지

1 힘과 운동

1 물체의 운동

개념 확인 문제

12쪽

- ① 이동 거리 ② 변위 ③ 속력 ④ 속도 ⑤ 평균 속도
 ⑥ 순간 속도 ⑦ 가속도 ⑧ 가속도 ⑨ 증가
 ⑩ 감소

- 1 이동거리: 150 m, 변위의 크기: 50 m 2 평균 속력 > 평균 속도의 크기 3 (1) ○ (2) × (3) × 4 (1) 16 m (2) 0.4 m/s
 5 (1) × (2) ○ (3) × 6 왼쪽으로 3 m/s²

1 상호는 동쪽으로 100 m를 이동한 후 서쪽으로 50 m를 되돌아왔으므로 상호의 이동 거리는 100 m + 50 m = 150 m이고, 변위의 크기는 100 m - 50 m = 50 m이다.

2 곡선 경로를 따라 운동할 경우 이동 거리는 변위의 크기보다 항상 크다. 평균 속력 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$ 이고, 평균 속도 = $\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}}$ 이므로 아영이의 평균 속력은 평균 속도의 크기보다 크다.

3 (1) 0~5초 동안 물체의 이동 거리가 20 m이다. 평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$ 이므로 $\frac{20 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

(2) 이동 거리 - 시간 그래프의 기울기는 속력을 나타낸다. 기울기가 일정하지 않으므로 물체는 속력이 계속 변하면서 운동한다.

(3) 0~5초 동안 평균 속력 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{20 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

순간 속력은 이동 거리 - 시간 그래프의 각 점에서 접선의 기울기이므로 순간 속력은 계속 변한다. 따라서 0~5초 동안 평균 속력과 순간 속력은 항상 같지는 않다.

4 (1) 물체가 0~6초 동안 10 m를 이동한 후, 방향을 바꾸어 6초~10초 동안 6 m를 이동하였으므로 0~10초 동안 이동한 거리는 10 m + 6 m = 16 m이다.

(2) 시간이 0일 때 물체의 위치가 0이고, 10초일 때 물체의 위치는 4 m이므로 변위의 크기는 4 m이다. 따라서 평균 속도의 크기는 $\frac{4 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 0.4 \text{ m/s}$ 이다.

5 (1) 직선상에서 운동하는 물체의 가속도가 일정하면 속도가 일정하게 증가하거나 일정하게 감소한다.

(2) 직선상에서 운동하는 물체의 속도와 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기(속력)가 증가하고, 속도와 가속도의 방향이 반대이면 속도의 크기(속력)가 감소한다.

(3) 속도의 부호와 가속도의 부호가 같으면 속도의 크기, 즉 속력이 증가한다. 따라서 속도의 부호가 (-)인 경우 가속도의 부호가 (-)이면 속도의 크기는 증가한다. 예를 들어 처음 속도가 -5 m/s인 물체가 -5 m/s²의 가속도로 운동하면 1초 후 속도가 -10 m/s가 된다. 이 경우 속도의 크기(속력)는 5 m/s에서 10 m/s로 증가하였다.

6 오른쪽 방향을 (+) 방향이라고 하면, 자동차의 가속도는 $\frac{3 \text{ m/s} - 12 \text{ m/s}}{3 \text{ s}} = -3 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 방향은 왼쪽이고, 가속도의 크기는 3 m/s²이다.

개념 확인 문제

16쪽

- ① 이동 거리 ② 속력 ③ 등가속도 직선 ④ 속도 변화량
 ⑤ at ⑥ $\frac{1}{2}at^2$ ⑦ $2as$ ⑧ 운동 방향 ⑨ 포물선
 ⑩ 속력

- 1 (1) 35 m (2) 2 m/s 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 (1) 5초
 (2) 100 m 4 (1) 15 m/s (2) 6초 (3) 5 m/s² 5 (1) 일정하다
 (2) 변한다 (3) 변한다 6 (1) × (2) ○ (3) ×

1 (1) 속력 - 시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 이동 거리를 나타낸다. 따라서 (가)에서 0~5초 동안 이동 거리 = $7 \times 5 = 35(\text{m})$ 이다.

(2) 이동 거리 - 시간 그래프의 기울기는 속력을 나타낸다. 따라서 0~5초 동안 물체의 속력은 $\frac{10}{5} = 2(\text{m/s})$ 이고, 그래프의 기울기가 일정하므로 물체는 평균 속력과 순간 속력이 같은 등속 직선 운동을 한다.

2 (1) 속도 - 시간 그래프에서 기울기는 가속도를 나타낸다. 물체는 직선상에서 운동하고 가속도가 일정하므로 등가속도 직선 운동을 한다.

(2) 속도 - 시간 그래프에서 기울기는 가속도를 나타낸다. 따라서 0~10초 동안 물체의 가속도는 $\frac{-40 - 40}{10} = -8(\text{m/s}^2)$ 이다.

(3) 0~5초 동안 그래프와 시간축 사이의 넓이는 (+) 방향으로 이동한 거리이고, 5초~10초 동안 그래프와 시간축 사이의 넓이는 (-) 방향으로 이동한 거리이다. 두 넓이가 같으므로 물체는 10초일 때 처음 위치에 있다.

3 (1) 자동차의 속도가 10 m/s에서 30 m/s가 될 때까지 걸린 시간을 t 라고 하면 가속도의 크기가 4 m/s^2 이므로 $30 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s} + 4 \text{ m/s}^2 \times t$ 이다. 따라서 $t = 5 \text{ s}$ 이다.

(2) 자동차가 등가속도 직선 운동을 하므로 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $2as = v^2 - v_0^2$ 이다. 따라서 자동차가 이동한 거리 $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(30 \text{ m/s})^2 - (10 \text{ m/s})^2}{2 \times 4 \text{ m/s}^2} = 100 \text{ m}$ 이다.

4 (1) 자동차의 처음 속도는 30 m/s이고 나중 속도는 0이므로 자동차의 평균 속도는 $\frac{30 \text{ m/s} + 0}{2} = 15 \text{ m/s}$ 이다.

(2) 평균 속도 $\times$ 걸린 시간 = 이동 거리이다. 자동차가 정지하는 데 걸린 시간을 t 라고 하면 $15 \text{ m/s} \times t = 90 \text{ m}$ 이므로 $t = 6 \text{ s}$ 이다. 따라서 자동차가 정지하는 데 걸린 시간은 6초이다.

(3) 자동차의 가속도는 $\frac{0 - 30 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} = -5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다.

5 (1), (2) 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 일정하고, 운동 방향은 원 궤도의 접선 방향으로 매 순간 변한다.

(3) 물체의 속력은 일정하지만, 운동 방향은 매 순간 변하므로 속도는 일정하지 않고, 계속 변한다.

6 (1), (3) 진자가 아래로 내려갈 때는 속력이 빨라지고, 진자가 위로 올라갈 때는 속력이 느려진다. 따라서 진자의 속력은 일정하지 않고, 계속 변한다.

(2) 진자의 운동 방향은 매 순간 진자가 그리는 원 궤도의 접선 방향이다. 따라서 운동 방향이 계속 변한다.

17쪽

완자샘
비법 특강

Q1 A, 증가한다.

Q2 기울기의 크기가 증가한다.

Q1 속도와 가속도의 부호가 같으면 속도의 크기가 증가하고, 속도와 가속도의 부호가 반대이면 속도의 크기가 감소한다.

Q2 위치-시간 그래프의 기울기는 속도를 나타내므로 속도의 크기가 증가하면 위치-시간 그래프의 기울기도 절댓값이 증가한다. 따라서 기울기의 크기가 증가한다.

대표 자료 분석

18~19쪽

자료 1 1 (1) 6 (2) 6 (3) 2 2 (1) 바뀐다 (2) 4 m (3) 16 m
3 4 m/s 4 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$

자료 2 1 (1) 20 (2) 0 (3) 0 2 (1) 반대이다 (2) 5초 (3) 4초
3 $a_{(7)} > a_{(4)}$ 4 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$

자료 3 1 (1) $\frac{1}{2}v$ (2) $\frac{3}{2}v$ (3) $\frac{2L}{3v}$ 2 (1) 같다 (2) 3배
(3) $\frac{1}{3}$ 배 3 $\frac{3v^2}{2L}$ 4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$

자료 4 1 (1) 6 (2) 6 (3) 2 2 (1) 같다 (2) 1초 (3) 1초
3 9 m/s 4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$

1-1 (1) 0~3초 동안 A의 속력은 2 m/s이므로 A는 3초 동안 $2 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 6 \text{ m}$ 를 이동한다.

(2) 0~3초 동안 A와 B 사이의 거리는 12 m 가까워졌고, A는 3초 동안 B를 향해 6 m를 이동하였으므로 3초 동안 B도 A를 향해 $12 \text{ m} - 6 \text{ m} = 6 \text{ m}$ 를 이동하였다.

(3) B는 3초 동안 6 m를 이동하였으므로 0~3초 동안 B의 속력은 $\frac{6 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

1-2 (1) A와 B 사이의 거리는 0초부터 3초까지는 서로 가까워지고 3초부터 7초까지는 서로 멀어진다. 따라서 B는 A를 향해 운동하다가 3초부터 운동 방향이 바뀌어 A와 멀어진다.

(2) 3초~7초 동안 A의 속력은 1 m/s이므로 A가 4초 동안 이동한 거리는 $1 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 4 \text{ m}$ 이다.

(3) 3초~7초 동안 A는 4 m를 이동하였고, 3초부터 B와 A의 운동 방향이 같아졌다. A와 B 사이의 거리는 12 m 멀어졌으므로 B는 $4 \text{ m} + 12 \text{ m} = 16 \text{ m}$ 를 이동하였다.

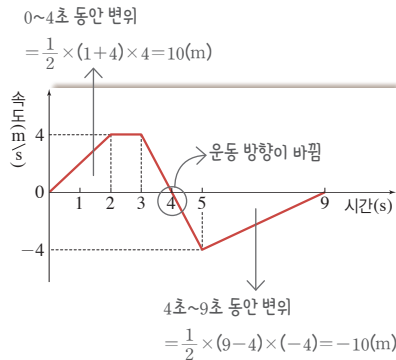
1-3 3초부터 7초까지 B가 16 m를 이동하였으므로 4초 동안 B의 속력은 $\frac{16 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

1-4 (1) A에서 측정한 B의 속력은 A와 B 사이의 거리 그래프에서 기울기의 크기와 같다. 따라서 0~3초 동안 A에서 측정한 B의 속력은 $\frac{12 \text{ m}}{3 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

(2) 3초~7초 동안 B에서 측정한 A의 속력은 A와 B 사이의 거리 그래프에서 3초~7초 동안 기울기의 크기와 같으므로 $\frac{12 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}$ 이다.

다른 풀이 (1) A에서 측정한 B의 속도는 $v_B - v_A = -2 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s} = -4 \text{ m/s}$ 이므로 0~3초 동안 A에서 측정한 B의 속력은 4 m/s이다.
(2) B에서 측정한 A의 속도는 $v_A - v_B = 1 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s} = -3 \text{ m/s}$ 이므로 3초~7초 동안 B에서 측정한 A의 속력은 3 m/s이다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



(1) 속도 - 시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 변위를 나타낸다. 0~4초 동안 변위는 10 m이고, 4초~9초 동안 변위는 -10 m이므로 0~9초 동안 물체가 이동한 거리는 10 m + 10 m = 20 m이다.

(2) 0~4초 동안 속도의 부호가 (+)이므로 물체는 출발점에서 멀어지는 방향으로 운동하고, 4초~9초 동안 속도의 부호가 (-)이므로 물체는 출발점으로 되돌아오는 방향으로 운동한다. 이때 0~4초 동안 변위의 크기와 4초~9초 동안 변위의 크기가 10 m로 같으므로 9초일 때 출발점으로 되돌아온다. 따라서 변위는 10 m - 10 m = 0이다.

(3) 0~9초 동안 변위가 0이므로 평균 속도는 0이다.

2-2 (1) 속도의 부호는 물체의 운동 방향을 나타낸다. 4초일 때 속도의 부호가 바뀌므로 물체의 운동 방향은 4초일 때 바뀐다. 따라서 3초일 때와 5초일 때 운동 방향은 서로 반대이다.

(2) 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 3초부터 5초까지는 가속도의 방향이 (-)이고, 5초부터 9초까지는 가속도의 방향이 (+)이다. 따라서 4초일 때 가속도의 방향은 일정하고, 5초일 때 가속도의 방향이 바뀐다.

(3) 9초일 때 변위는 0이므로 물체는 출발점에 있고, 4초일 때 물체의 운동 방향이 바뀌므로 물체는 4초일 때 출발점으로부터 가장 멀리 떨어져 있다.

2-3 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. 따라서 $a_{(7)} = \frac{4 \text{ m/s} - 0}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이고, $a_{(4)} = \frac{0 - (-4 \text{ m/s})}{9 \text{ s} - 5 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이므로 $a_{(7)} > a_{(4)}$ 이다.

2-4 (1) 속도의 부호는 물체의 운동 방향을 나타내므로 물체의 운동 방향은 4초일 때 한 번 바뀐다.

(2) 2초~3초 동안 속도가 4 m/s로 일정하므로 물체는 등속 직선 운동을 한다.

(3) 4초일 때 속도의 부호가 바뀌므로 운동 방향이 바뀐다.

3-1 (1) A는 등가속도 직선 운동을 하므로 A가 P에서 Q까지 이동하는 동안 A의 평균 속도의 크기는 $\frac{0+v}{2} = \frac{1}{2}v$ 이다.

(2) B는 등가속도 직선 운동을 하므로 B가 Q에서 P까지 이동하는 동안 B의 평균 속도의 크기는 $\frac{2v+v}{2} = \frac{3}{2}v$ 이다.

(3) 평균 속도 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$ 이므로 B가 Q에서 P까지 이동하는 데 걸린 시간은 $\frac{2L}{3v}$ 이다.

3-2 (1) 속도 변화량 = 나중 속도 - 처음 속도이므로 A의 속도 변화량은 $v - 0 = v$ 이고, B의 속도 변화량은 $-v - (-2v) = v$ 이다. 따라서 A와 B의 속도 변화량의 크기는 v 로 같다.

(2) A와 B가 이동한 거리는 L 로 같고, 평균 속도의 크기는 B가 A의 3배이므로 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B의 3배이다.

(3) 가속도 = $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}}$ 이다. A와 B의 속도 변화량의 크기는 서로 같고, 걸린 시간은 A가 B의 3배이므로 가속도의 크기는 A가 B의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

3-3 B의 가속도를 a_B 라고 하면 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $2a_B L = (-v)^2 - (-2v)^2 = -3v^2$ 이므로 $a_B = -\frac{3v^2}{2L}$ 이다. 따라서 B의 가속도의 크기는 $\frac{3v^2}{2L}$ 이다.

3-4 (1) 이동하는 데 걸린 시간 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속도}}$ 이므로 A가 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 $L \times \frac{2}{v} = \frac{2L}{v}$ 이다.

(2) B는 이동하는 동안 속력이 감소하므로 속도의 방향과 가속도의 방향이 서로 반대이다.

(3) 가속도의 크기는 B가 A의 3배이므로 A의 가속도의 크기는 $\frac{v^2}{2L}$ 이고, B가 Q에서 P까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{2L}{3v}$ 이다.

등가속도 직선 운동의 식 $s = \frac{1}{2}at^2$ 에 따라 A가 이동한 거리는

$$\frac{1}{2} \times \frac{v^2}{2L} \times \left(\frac{2L}{v}\right)^2 = \frac{1}{9}L \text{이다.}$$

4-1 (1) 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$ 이므로

$$A \text{의 가속도는 } \frac{(12 \text{ m/s})^2 - 0}{2 \times 12 \text{ m}} = 6 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

(2) 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 중간값과 같으므로 p에서 r까지 운동하는 동안 A의 평균 속력은 $\frac{0 + 12 \text{ m/s}}{2} = 6 \text{ m/s}$ 이다.

(3) A의 평균 속력이 6 m/s이므로 12 m를 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{평균 속력}} = \frac{12 \text{ m}}{6 \text{ m/s}} = 2 \text{ s}$ 이다.

4-2 (1) 같은 빗면에서 중력에 의해 운동하는 물체는 질량에 관계없이 가속도가 같으므로 A와 B의 가속도는 서로 같다.

(2) A가 p에서 q까지 운동할 때, 등가속도 직선 운동의 식 $s = \frac{1}{2}at^2$ 에 따라 $3 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 6 \text{ m/s}^2 \times t^2$ 이므로 $t = 1 \text{ s}$ 이다. 따라서 A가 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이다.

(3) A가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간은 $2\text{초} - 1\text{초} = 1\text{초}$ 이다. B는 A가 q를 지나는 순간 q에서 출발하여 A와 동시에 r를 통과하므로 B가 q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간도 1초이다.

4-3 평균 속력 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}}$ 이므로 B가 q에서 r까지 운동하는 동안 평균 속력은 $\frac{9 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 9 \text{ m/s}$ 이다.

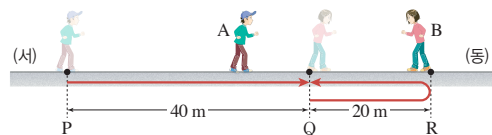
4-4 (1) A의 가속도는 6 m/s^2 이고, p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 1초이므로 q를 통과할 때 A의 속력은 $6 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ s} = 6 \text{ m/s}$ 이다.

(2) B가 q에서 r까지 9 m를 운동하는 데 걸린 시간과 가속도의 크기가 A와 같으므로 A와 B의 속력은 매 순간 같다. 따라서 $v_1 = 6 \text{ m/s}$, $v_2 = 12 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. B는 출발점에서 도착점까지 직선상에서 운동 방향이 변하지 않고 이동하였으므로 이동 거리와 변위의 크기가 같다.

02 200 m 트랙을 한 바퀴 돌면 이동 거리는 200 m이고, 출발점과 도착점이 같으므로 변위는 0이다. 따라서 달리기 선수의 평균 속력은 $\frac{200 \text{ m}}{25 \text{ s}} = 8 \text{ m/s}$ 이고, 평균 속도는 0이다.

03 품고 문제 분석



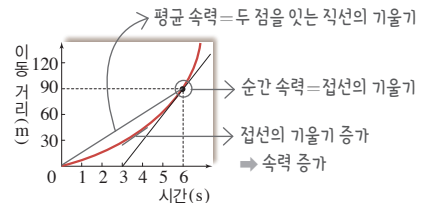
- A의 이동 거리 = 40 m • B의 이동 거리 = 20 m + 20 m = 40 m
- A의 변위의 크기 = 40 m • B의 변위의 크기 = 20 m - 20 m = 0

ㄱ. 0~10초 동안 A와 B의 이동 거리가 같으므로 속력도 같다. 0~5초 동안 A와 B의 운동 방향은 동쪽으로 서로 같고, 속력도 같으므로 A와 B 사이의 거리는 40 m로 일정하다.

ㄴ. 0~10초 동안 A가 이동한 거리는 40 m이고, B가 이동한 거리도 20 m + 20 m = 40 m로 같으므로 A와 B의 평균 속력은 $\frac{40 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$ 로 같다.

바로알기 ㄷ. 0~10초 동안 A는 평균 속력과 평균 속도의 크기가 같지만, B는 처음 위치로 되돌아와서 평균 속도가 0이다. 따라서 A와 B의 평균 속도의 크기는 다르다.

04 품고 문제 분석



ㄱ. 속력은 일반적으로 순간 속력을 의미하며, 순간 속력은 이동 거리 - 시간 그래프에서 접선의 기울기와 같다. 0~6초 동안 접선의 기울기는 계속 증가하므로 자동차의 속력은 계속 증가한다.

ㄴ. 평균 속력은 이동 거리 - 시간 그래프에서 두 점을 잇는 직선의 기울기와 같다. 따라서 0~6초 동안 자동차의 평균 속력은 $\frac{90 \text{ m}}{6 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 6초일 때 자동차의 순간 속력은 6초일 때 그래프의 접선의 기울기와 같으므로 $\frac{90 \text{ m}}{(6-3) \text{ s}} = 30 \text{ m/s}$ 이다.

내신 안정 문제

20~24쪽

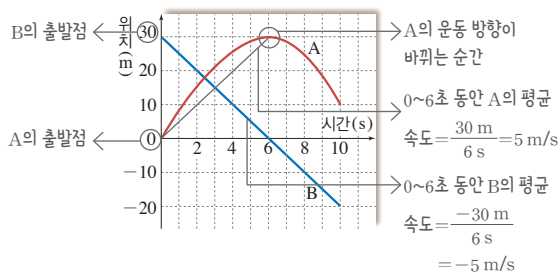
01 ⑤	02 ④	03 ③	04 ⑤	05 ⑤	06 ④
07 ①	08 ⑤	09 10초	10 ②	11 ③	12 62.5 cm/s ²
13 ③	14 ②	15 해설 참조	16 ③	17 ⑤	18 ③
19 ⑤	20 해설 참조	21 ②	22 ⑤	23 ④	24 ③
25 ④					

01 이동 거리는 물체가 실제로 움직인 총거리이고, 변위는 물체의 위치 변화량으로 처음 위치에서 나중 위치까지의 직선 거리와 방향이다.

ㄱ. A와 B의 출발점과 도착점이 같으므로 변위도 같다.

ㄴ. A는 곡선 경로를 따라 이동하였고, B는 직선 경로를 따라 이동하였다. 따라서 이동 거리는 경로가 긴 A가 B보다 크다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 0~6초 동안 A는 위치가 증가하는 운동을 하고, B는 위치가 감소하는 운동을 하였으므로 두 물체의 운동 방향은 반대이다. 6초일 때 A가 운동 방향을 반대로 바꾸어 위치가 감소하는 운동을 하므로 6초 이후 A와 B의 운동 방향은 같다.

ㄷ. A는 0~6초 동안 (+) 방향으로 30 m를 운동 후, 6초~10초 동안 (-) 방향으로 20 m를 되돌아오므로 0~10초 동안 이동한 거리가 50 m이다. B는 (-) 방향으로 계속 운동하여 0~10초 동안 이동한 거리가 50 m이다. 0~10초 동안 A와 B의 이동 거리가 50 m로 같으므로 평균 속력도 $\frac{50 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$ 로 서로 같다.

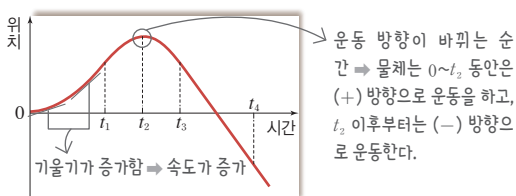
바로알기 ㄱ. 위치 - 시간 그래프에서 평균 속도는 두 점을 잇는 직선의 기울기와 같다. 0~6초 동안 A의 평균 속도는 5 m/s이고, B의 평균 속도는 -5 m/s이다. 따라서 평균 속도의 크기는 같지만 평균 속도의 부호(속도의 방향)가 다르므로 A와 B의 평균 속도는 다르다.

06 ㄱ. 0~2초 동안 A와 B 사이의 거리는 6 m가 가까워지므로 A와 B는 1초에 3 m씩 가까워진다.

ㄷ. A와 B가 1초에 3 m씩 가까워지고, A는 1초에 2 m씩 운동하므로 B는 1초에 1 m씩 운동한다. 따라서 B의 속력 $v = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄴ. A와 B 사이의 거리 - 시간 그래프의 기울기는 A에서 측정한 B의 속력을 나타낸다. 따라서 A에서 측정한 B의 속력은 $\frac{6 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}$ 이다.

07 꼼꼼 문제 분석

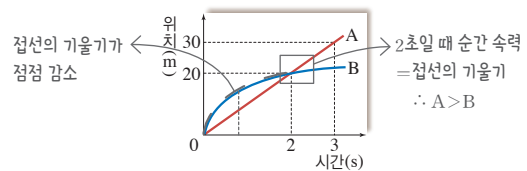


ㄱ. 위치 - 시간 그래프에서 기울기는 속도를 나타낸다. 0~ t_1 동안 그래프의 기울기가 점점 증가하므로 속도의 크기도 점점 증가한다. 속도와 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기가 증가하므로 0~ t_1 동안 물체의 속도와 가속도의 방향은 서로 같다.

바로알기 ㄴ. 시간이 t_2 일 때 위치 - 시간 그래프에서 기울기가 0이므로 속도가 0이다. t_2 전후로 기울기가 계속 감소하므로 속도가 계속 감소한다. 따라서 가속도는 0이 아니다.

ㄷ. 위치 - 시간 그래프에서 기울기의 부호는 속도의 부호(운동 방향)를 나타낸다. t_3 일 때와 t_4 일 때 기울기의 부호는 (-)로 같으므로 t_3 일 때와 t_4 일 때 물체의 운동 방향은 서로 같다.

08 꼼꼼 문제 분석



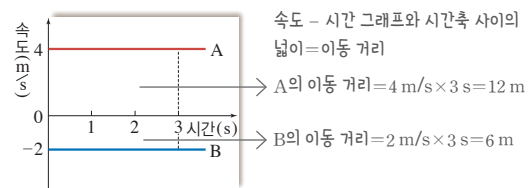
ㄱ. 0~2초 동안 B의 속도(접선의 기울기)의 부호가 (+)이면서 속도의 크기가 점점 감소하므로 가속도의 부호는 (-)이다. 따라서 운동 방향(속도의 방향)과 가속도의 방향은 반대이다.

ㄴ. A, B가 직선 도로에서 한쪽 방향으로만 운동하였고, 0초일 때 위치와 2초일 때 위치가 같으므로 A, B의 이동 거리는 20 m로 같다. 따라서 0~2초 동안 A와 B의 평균 속력은 $\frac{20 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$ 로 같다.

ㄷ. 직선상에서 운동하는 물체의 위치 - 시간 그래프에서 접선의 기울기는 순간 속력을 나타낸다. 2초일 때 접선의 기울기는 A가 B보다 크므로 2초일 때 순간 속력은 A가 B보다 크다.

09 두 자동차가 t 초 후에 만난다면 t 초 동안 두 자동차가 이동한 거리의 합은 300 m이다. 따라서 $10 \text{ m/s} \times t + 20 \text{ m/s} \times t = 300 \text{ m}$ 이므로 $t = 10$ 초이다.

10 꼼꼼 문제 분석



② 0~3초 동안 A가 이동한 거리는 그래프와 시간축 사이의 넓이와 같으므로 $4 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 12 \text{ m}$ 이다.

바로알기 ① A와 B의 속도의 부호가 반대이므로 A와 B의 운동 방향은 반대이다.

③ B의 속도는 일정하므로 이동 거리는 시간이 지날수록 증가한다.

④ B의 속도가 -2 m/s 이므로 속력은 2 m/s 이다.

⑤ A와 B의 운동 방향이 반대이므로 3초일 때 A와 B 사이의 거리는 A와 B의 이동 거리의 합인 $12 \text{ m} + 6 \text{ m} = 18 \text{ m}$ 이다.

11 ㄱ. 출발 후 2초 동안 자동차의 속력이 4 m/s 증가하였으므로 가속도는 $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 자동차는 2 m/s^2 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 3초일 때 속력 $v = v_0 + at = 2 \text{ m/s} + 2 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ s} = 8 \text{ m/s}$ 이다.

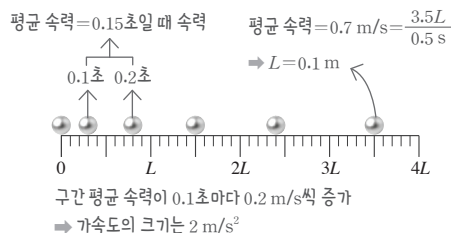
바로알기 ㄷ. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 $\frac{\text{처음 속력} + \text{나중 속력}}{2}$ 이므로 $0 \sim 2$ 초 동안 자동차의 평균 속력은 $\frac{2 \text{ m/s} + 6 \text{ m/s}}{2} = 4 \text{ m/s}$ 이고, $2 \sim 4$ 초 동안 자동차의 평균 속력은 $\frac{6 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s}}{2} = 8 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 $0 \sim 2$ 초 동안 자동차의 이동 거리는 $4 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 8 \text{ m}$ 이고, $2 \sim 4$ 초 동안의 이동 거리는 $8 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 16 \text{ m}$ 이므로 $2 \sim 4$ 초 동안의 이동 거리는 $0 \sim 2$ 초 동안의 2배이다.

12 구간 거리와 구간 평균 속도, 구간 평균 가속도는 표와 같이 구할 수 있다.

시간(s)	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
구간 거리(cm)		10	20	30	40	50
구간 평균 속도(cm/s)		25	50	75	100	125
구간 평균 가속도(cm/s^2)		62.5	62.5	62.5	62.5	

구간 별로 구간 평균 속도가 각각 $\frac{10 \text{ cm}}{0.4 \text{ s}} = 25 \text{ cm/s}$, 50 cm/s , 75 cm/s , 100 cm/s , 125 cm/s 이므로 0.4초마다 평균 속도가 25 cm/s 씩 일정하게 증가하였다. 따라서 장남감 자동차의 가속도의 크기 $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{25 \text{ cm/s}}{0.4 \text{ s}} = 62.5 \text{ cm/s}^2$ 이다.

13 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 공은 $0 \sim 0.5$ 초 동안 $3.5L$ 만큼 이동하였으므로 공의 평균 속력 $0.7 \text{ m/s} = \frac{3.5L}{0.5 \text{ s}}$ 이다. 따라서 $L = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$ 이다.

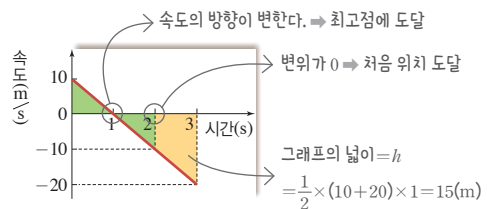
ㄷ. 물체가 등가속도 직선 운동을 하므로 0.15초일 때의 속력은 $0.1 \sim 0.2$ 초 동안의 평균 속력과 같다. 물체가 $0.1 \sim 0.2$ 초 동안 5 cm 를 운동하였으므로 평균 속력은 $50 \text{ cm/s} = 0.5 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 0.15초일 때 물체의 속력도 0.5 m/s 이다.

바로알기 ㄴ. 구간별 위치, 평균 속력은 다음과 같다.

시간(s)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
위치(cm)	0	3	8	15	24	35
구간별 위치 변화(cm)		3	5	7	9	11
구간별 평균 속력(m/s)		0.3	0.5	0.7	0.9	1.1

물체의 구간별 평균 속도가 0.1초마다 0.2 m/s 씩 증가하므로 가속도의 크기는 $\frac{0.2 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

14 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 물체는 2초일 때 처음 위치로 돌아왔다가 3초일 때 지면에 도달한다. 따라서 2초부터 3초까지 물체가 이동한 거리는 h 이다. 속도 - 시간 그래프와 시간축 사이의 넓이는 변위와 같으므로 $h = \frac{1}{2} \times (10 + 20) \times 1 = 15(\text{m})$ 이다.

바로알기 ㄱ. 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도와 같다. 물체가 운동하는 동안 그래프의 기울기가 일정하므로 가속도는 일정하고, 가속도의 방향도 바뀌지 않는다. 1초일 때 속도의 부호가 바뀌므로 1초일 때는 속도의 방향(운동 방향)이 바뀐다.

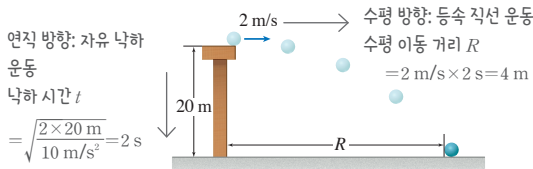
ㄴ. 연직 위로 쏘아 올린 물체는 최고점에서 속도가 0이 되므로 1초일 때 물체는 최고점에 도달한다.

15 연직 위 방향을 (+)라고 하면 물체의 처음 속도는 5 m/s 이고, 물체의 가속도는 -10 m/s^2 이며, 물체가 지면에 떨어질 때까지 이동한 변위는 $-h$ 이다.

모범 답안 물체의 속도 = $5 \text{ m/s} + (-10 \text{ m/s}^2) \times 2 \text{ s} = -15 \text{ m/s}$ 이므로 물체의 속력은 15 m/s 이다. 물체의 변위 = $5 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \times (-10 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s})^2 = -10 \text{ m}$ 이므로 물체의 처음 높이 h 는 10 m 이다.

채점 기준	배점
속력과 높이를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
속력과 높이만 옳게 쓴 경우	50 %

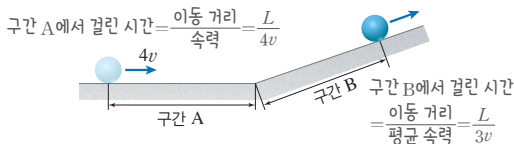
16 고품 문제 분석



수평 방향으로 던진 물체는 수평 방향으로는 처음 속도 그대로 등속 직선 운동을 하고, 연직 방향으로는 자유 낙하 운동과 같이 등가속도 직선 운동을 한다. 20 m를 낙하하는 데 걸린 시간은 자유 낙하 운동의 식 $s = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 $t = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20 \text{ m}}{10 \text{ m/s}^2}} = 2 \text{ s}$ 이다. 따라서 공이 바닥에 도달할 때까지 2초 동안 수평 방향으로 이동한 거리 R 는 $2 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 4 \text{ m}$ 이다.

17 ㄱ. 같은 빗면에서 중력에 의해 운동하는 물체는 질량에 관계없이 가속도가 같다. 따라서 A와 B의 가속도는 같다.
ㄴ. A, B의 가속도를 a 라고 하면 시간 t 동안 A의 이동 거리는 $1 \text{ m/s} \times t + \frac{1}{2}at^2$ 이고 B의 이동 거리는 $1 \text{ m/s} \times t - \frac{1}{2}at^2$ 이다. A와 B가 충돌할 때까지 A와 B의 이동 거리를 더하면 4 m이므로 $2 \times 1 \text{ m/s} \times t = 4 \text{ m}$ 에서 $t = 2$ 초이다.
ㄷ. 빗면 위에서 A의 속력은 증가하고 B의 속력은 감소하므로 충돌할 때까지 이동한 거리는 A가 B보다 크다.

18 고품 문제 분석



ㄱ. 구간 A와 구간 B의 길이는 같고 구간 A에서 물체의 속력이 구간 B에서 물체의 평균 속력보다 빠르므로 구간 A를 통과하는데 걸린 시간이 구간 B를 통과하는데 걸린 시간보다 작다.
ㄷ. 빗면에서 물체의 가속도를 a 라고 하면 구간 B에 들어갈 때와 나올 때 물체의 속력이 각각 $4v, 2v$ 이므로 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $2aL = (2v)^2 - (4v)^2$ 에서 $a = -\frac{6v^2}{L}$ 이다. 따라서 구간 B에서 물체의 가속도의 크기는 $\frac{6v^2}{L}$ 이다.

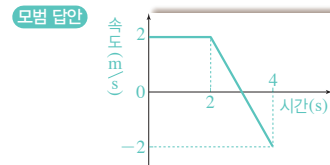
바로알기 ㄴ. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값과 같다. 따라서 구간 B를 빠져나오는 순간 물체의 속력을 v' 이라고 하면 $3v = \frac{4v + v'}{2}$ 이므로 $v' = 2v$ 이다.

19 ㄴ. 1초~2초 동안 직선상에서 운동하는 물체의 속도가 2 m/s 로 일정하므로 물체는 등속 직선 운동을 한다.

ㄷ. 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타내므로 0~2초 동안 변위의 크기는 $\frac{1}{2} \times (1+2) \times 2 = 3 \text{ (m)}$ 이다. 0~2초 동안 속도의 부호는 계속 (+)이므로 물체는 직선상에서 한쪽 방향으로만 운동하였다. 따라서 0~2초 동안 이동한 거리는 변위의 크기와 같은 3 m이다.

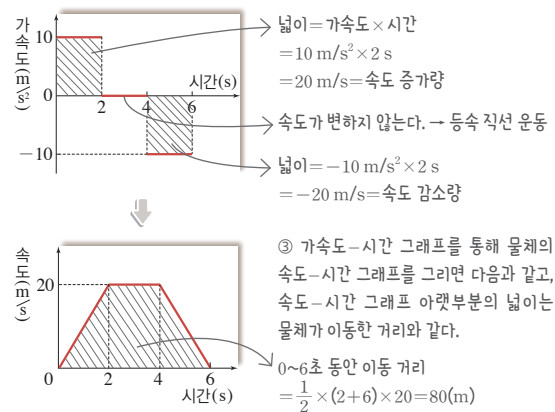
바로알기 ㄱ. 0~1초 동안 물체는 등가속도 직선 운동을 한다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 중간값이다. 따라서 0~1초 동안 평균 속도 = $\frac{0+2 \text{ m/s}}{2} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

20 0~2초 동안은 2 m/s 의 속도로 등속 직선 운동을 하므로 그래프는 시간축에 나란한 모양이 된다.
2초~4초 동안은 -2 m/s^2 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하므로 그래프의 기울기는 -2 가 된다.



채점 기준	배점
속도-시간 그래프를 옳게 그린 경우	100 %
속도-시간 그래프를 옳게 그렸지만, 좌표축의 단위를 쓰지 않은 경우	50 %

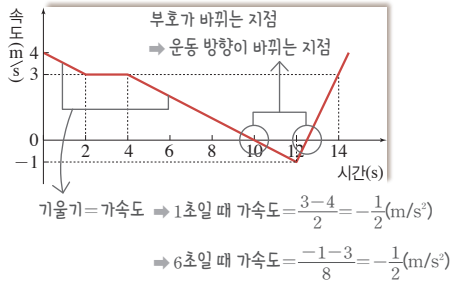
21 고품 문제 분석



① 0~2초 동안 속도 증가량이 20 m/s 이고, 2초~4초 동안은 속도가 변하지 않으므로 4초일 때 물체의 속도는 20 m/s 이다.
④, ⑤ 0~2초 동안과 4초~6초 동안은 가속도의 부호가 다르지만 속도의 부호는 (+)로 같다. 따라서 물체의 운동 방향도 같다.

바로알기 ② 0초일 때 물체의 속도는 0이고, 4초일 때 속도는 20 m/s이므로 0~4초 동안 물체의 평균 가속도는 $\frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{20 \text{ m/s} - 0}{4 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

22 꼼꼼 문제 분석



① 2초~4초 동안 물체는 등속 직선 운동을 하고, 이때 이동한 거리는 $3 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 6 \text{ m}$ 이다.

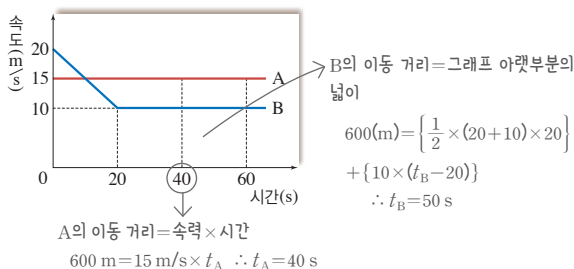
② 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. 따라서 1초일 때 가속도는 $\frac{(3-4) \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = -\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이고, 6초일 때는 $\frac{(-1-3) \text{ m/s}}{8 \text{ s}} = -\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이므로 1초일 때와 6초일 때 가속도는 같다.

③ 4초~10초 동안 가속도는 $-\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이므로 가속도의 방향은 (-) 방향이고, 속도의 부호는 (+)이므로 운동 방향은 (+) 방향이다. 따라서 운동 방향과 가속도의 방향은 서로 반대이다.

④ 4초~12초 동안 물체의 평균 속도는 $\frac{3 \text{ m/s} + (-1 \text{ m/s})}{2} = 1 \text{ m/s}$ 이고, 12초~14초 동안의 평균 속도는 $\frac{-1 \text{ m/s} + 3 \text{ m/s}}{2} = 1 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 4초~12초 동안과 12초~14초 동안 평균 속도는 같다.

바로알기 ⑤ 속도의 부호는 물체의 운동 방향을 나타낸다. 따라서 물체는 10초와 12초~14초 사이에서 두 번 운동 방향이 바뀐다.

23 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 자동차 A, B의 이동 거리가 터널의 길이인 600 m가 되기까지 걸리는 시간 t_A , t_B 는 각각 40초, 50초이므로 600 m 길이의 터널을 먼저 통과하는 자동차는 A이다.

ㄴ. B가 600 m 길이의 터널을 통과하는 데 걸리는 시간은 50초이므로 평균 속력은 $\frac{600 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 12 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 20초 이후부터 A의 속도는 B의 속도보다 항상 크다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 점점 증가한다.

24 ㄱ. (가)는 자유 낙하 운동이므로 속력이 빨라지고 방향은 일정한 운동을 한다.

ㄷ. (다)는 진자의 운동과 같이 빠르기와 운동 방향이 모두 변하는 운동이다.

바로알기 ㄴ. (나)에서 회전목마는 등속 원운동을 하므로 속력은 일정하지만 운동 방향이 변한다. 따라서 속도가 변하는 운동이다.

25 ㄴ. 원운동을 하는 물체가 한 바퀴 돌아 원래 위치로 돌아 오면 변위가 0이므로 그 동안의 평균 속도는 0이다.

ㄷ. 등속 원운동을 하는 물체의 운동 방향은 원 궤도의 접선 방향이다. 따라서 실이 끊어지면 물체는 원 궤도의 접선 방향인 B 방향으로 운동한다.

바로알기 ㄱ. 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 일정하지만 운동 방향은 매 순간 변한다. 따라서 등속 원운동은 속도가 변하는 가속도 운동이다.

실력 UP 문제

25쪽

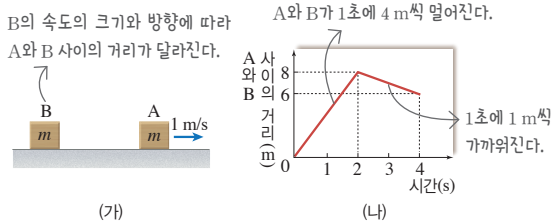
01 ② 02 ⑤ 03 ③ 04 ③

01 ㄷ. 0~2초 동안 자동차의 가속도는 $\frac{25 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2.5 \text{ m/s}^2$ 이고, 2초~12초 동안 가속도는 $\frac{14 \text{ m/s} - 25 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -1.1 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 P와 Q 사이에서 가속도의 크기는 Q와 R 사이에서 가속도의 크기보다 크다.

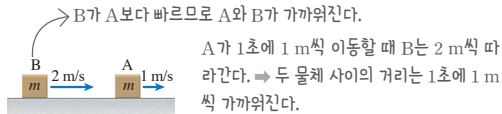
바로알기 ㄱ. P에서 R까지 이동 거리가 240 m이고 걸린 시간은 T이다. 평균 속력이 20 m/s이므로 $\frac{240 \text{ m}}{T} = 20 \text{ m/s}$ 에서 $T = 12 \text{ s}$ 이다.

ㄴ. Q에서 R까지 자동차가 이동한 거리는 195 m이고, 걸린 시간은 12초-2초=10초이므로 평균 속력은 $\frac{195 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 19.5 \text{ m/s}$ 이다. 등가속도 직선 운동에서 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값이므로 $19.5 \text{ m/s} = \frac{25 \text{ m/s} + v}{2}$ 이다. 따라서 $v = 14 \text{ m/s}$ 이다.

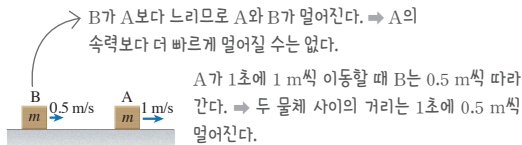
02 곱셈 문제 분석



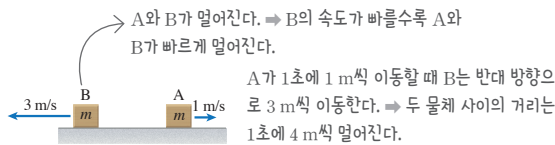
- B의 운동 방향이 A와 같고, B가 더 빠를 때(B의 속도가 +2 m/s인 경우)



- B의 운동 방향이 A와 같고, B가 더 느릴 때(B의 속도가 +0.5 m/s인 경우)



- B의 운동 방향이 A와 반대일 때(B의 속도가 -3 m/s인 경우)



ㄱ. (나)에서 0초부터 2초까지 A와 B 사이의 거리가 1초에 4 m씩 멀어진다. A와 B가 같은 방향으로 운동할 때는 A가 1초에 1 m씩 운동할 때 B도 같은 방향으로 B의 속도만큼 따라가므로 A와 B가 1초에 4 m씩 멀어지는 것은 불가능하다. 따라서 0초부터 2초까지 A와 B의 운동 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. 0초부터 2초까지 두 물체는 서로 반대 방향으로 운동하며 거리가 멀어졌고, (나)에서 2초부터 4초까지 A와 B 사이의 거리가 가까워지므로 2초일 때 B의 운동 방향이 반대로 바뀐다.

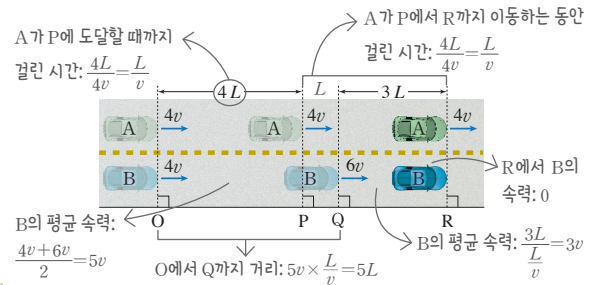
ㄷ. (나)에서 3초일 때 A와 B 사이의 거리는 1초에 1 m씩 가까워지고, A의 속력은 1 m/s이므로 B는 A와 같은 방향으로 2 m/s의 속력으로 운동한다. 따라서 B의 속력은 A의 속력보다 크다.

03 ㄱ. 물체가 빗면 위에서 등가속도 직선 운동을 하므로 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값과 같다. 따라서 0~5초 동안 물체의 평균 속력은 $\frac{4 \text{ m/s} + 0}{2} = 2 \text{ m/s}$ 이고, 5초~8초 동안 물체의 평균 속력은 $\frac{0 + 6 \text{ m/s}}{2} = 3 \text{ m/s}$ 이다. 이동 거리 = 평균 속력 × 시간이므로 $L_1 : L_2 = 2 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} : 3 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 10 : 9$ 이다.

ㄴ. q점에서 속력이 0이므로 0~5초 동안 가속도 = $\frac{0 - 4 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -0.8 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 0~5초 동안 물체의 가속도의 크기는 0.8 m/s^2 이다.

바로알기 ㄷ. $L_1 = 10 \text{ m}$ 이고, $L_2 = 9 \text{ m}$ 이므로 0~8초 동안 물체의 전체 이동 거리는 19 m이다. 따라서 0~8초 동안 물체의 평균 속력은 $\frac{19 \text{ m}}{8 \text{ s}} = \frac{19}{8} \text{ m/s}$ 이다.

04 곱셈 문제 분석



ㄱ. A가 P에 도달할 때까지 걸린 시간은 $\frac{4L}{4v} = \frac{L}{v}$ 이다. B가 O에서 Q까지 운동하는 동안 평균 속력은 $\frac{4v + 6v}{2} = 5v$ 이고, 걸린 시간은 $\frac{L}{v}$ 이므로 O에서 Q까지 이동한 거리는 $5v \times \frac{L}{v} = 5L$ 이다. O에서 P까지 거리가 $4L$ 이므로 P에서 Q까지 거리는 $5L - 4L = L$ 이다.

ㄴ. P에서 R까지 거리가 $4L$ 이므로 A가 P에서 R까지 이동하는 동안 걸린 시간은 $\frac{4L}{4v} = \frac{L}{v}$ 이다. B가 Q에서 R까지 이동하는 동안 걸린 시간도 $\frac{L}{v}$ 이므로 B가 Q에서 R까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{3L}{L} = 3v$ 이다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 평균 속력은 처음 속력과 나중 속력의 중간값과 같으므로 $3v = \frac{6v + \text{나중 속력}}{2}$ 에서 B가 R에 도달할 때 속력은 0이다.

바로알기 ㄷ. B가 O에서 Q까지 이동하는 동안 걸린 시간과 Q에서 R까지 이동하는 동안 걸린 시간이 같으므로 O와 Q 사이에서 B의 가속도의 크기와 Q와 R 사이에서 B의 가속도의 크기는 속도 변화량의 크기에 비례한다. 속도 변화량의 크기는 O와 Q 사이에서는 $2v$ 이고, Q와 R 사이에서는 $6v$ 이므로 B의 가속도의 크기는 O와 Q 사이에서보다 Q와 R 사이에서보다 작다.

개념 확인 문제

28쪽

- ① 알짜힘 ② 힘의 평형 ③ 관성 ④ 뒤로 ⑤ 앞으로
⑥ 질량 ⑦ 정지 ⑧ 등속 직선

1 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × 2 (가) 7 N, 오른쪽 (나) 1 N, 오른쪽 3 3 N 4 ㉠ 유지하려는, ㉡ 크다 5 (1) ○ (2) ○ (3) × 6 ㄱ, ㄴ

- 1 (1) 힘의 단위는 N(뉴턴), kgf(킬로그램힘) 등이다. kg(킬로그램)은 질량의 단위이다.
(2) 알짜힘은 한 물체에 여러 힘이 작용할 때 모든 힘을 합한 합력이다.
(3) 물체에 작용하는 알짜힘에 의해 물체의 운동 상태가 변한다.
(4) 물체의 운동 방향과 같은 방향으로 힘을 받으면 물체의 속력이 빨라지고, 운동 방향과 반대 방향으로 힘을 받으면 속력이 느려진다.
(5) 물체의 운동 방향에 수직으로 힘을 받으면 물체의 속력은 변하지 않고, 물체의 운동 방향만 변한다.

- 2 (1) 두 힘이 같은 방향으로 작용할 때 알짜힘의 크기는 두 힘의 크기를 더한 값과 같으므로 $3\text{ N} + 4\text{ N} = 7\text{ N}$ 이고, 알짜힘의 방향은 두 힘의 방향과 같은 오른쪽이다.
(2) 두 힘이 반대 방향으로 작용할 때 알짜힘의 크기는 큰 힘의 크기에서 작은 힘의 크기를 뺀 값이므로 $4\text{ N} - 3\text{ N} = 1\text{ N}$ 이고, 알짜힘의 방향은 큰 힘의 방향과 같으므로 오른쪽이다.

- 3 한 물체에 작용하는 두 힘이 힘의 평형을 이루기 위해서는 두 힘의 크기가 같고, 방향이 반대 방향으로 작용해야 한다. 따라서 $F = 3\text{ N}$ 이다.

- 4 물체가 원래의 운동 상태를 계속 ㉠유지하려는 성질을 관성이라고 한다. 관성의 크기는 질량이 클수록 ㉡크다.

- 5 (1) 망치 자루가 바닥에 부딪치는 순간 망치 자루는 바닥으로부터 힘을 받아 갑자기 멈춘다.
(2) 직접 힘을 받지 않은 망치 머리는 계속 운동하려는 관성에 의해 바닥 쪽으로 운동하여 망치 자루에 단단히 박히게 된다.
(3) 망치 머리의 질량이 클수록 관성이 커지므로 망치 머리가 더 단단히 박힌다.

- 6 ㄱ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태가 변하지 않으므로 물체는 관성에 의해 등속 직선 운동을 계속한다.

ㄴ. 전진하던 버스가 급정거하면 승객은 계속 운동하려는 관성 때문에 앞으로 넘어진다.

ㄷ. 배에서 노를 저으면 작용 반작용 법칙에 따라 배는 물로부터 힘을 받게 되고, 이 힘에 의해 배는 속도가 점점 빨라지는 운동을 하게 된다. 이 현상은 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)과 제3법칙(작용 반작용 법칙)으로 설명할 수 있다.

개념 확인 문제

32쪽

- ① 알짜힘 ② 질량 ③ 비례 ④ 반비례 ⑤ 같고 ⑥ 반대
⑦ 작용 반작용

1 (1) 1 : 2 (2) 2 : 1 2 (1) 2 m/s^2 (2) 4 m/s 3 $B > A > C$
4 (1) 2 m/s^2 , 오른쪽 (2) 4 N 5 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 6
㉠ 작용 반작용, ㉡ 힘의 평형

- 1 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. A와 B의 가속도의 비 $A : B = \frac{20\text{ m/s}}{10\text{ s}} : \frac{10\text{ m/s}}{10\text{ s}} = 2 : 1$ 이다.

- (1) 두 물체에 작용한 힘의 크기가 같을 때 가속도는 질량에 반비례한다. 따라서 두 물체의 질량의 비 $m_A : m_B = \frac{1}{2} : \frac{1}{1} = 1 : 2$ 이다.

- (2) 두 물체의 질량이 같을 때 가속도의 크기는 힘의 크기에 비례한다. 따라서 두 물체에 작용하는 힘의 크기의 비 $F_A : F_B = 2 : 1$ 이다.

- 2 (1) $a = \frac{F}{m} = \frac{4\text{ N}}{2\text{ kg}} = 2\text{ m/s}^2$

- (2) 물체가 등가속도 직선 운동을 하므로 $v = at$ 이다. 따라서 2초인 순간 물체의 속도 $v = 2\text{ m/s}^2 \times 2\text{ s} = 4\text{ m/s}$ 이다.

- 3 A의 가속도 $= \frac{F}{m}$, B의 가속도 $= \frac{3F}{2m}$, C의 가속도 $= \frac{F}{3m}$
이므로 가속도의 크기를 비교하면 $B > A > C$ 이다.

- 4 (1) 두 물체가 실로 연결되어 함께 운동하므로 질량이 $2\text{ kg} + 3\text{ kg} = 5\text{ kg}$ 인 물체에 10 N 의 힘이 작용하는 것과 같다. 따라서 두 물체의 가속도의 크기 $a = \frac{10\text{ N}}{2\text{ kg} + 3\text{ kg}} = 2\text{ m/s}^2$ 이고, 가속도의 방향은 힘의 방향과 같으므로 오른쪽이다.

- (2) A의 가속도의 크기는 2 m/s^2 이므로 A에 작용하는 알짜힘은 $F = ma = 2\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 4\text{ N}$ 이다.

5 (1) 두 물체 사이에 상호 작용 하는 힘은 작용 반작용 관계인 두 힘으로 힘의 크기가 서로 같고 방향은 반대이며 동시에 작용한다.

(2) 작용 반작용 관계인 두 힘은 서로 다른 물체에 작용하는 힘이므로 합력을 구할 수 없다. 합력은 한 물체에 작용하는 두 힘에 대해 구할 수 있다.

(3) 사람이 벽에 힘을 작용하면 작용 반작용 법칙에 따라 벽도 사람에게 크기가 같고, 방향이 반대인 힘을 작용한다.

(4) 태양이 지구를 당기는 힘의 반작용으로 지구도 태양을 당긴다.

6 물체에 작용하는 중력과 이 물체가 지구를 당기는 힘은 서로
㉠작용 반작용 관계이고, 물체에 작용하는 중력과 지면이 물체를 받치는 힘은 서로 ㉡힘의 평형 관계이다.

33쪽

완자쌤
비법 특강

Q1 같다.

Q2 같다.

Q1 A가 B를 당기는 힘과 B가 A를 당기는 힘은 작용 반작용의 관계이므로 힘의 크기는 서로 같고, 힘의 방향이 반대이다.

Q2 천장이나 벽에 고정된 도르레는 힘의 방향을 바꾸어 주는 역할만 한다. 따라서 도르레 양쪽에 걸쳐진 실의 장력은 크기가 같다.

대표 자료 분석

34~35쪽

자료 1 1 컵 속으로 떨어진다. 2 A 3 추가 정지해 있으려고 하는 관성에 의해 실을 당기는 힘이 A로 전달되지 않기 때문이다. 4 관성 5 (1) ○ (2) × (3) ○

자료 2 1 3 m/s^2 2 (1) 6 N (2) 9 N 3 9 N 4 9 N
5 (1) × (2) ○ (3) ×

자료 3 1 10 N 2 5 m/s^2 3 5 m/s^2 4 15 N
5 (1) ○ (2) × (3) ○

자료 4 1 mg 2 물체가 지구를 당기는 힘, mg 3 0
4 mg 5 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

1-1 손가락으로 종이를 튕기면 종이는 튕겨 나가지만 동전은 관성에 의해 계속 정지해 있으려 한다. 따라서 동전은 종이와 함께 움직이지 못하고 종이가 빠져나간 후 중력에 의해 컵 속으로 떨어지게 된다.

1-2 실을 천천히 잡아당기면 실 B에는 실을 당기는 힘만 작용하지만 실 A에는 추의 무게와 실 B를 당기는 힘의 합력이 작용한다. 이 합력이 실이 견딜 수 있는 힘의 크기를 넘어서면 실 A가 끊어진다.

1-3 실 B를 빠르게 잡아당기면 추의 관성에 의해 실 B를 잡아당기는 힘이 실 A로 전달되지 않으므로 실 B가 끊어진다.

1-4 (가), (나)는 정지해 있는 물체가 계속 정지해 있으려고 하는 관성에 의한 현상이다.

1-5 (1) (가)에서 동전이 계속 정지해 있으려 하므로 (가)에서 관성을 나타내는 물체는 동전이다.

(2) (나)에서 추가 정지한 상태를 계속 유지하려 하므로 (나)에서 관성을 나타내는 물체는 추이다.

(3) 물체가 힘을 받지 않으면 관성 법칙에 따라 물체의 운동 상태가 변하지 않는다.

2-1 두 물체의 전체 질량이 $2 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 5 \text{ kg}$ 이므로 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m_A + m_B} = \frac{15 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 3 \text{ m/s}^2$ 이다.

2-2 (1) A에 작용하는 알짜힘 = A의 질량 × 가속도
 $= 2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$ 이다.

(2) B에 작용하는 알짜힘 = B의 질량 × 가속도
 $= 3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 9 \text{ N}$ 이다.

2-3 A에 오른쪽 방향으로 15 N 의 힘이 작용할 때 A에 작용하는 알짜힘이 6 N 이므로 B가 A에 작용하는 힘은 왼쪽 방향으로 $15 \text{ N} - 6 \text{ N} = 9 \text{ N}$ 이다.

2-4 A가 B에 작용하는 힘은 B가 A에 작용하는 힘과 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다. 따라서 A가 B에 작용하는 힘의 크기도 9 N 이다.

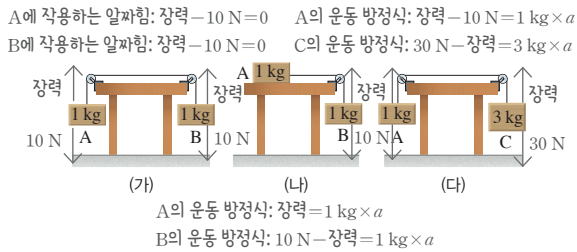
다른 풀이 A가 B에 작용하는 힘은 B에 작용하는 알짜힘으로 9 N 이다.

2-5 (1) $F = ma$ 이므로 가속도 a 가 같을 경우 알짜힘 F 는 질량 m 에 비례한다.

(2) 힘은 두 물체 사이의 상호 작용으로 작용 반작용 법칙에 따라 항상 쌍으로 작용한다.

(3) A가 B를 미는 힘의 반작용으로 B도 A에 같은 크기의 힘을 반대 방향으로 작용한다.

3-1 꼼꼼 문제 분석



(가)에서 A, B는 정지해 있으므로 A, B는 각각 힘의 평형 상태를 이루고 있다. A, B에는 각각 아래쪽으로 10 N의 중력이 작용하므로 위쪽으로 10 N의 실이 당기는 힘(장력)이 작용한다.

3-2 (나)에서 A, B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력이므로 알짜힘의 크기는 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다. A, B를 한 물체로 생각하면 질량이 $1 \text{ kg} + 1 \text{ kg} = 2 \text{ kg}$ 인 물체에 알짜힘 10 N이 작용하므로 A, B의 가속도는 $\frac{10 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

3-3 (다)에서 A에 작용하는 중력은 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이고, C에 작용하는 중력은 $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ N}$ 이다. A와 C를 한 물체로 생각하면 질량이 $1 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 4 \text{ kg}$ 인 물체에 알짜힘 $30 \text{ N} - 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이 작용하고 있다. 따라서 A와 C의 가속도는 $\frac{20 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

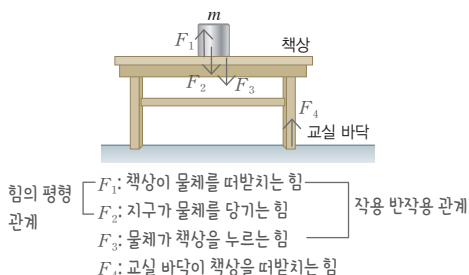
3-4 C에 작용하는 알짜힘=C의 질량×가속도= $3 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 15 \text{ N}$ 이다.

3-5 (1) (나)에서 A와 B의 가속도는 5 m/s^2 이므로 B에 작용하는 알짜힘= $1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다.

(2) (다)에서 C에 작용하는 중력은 아래쪽으로 30 N이고, C에 작용하는 알짜힘은 아래쪽으로 15 N이므로 $30 \text{ N} - \text{실의 장력} = 15 \text{ N}$ 이다. 따라서 실의 장력은 위쪽으로 15 N이다.

(3) $F=ma$ 이므로 가속도 a 의 방향은 힘 F 의 방향과 같다.

4-1 꼼꼼 문제 분석



물체에 작용하는 중력의 크기는 물체의 질량×중력 가속도= mg 이다. 물체에 작용하는 중력은 물체의 무게이다.

4-2 물체에 작용하는 중력은 지구가 물체를 당기는 힘이므로 물체에 작용하는 중력의 반작용은 물체가 지구를 당기는 힘이다. 이때 작용 반작용 관계인 두 힘의 크기는 mg 로 같다.

4-3 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

4-4 물체에 작용하는 힘은 물체의 무게와 책상이 물체를 떠받치는 힘이다. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이므로 물체의 무게와 책상이 물체를 떠받치는 힘은 크기가 mg 로 같고, 방향이 반대이다.

4-5 (1) 지구가 물체를 당기는 힘과 물체가 지구를 당기는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다.

(2) 물체에 작용하는 중력과 책상이 물체를 떠받치는 힘은 한 물체에 작용하는 두 힘으로 두 힘의 크기가 같고, 방향이 반대이므로 힘의 평형 관계이다.

(3) 물체가 책상을 누르는 힘과 책상이 물체를 위로 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계이다.

(4) 교실 바닥이 책상을 떠받치는 힘의 크기는 책상과 물체의 무게를 더한 값과 같다.

내신 안정 문제

36~40쪽

01 ①	02 ②	03 ①	04 ③	05 ③	06 ③
07 ④	08 ④	09 ③	10 ③	11 해설 참조	12 ③
13 ④	14 ④	15 ③	16 ①	17 ④	18 ②
19 ④	20 ①	21 ①	22 ①	23 ⑤	24 ①
					25 ①

01 물체에 왼쪽과 오른쪽으로 작용하는 두 힘의 합력이 0이므로 위쪽으로 작용하는 2 N의 힘만 남는다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 위쪽으로 2 N이다.

02 ㄷ. 물체가 R점을 지나 포물선 운동을 할 때 물체에는 운동 방향에 비스듬한 방향으로 중력이 작용하므로 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 운동을 한다.

바로알기 ㄱ. 물체가 P점에서 Q점까지 등가속도 직선 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이 아니다.

ㄴ. 물체가 Q점에서 R점까지 운동하는 동안 물체의 운동 상태가 변하지 않으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

03 ㄴ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태가 변하지 않으므로 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고, 운동하던 물체는 등속 직선 운동을 한다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 물체의 운동 방향에 반대 방향으로 알짜힘이 작용할 때이다.

ㄷ. 속력이 일정한 원운동(등속 원운동)을 하는 물체에는 물체의 운동 방향에 수직인 방향으로 알짜힘이 작용한다.

04 ①, ② 질량이 큰 물체일수록 관성이 크고, 가속도는 질량에 반비례하므로 관성이 큰 물체일수록 가속시키기가 어렵다.

④ 물체가 원래의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

⑤ 버스가 갑자기 출발하면 승객들은 정지 상태를 유지하려고 하므로 승객들이 뒤로 넘어진다.

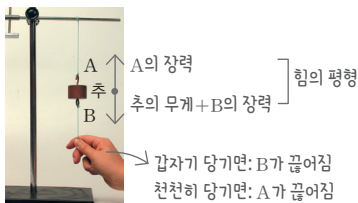
바로알기 ③ 질량이 있는 물체는 운동 상태에 관계없이 관성이 있다. 정지해 있는 물체도 관성이 있기 때문에 계속 정지 상태를 유지할 수 있다.

05 ㄱ. 망치 자루를 바닥에 부딪치면 망치 자루는 갑자기 정지하게 되고, 망치 머리는 관성에 의해 운동 상태를 유지하려고 하므로 망치 머리가 망치 자루에 더 단단히 박히게 된다.

ㄴ. 젖은 칫솔을 휘두르면 칫솔의 속도가 갑자기 변하게 되고, 칫솔에 붙어 있던 물은 관성에 의해 운동하던 방향으로 계속 운동하려고 하므로 칫솔에서 물이 떨어진다.

바로알기 ㄷ. 우주선이 우주 공간에서 가스를 분출하는 추진력을 이용하여 속력과 운동 방향을 바꿀 수 있는 것은 작용 반작용 법칙과 관련된 예시이다. 우주선이 가스를 밀어내는 힘의 반작용인 가스가 우주선을 밀어내는 힘으로 우주선은 운동 방향을 바꿀 수 있다.

06 품공 문제 분석



ㄱ. 추가 정지해 있으므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. 실 B를 갑자기 큰 힘으로 잡아당기면 관성에 의해 추가 정지해 있으려고 하므로 실 B를 잡아당기는 힘이 실 A까지 전달되지 않는다. 따라서 실 A보다 실 B에 더 큰 힘이 걸린다.

바로알기 ㄴ. 실 A에는 추의 무게와 실 B를 잡아당기는 힘의 합력이 작용하고, 실 B에는 실 B를 잡아당기는 힘만 작용한다. 따라서 실 A에 걸리는 장력이 실 B에 걸리는 장력보다 크다.

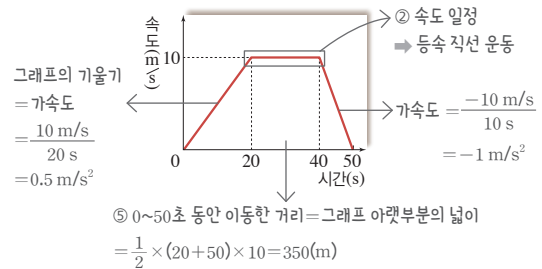
07 ㄱ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도와 같으므로 (가)에서 수레의 가속도는 $\frac{8 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. 수레에 작용하는 알짜힘의 크기는 4 N이므로 가속도 법칙에 따라 $F=ma$ 에서 수레의 질량은 $\frac{4 \text{ N}}{2 \text{ m/s}^2} = 2 \text{ kg}$ 이다.

ㄴ. 가속도 법칙에 따라 알짜힘이 일정할 때 물체의 가속도는 질량에 반비례한다. 실험 결과에서 수레만 있을 때 가속도는 2 m/s^2 이고, 수레와 추 1개가 있을 때 가속도는 $\frac{4 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이므로 수레와 추 1개가 있을 때가 수레만 있을 때보다 질량이 2배이다. 따라서 수레의 질량과 추 1개의 질량은 서로 같다.

바로알기 ㄷ. 수레의 질량과 추 1개의 질량이 서로 같으므로 수레와 추 2개가 있을 때 질량은 수레만 있을 때 질량의 3배이다. 따라서 수레와 추 2개가 있을 때 가속도 $\frac{v_0}{4 \text{ s}}$ 는 수레만 있을 때의

$\frac{1}{3}$ 배이므로 $\frac{v_0}{4 \text{ s}} = \frac{1}{3} \times \frac{8 \text{ m/s}}{4 \text{ s}}$ 에서 $v_0 = \frac{8}{3} \text{ m/s}$ 이다.

08 품공 문제 분석



① 0~20초 동안 속도와 가속도의 부호가 모두 (+)이므로 운동 방향과 가속도의 방향이 같다.

③ 40초~50초 동안 물체의 가속도는 $\frac{-10 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -1 \text{ m/s}^2$ 이다. 가속도 법칙에 따라 물체에 작용한 알짜힘 $F=ma$ 이므로 40초~50초 동안 물체에 작용한 알짜힘은 $200 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}^2) = -200 \text{ N}$ 이다. 따라서 알짜힘의 크기는 200 N이다.

바로알기 ④ 0~50초 동안 속도의 부호가 계속 (+)이므로 물체의 운동 방향은 바뀌지 않았다.

09 ㄱ. 물체의 무게는 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 위쪽 방향으로 20 N의 알짜힘이 작용하므로 가속도의 방향은 위쪽 방향이고, 가속도의 크기는 $\frac{F}{m} = \frac{20 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}^2$ 이다.

바로알기 ㄴ. 물체에는 위쪽으로 40 N의 힘이 작용하고, 아래쪽으로 20 N의 중력이 작용하므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 위쪽 방향이고, 알짜힘의 크기는 $40 \text{ N} - 20 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이다.

10 ① A, B가 수평면 위에서 붙어서 함께 운동하므로 두 물체를 질량이 $3\text{ kg} + 2\text{ kg} = 5\text{ kg}$ 인 한 물체로 생각하면 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{20\text{ N}}{5\text{ kg}} = 4\text{ m/s}^2$ 이다.

②, ⑤ A에 작용하는 알짜힘 = 질량 $\times$ 가속도 $= 3\text{ kg} \times 4\text{ m/s}^2 = 12\text{ N}$ 이고, B에 작용하는 알짜힘 $= 2\text{ kg} \times 4\text{ m/s}^2 = 8\text{ N}$ 이므로 A와 B에 작용하는 알짜힘의 크기의 비는 질량의 비와 같은 $12\text{ N} : 8\text{ N} = 3\text{ kg} : 2\text{ kg} = 3 : 2$ 이다.

④ B가 A를 미는 힘은 A에 작용하는 알짜힘과 같으므로 12 N 이다.

바로알기 ③ A가 B를 미는 힘은 B가 A를 미는 힘과 작용 반작용 관계이므로 B가 A를 미는 힘과 크기가 같다. 따라서 A가 B를 미는 힘의 크기도 12 N 이다.

11 세 물체의 전체 질량은 7 kg 이고, 세 물체에 작용하는 힘의 크기는 28 N 이므로 가속도의 크기 $a = \frac{F}{m} = \frac{28\text{ N}}{7\text{ kg}} = 4\text{ m/s}^2$ 이다. A, B를 질량이 $4\text{ kg} + 2\text{ kg} = 6\text{ kg}$ 인 한 물체로 생각하면, A, B에 작용하는 알짜힘은 오른쪽으로 작용하는 힘 28 N 과 왼쪽으로 C가 B를 미는 힘 F 의 합력이다. 따라서 운동 방정식 $28\text{ N} - F = 6\text{ kg} \times 4\text{ m/s}^2$ 에서 $F = 4\text{ N}$ 이다.

다른 풀이 작용 반작용 법칙에 따라 C가 B를 미는 힘의 크기는 B가 C를 미는 힘의 크기와 같다. B가 C를 미는 힘은 C에 작용하는 알짜힘과 같으므로 C가 B를 미는 힘의 크기는 $1\text{ kg} \times 4\text{ m/s}^2 = 4\text{ N}$ 이다.

모범 답안 가속도 $a = \frac{28\text{ N}}{7\text{ kg}} = 4\text{ m/s}^2$ 이고, C가 B를 미는 힘을 F 라고 하면 $28\text{ N} - F = 6\text{ kg} \times 4\text{ m/s}^2$ 에서 $F = 4\text{ N}$ 이다.

채점 기준	배점
가속도와 힘의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
가속도와 힘의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %

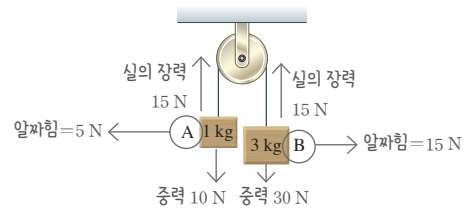
12 ㄱ. 두 물체는 같은 가속도로 함께 운동한다. 두 물체의 질량이 $10\text{ kg} + 5\text{ kg} = 15\text{ kg}$ 이고, 두 물체에 작용하는 알짜힘이 30 N 이므로 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{30\text{ N}}{15\text{ kg}} = 2\text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. A에 작용하는 알짜힘은 $10\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 20\text{ N}$ 이고, B에 작용하는 알짜힘은 $5\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 10\text{ N}$ 이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 A가 B의 2배이다.

바로알기 ㄷ. B에는 오른쪽으로 30 N 의 힘이 작용하고, 왼쪽으로 실이 B를 당기는 힘(장력)이 작용한다. 두 힘의 합력이 B에 작용하는 알짜힘이므로 $30\text{ N} - \text{장력} = 10\text{ N}$ 에서 장력 $= 20\text{ N}$ 이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 20 N 이다.

다른 풀이 ㄷ. 같은 실에는 같은 장력이 작용하므로 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘과 같다. 실이 A를 당기는 힘은 A에 작용하는 알짜힘이므로 실의 장력 $= 10\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 20\text{ N}$ 이다.

13 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 두 물체에 작용하는 알짜힘 = B에 작용하는 중력 - A에 작용하는 중력 $= 3\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 - 1\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 = 20\text{ N}$ 이다. 따라서 두 물체의 가속도 $= \frac{20\text{ N}}{(1+3)\text{ kg}} = 5\text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. B에 작용하는 알짜힘은 $3\text{ kg} \times 5\text{ m/s}^2 = 15\text{ N}$ 이다.

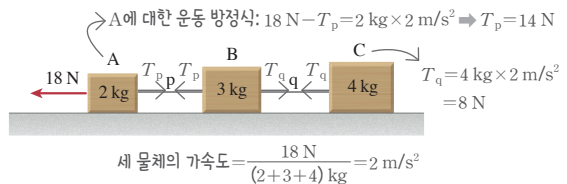
바로알기 ㄷ. B에 작용하는 알짜힘 = B에 작용하는 중력 - 실이 B를 당기는 힘이므로 실이 B를 당기는 힘은 B에 작용하는 중력 - B에 작용하는 알짜힘 $= 30\text{ N} - 15\text{ N} = 15\text{ N}$ 이다.

14 ㄱ. 질량이 3 kg 인 B에 작용하는 중력 30 N 이 알짜힘으로 작용하여 A, B가 같은 가속도로 운동한다. 따라서 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{30\text{ N}}{(2+3)\text{ kg}} = 6\text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 실의 장력이 A에 작용하는 알짜힘이므로 실의 장력의 크기는 $2\text{ kg} \times 6\text{ m/s}^2 = 12\text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄷ. B가 정지 상태에서 6 m/s^2 의 가속도로 등가속도 직선 운동을 하였으므로 $2as = v^2 - v_0^2$ 에서 $v = \sqrt{2as}$ 이다. 따라서 $v = \sqrt{2 \times 6\text{ m/s}^2 \times 0.75\text{ m}} = 3\text{ m/s}$ 이다.

15 꼼꼼 문제 분석



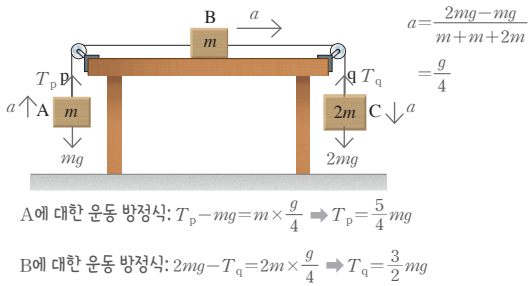
ㄱ. 세 물체의 가속도는 같다. 세 물체의 질량이 9 kg 이고, 전체 알짜힘이 18 N 이므로 세 물체의 가속도 $= \frac{18\text{ N}}{9\text{ kg}} = 2\text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 6\text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄷ. A에는 왼쪽으로 18 N , 오른쪽으로 p의 장력(T_p)이 작용하므로 $18\text{ N} - T_p = 2\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 4\text{ N}$ 에서 $T_p = 14\text{ N}$ 이다. C에는 q의 장력(T_q)이 알짜힘으로 작용하므로 $T_q = 4\text{ kg} \times 2\text{ m/s}^2 = 8\text{ N}$ 이다. 따라서 $T_p : T_q = 14\text{ N} : 8\text{ N} = 7 : 4$ 가 된다.

다른 풀이 ㄷ. T_p 는 B와 C를 함께 운동시키는 알짜힘이고, T_q 는 C를 운동시키는 알짜힘이다. 가속도가 같으므로 알짜힘은 질량에 비례한다. 따라서 $T_p : T_q = (3+4)\text{ kg} : 4\text{ kg} = 7 : 4$ 가 된다.

16 품목 문제 분석

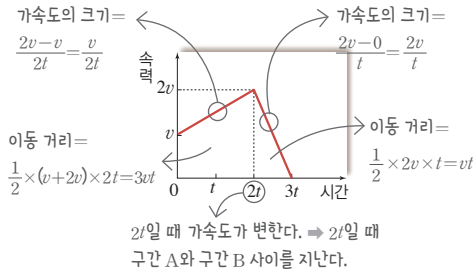


ㄱ. A, B, C를 한 물체로 생각하면 A에 작용하는 중력 mg 와 C에 작용하는 중력 $2mg$ 의 합력이 세 물체에 작용하는 알짜힘이다. 따라서 세 물체에 대한 운동 방정식은 $2mg - mg = 4ma$ 이므로 세 물체의 가속도 $a = \frac{mg}{4m} = \frac{1}{4}g$ 이다.

바로알기 ㄴ. p의 장력을 T_p 라고 하면 A에 대한 운동 방정식은 $T_p - mg = m \times \frac{1}{4}g$ 이므로 $T_p = \frac{5}{4}mg$ 이다.

ㄷ. $T_p = \frac{5}{4}mg$ 이고, q의 장력을 T_q 라 하면 C에 대한 운동 방정식은 $2mg - T_q = 2m \times \frac{1}{4}g$ 이므로 $T_q = \frac{3}{2}mg$ 이다. 따라서 p와 q가 B를 당기는 힘의 크기는 서로 다르다.

17 품목 문제 분석

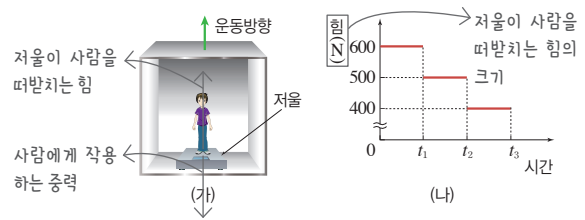


ㄱ. (나)에서 물체는 $0 \sim 2t$ 동안 구간 A를 지나고, $2t \sim 3t$ 동안 구간 B를 지난다. 속도-시간 그래프 아래부분의 넓이는 물체가 이동한 거리와 같으므로 물체가 구간 A에서 이동한 거리는 $\frac{1}{2} \times (v + 2v) \times 2t = 3vt$ 이고, 구간 B에서 물체가 이동한 거리는 $\frac{1}{2} \times 2v \times t = vt$ 이다. 따라서 구간 A에서 이동한 거리가 구간 B에서 이동한 거리의 3배이다.

ㄴ. 구간 A에서는 물체의 속력이 증가하므로 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 같고, 구간 B에서는 속력이 감소하므로 물체의 운동 방향과 가속도의 방향이 서로 반대이다. 가속도의 방향은 물체에 작용하는 알짜힘의 방향과 같으므로 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 구간 A에서와 구간 B에서가 서로 반대이다.

바로알기 ㄷ. 속도-시간 그래프의 기울기의 크기는 가속도의 크기와 같으므로 구간 A에서 가속도의 크기는 $\frac{v}{2t}$ 이고, 구간 B에서 가속도의 크기는 $\frac{2v}{t}$ 이다. 물체의 질량이 일정할 때, 물체의 가속도는 물체에 작용하는 알짜힘에 비례하므로 $F_A : F_B = \frac{v}{2t} : \frac{2v}{t} = 1 : 4$ 이다.

18 품목 문제 분석



ㄴ. 저울에서 측정된 힘의 크기는 저울이 사람을 떠받치는 힘의 크기와 같다. 사람에게 작용하는 중력의 크기는 $50 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 500 \text{ N}$ 이고, $t_1 \sim t_2$ 동안 저울이 사람을 떠받치는 힘의 크기는 500 N이다. 따라서 사람에게 작용하는 알짜힘이 0이므로 사람은 $t_1 \sim t_2$ 동안 등속 직선 운동을 한다.

바로알기 ㄱ. $0 \sim t_1$ 동안 저울이 사람을 떠받치는 힘의 크기는 600 N이고, 사람에게 작용하는 중력의 크기는 500 N이므로 알짜힘의 크기는 100 N이다. 따라서 $0 \sim t_1$ 동안 사람의 가속도의 크기 $a = \frac{100 \text{ N}}{50 \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄷ. $t_2 \sim t_3$ 동안 100 N의 알짜힘이 연직 아래 방향으로 작용하므로 가속도의 방향도 연직 아래 방향이다. 따라서 t_2 부터 속력이 작아지지만 운동 방향이 바로 바뀌지는 않는다.

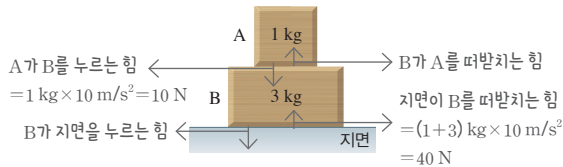
19 ㄴ. 속도-시간 그래프의 기울기의 크기는 가속도의 크기와 같으므로 (나)에서 6초일 때 A의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이다. 물체에 작용하는 알짜힘은 질량 $\times$ 가속도이므로 6초일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 $1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 실이 A를 당기는 힘의 크기와 같고, 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 6초일 때 A에 작용하는 알짜힘의 크기는 1 N이고, 2초일 때는 $1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 2 \text{ N}$ 이므로 실이 B를 당기는 힘의 크기는 2초일 때가 6초일 때의 2배이다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 2초일 때 A, B의 가속도의 크기는 2 m/s^2 이다. A, B가 함께 운동하므로 A, B를 한 물체라고 하면 2초일 때 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $(1 \text{ kg} + 2 \text{ kg}) \times 2 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$ 이다. 따라서 $F = 6 \text{ N}$ 이다.

20 작용 반작용 관계의 두 힘은 F_1 과 F_2 , F_3 과 F_4 이다. 힘의 평형 관계의 두 힘은 물체에 작용하는 두 힘인 F_1 과 F_4 이다.

21 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. A가 B를 누르는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄴ. B가 지면으로부터 받는 힘은 지면이 B를 떠받치는 힘으로, B가 지면을 누르는 힘과 작용 반작용 관계이다. 따라서 B가 지면으로부터 받는 힘과 B가 지면을 누르는 힘은 크기가 같다. B가 지면을 누르는 힘의 크기는 A와 B에 작용하는 중력의 합과 같으므로 $(1+3) \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 40 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. A가 B를 누르는 힘과 B가 A를 떠받치는 힘은 A와 B 사이에 상호 작용 하는 두 힘으로 작용 반작용 관계이다.

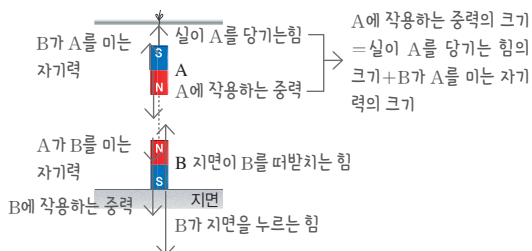
22 ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 물체에 작용하는 중력과 지면이 물체를 떠받치는 힘은 물체에 반대 방향으로 작용하는 두 힘이므로 두 힘의 크기가 같다.

바로알기 ㄴ. 물체를 미는 힘 F 와 벽이 물체를 미는 힘은 한 물체에 작용하는 두 힘이므로 힘의 평형 관계이다. 벽이 물체를 미는 힘의 반작용은 물체가 벽을 미는 힘이다.

ㄷ. 물체에 작용하는 중력과 물체가 벽을 미는 힘은 서로 다른 물체에 작용하는 힘이므로 힘의 평형 관계가 아니다.

23 저울에서 측정한 무게는 스탠드가 저울을 누르는 힘의 크기와 같다. 스탠드에 연직 아래 방향으로 작용하는 힘은 스탠드의 무게(W_2)와 지구모형이 스탠드를 당기는 자기력의 합과 같다. 스탠드에 작용하는 자기력은 지구모형의 무게와 같으므로 크기가 W_1 이다. 따라서 저울의 측정값은 $W_1 + W_2$ 이다.

24 꼼꼼 문제 분석



② A가 실을 당기는 힘과 실이 A를 당기는 힘은 두 물체 사이에 상호 작용 하는 힘이므로 작용 반작용 관계이다.

③ B는 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다.

④ B가 지면을 누르는 힘의 크기는 A가 B를 미는 자기력과 B에 작용하는 중력의 합력과 크기가 같다. 따라서 B가 지면을 누르는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기보다 크다.

⑤ 실이 A를 당기는 힘과 B가 A를 미는 자기력의 합력의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기와 같다. 따라서 B가 A를 미는 자기력의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

바로알기 ① 실이 A를 당기는 힘과 B가 A를 미는 자기력의 합력의 크기가 A에 작용하는 중력의 크기와 같다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 중력의 크기보다 작다.

25 ㄱ. 두 사람 사이에 작용한 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같다.

바로알기 ㄴ. 0~1초 동안 속도 변화량은 영희가 철수의 2배이므로 가속도는 영희가 철수의 2배이다. 두 사람에게 작용하는 힘의 크기가 같을 때 두 사람의 가속도는 질량에 반비례하므로 영희의 질량은 철수의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. 1초 이후에는 영희와 철수 모두 등속 직선 운동을 하므로 영희와 철수에게 작용한 알짜힘이 0이다.

실력 UP 문제

41쪽

01 ④ 02 ③ 03 ② 04 ②

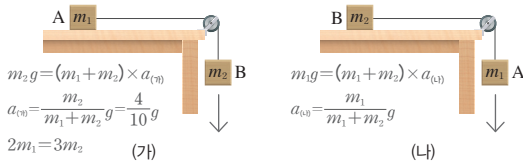
01 ㄱ. 1초일 때 실이 끊어진 후 A의 가속도 방향이 바뀌었으므로 F 의 크기는 두 물체에 작용하는 중력보다 작고, A에 작용하는 중력의 크기 20 N보다 크다. (나)에서 1초부터 2초까지 A의 가속도는 $\frac{1 \text{ m/s} - (-4 \text{ m/s})}{2 \text{ s} - 1 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이므로 A에 대한 운동 방정식은 $F - 20 \text{ N} = 2 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 $F = 30 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 0~1초 동안 A, B의 가속도는 $\frac{-4 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = -4 \text{ m/s}^2$

이고, 두 물체의 질량은 $2 \text{ kg} + m$ 이므로 A, B에 대한 운동 방정식은 $30 \text{ N} - 20 \text{ N} - m \times 10 \text{ m/s}^2 = (2 \text{ kg} + m) \times (-4 \text{ m/s}^2)$ 이다. 식을 정리하면 $18 \text{ N} = m \times 6 \text{ m/s}^2$ 이므로 $m = 3 \text{ kg}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 0~1초 동안 A와 B의 가속도는 -4 m/s^2 이고, B의 질량 $m = 3 \text{ kg}$ 이므로 0~1초 동안 B에 작용하는 알짜힘은 $3 \text{ kg} \times (-4 \text{ m/s}^2) = -12 \text{ N}$ 이다. B에 작용하는 중력은 -30 N 이므로 0~1초 동안 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T 라고 하면 $T - 30 \text{ N} = -12 \text{ N}$ 이다. 따라서 $T = 18 \text{ N}$ 이다.

02 곱셈 문제 분석



ㄱ. A, B는 실로 연결되어 함께 운동하므로 질량이 $(m_1 + m_2)$ 인 한 물체로 생각할 수 있다. (가)에서 두 물체에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력과 같으므로 A, B에 대한 운동 방정식은

$$m_2 g = (m_1 + m_2) \times a_{(가)} \text{이다. 따라서 가속도 } a_{(가)} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} g = \frac{4}{10} g \text{이므로 } 2m_1 = 3m_2 \text{이다.}$$

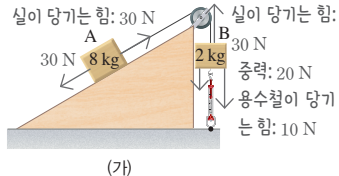
ㄴ. (나)에서 두 물체에 작용하는 알짜힘은 A에 작용하는 중력과 같으므로 A, B에 대한 운동 방정식은 $m_1 g = (m_1 + m_2) \times a_{(나)}$ 이다. 따라서 두 물체의 가속도 $a_{(나)} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} g$ 이고, $m_1 = \frac{3}{2} m_2$

$$\text{이므로 } a_{(나)} = \frac{3m_2}{5m_2} g = 0.6g \text{이다.}$$

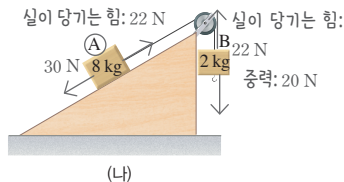
바로알기 ㄴ. (가)에서 A를 질량이 $2m_1$ 인 물체로 바꾸면 두 물체의 가속도는 $\frac{m_2}{2m_1 + m_2} g = \frac{m_2}{4m_2} g = 0.25g$ 이다.

03 곱셈 문제 분석

물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘이 0이다.
 ⇒ 물체에 작용하는 힘은 힘의 평형을 이룬다.



A, B에 작용하는 알짜힘은 $30 \text{ N} - 20 \text{ N} = 10 \text{ N}$ 이고, A의 가속도의 크기는 $\frac{10 \text{ N}}{8 \text{ kg} + 2 \text{ kg}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이다.
 ⇒ A에 작용하는 알짜힘은 $8 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 8 \text{ N}$ 이다.

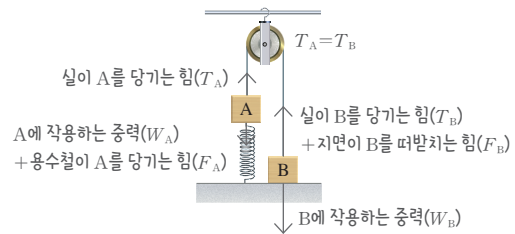


ㄴ. (가)에서 A에 작용하는 알짜힘이 0이고 실이 A를 당기는 힘의 크기는 30 N이므로 중력에 의해 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기도 30 N이다. (나)에서 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 중력 - B에 작용하는 중력이므로 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $30 \text{ N} - 20 \text{ N} = 10 \text{ N}$ 이다. 두 물체의 질량은 $8 \text{ kg} + 2 \text{ kg} = 10 \text{ kg}$ 이므로 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{10 \text{ N}}{10 \text{ kg}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 B가 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘이 0이다. B에 연직 아래로 작용하는 중력은 20 N이고, 용수철 저울이 B를 연직 아래로 당기는 힘은 10 N이므로 실이 B를 연직 위로 당기는 힘의 크기는 $20 \text{ N} + 10 \text{ N} = 30 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. (나)에서 A의 가속도는 1 m/s^2 이므로 A에 작용하는 알짜힘은 $8 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 8 \text{ N}$ 이다. A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘은 30 N이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $30 \text{ N} - 8 \text{ N} = 22 \text{ N}$ 이다.

04 곱셈 문제 분석



ㄴ. B가 정지해 있으므로 B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T_B 라고 하고, 지면이 B를 떠받치는 힘의 크기를 F_B 라고 하면 $W_B = T_B + F_B$ 이다. 실이 A를 당기는 힘의 크기와 실이 B를 당기는 힘의 크기는 서로 같으므로 용수철이 A를 당기는 힘의 크기를 F_A 라고 하면 $T_B = W_A + F_A$ 이다. 따라서 $W_B = W_A + F_A + F_B$ 이므로 $W_A < W_B$ 이다.

바로알기 ㄱ. 실이 A를 당기는 힘은 용수철이 A를 당기는 힘과 A에 작용하는 중력(W_A)의 합력과 크기가 같다.

ㄴ. B에 작용하는 중력과 작용 반작용 관계인 힘은 B가 지구를 당기는 힘이다. 지면이 B를 떠받치는 힘과 작용 반작용 관계인 힘은 B가 지면을 누르는 힘이다.

3 운동량과 충격량

개념 확인 문제

44쪽

- ① 운동량 ② 질량 ③ 속도 ④ 나중 ⑤ 처음
 ⑥ 운동량 보존 법칙 ⑦ $m_A v_A'$

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 3 (1) × (2) ○ (3) ○
 (4) × 4 (1) 왼쪽 (2) A: 감소한다, B: 증가한다. (3) 같다.
 5 4 m/s 6 2 m/s

- 1 (1) 운동량은 크기뿐만 아니라 방향이 있는 물리량이다.
 (2) 운동량의 크기는 물체의 질량과 속도에 비례한다. 따라서 물체의 속도가 클수록 운동량의 크기가 크다.
 (3) 물체의 질량이 클수록 운동량의 크기가 크다.

2 $p=mv=0.5\text{ kg}\times 10\text{ m/s}=5\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

3 (1) 3초일 때 운동량은 $8\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이고 물체의 질량은 2 kg 이므로 $8\text{ kg}\cdot\text{m/s}=2\text{ kg}\times v$ 에서 물체의 속력 v 는 4 m/s 이다.

(2) 운동량-시간 그래프의 기울기는 $\frac{\text{운동량의 변화량}}{\text{걸린 시간}}=\frac{m\Delta v}{t}=ma=F$ 이므로 물체가 받은 알짜힘을 나타낸다.

(3) 0~3초 동안 그래프의 기울기는 $\frac{6\text{ kg}\cdot\text{m/s}}{3\text{ s}}=2\text{ N}$ 으로 일정하므로 물체가 받은 알짜힘의 크기도 2 N 으로 일정하다.

(4) 0~3초 동안 물체가 받은 알짜힘이 2 N 이고, 물체의 질량은 2 kg 이므로 $2\text{ N}=2\text{ kg}\times a$ 에서 물체의 가속도 $a=1\text{ m/s}^2$ 이다.

4 (1) A가 오른쪽으로 운동하다 B와 충돌하며 운동 방향과 반대 방향인 왼쪽으로 힘을 받고, B는 오른쪽으로 힘을 받는다.

(2) A는 충돌 과정에서 운동 방향과 반대 방향으로 힘을 받으므로 속력이 감소하여 충돌 후 운동량의 크기가 감소한다. B는 충돌 과정에서 운동 방향으로 힘을 받으므로 속력이 증가하여 충돌 후 운동량의 크기가 증가한다.

(3) 운동량 보존 법칙에 따라 A와 B가 충돌 할 때 운동량의 총합은 일정하게 보존되므로 충돌 전 운동량의 총합과 충돌 후 운동량의 총합은 같다.

5 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 전 운동량의 총합은 충돌 후 운동량의 총합과 같다. 따라서 $2\text{ kg}\times 5\text{ m/s}+4\text{ kg}\times 2\text{ m/s}=2\text{ kg}\times 1\text{ m/s}+4\text{ kg}\times v$ 에서 충돌 후 B의 속력 $v=4\text{ m/s}$ 이다.

6 두 물체가 한 덩어리가 되어 운동하므로 두 물체를 질량이 $2\text{ kg}+1\text{ kg}=3\text{ kg}$ 인 한 물체로 생각하면 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 운동량은 충돌 전 A의 운동량과 같다. 따라서 한 덩어리가 된 물체의 속력을 v 라고 하면 $2\text{ kg}\times 3\text{ m/s}=3\text{ kg}\times v$ 에서 $v=2\text{ m/s}$ 이다.

개념 확인 문제

48쪽

- ① 충격량 ② 시간 ③ 힘 ④ 충격량 ⑤ 운동량
⑥ 길 ⑦ 짧을 ⑧ 길 ⑨ 길게

- 1 $15\text{ N}\cdot\text{s}$ 2 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × 3 $10\text{ kg}\cdot\text{m/s}$
4 100 N 5 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ 6 ㄱ, ㄷ, ㄹ, ㅁ

1 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량과 같으므로 3초 동안 물체가 받은 충격량= $5\times 3=15(\text{N}\cdot\text{s})$ 이다.

2 (1) 충격량=물체가 받은 힘×힘을 받은 시간이다.

(2) 물체가 충격량을 받으면 물체에 힘이 작용한다. 물체에 힘이 작용하면 속도가 변하므로 물체의 운동량이 변한다.

(3) 충격량=힘×충돌 시간이므로 힘의 크기가 같을 때 힘을 받는 시간이 길수록 충격량이 크다.

(4) 충격량의 단위는 $\text{N}\cdot\text{s}$ 이고, 운동량의 단위는 $\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 이다. $\text{N}\cdot\text{s}=\text{kg}\cdot\text{m/s}^2\cdot\text{s}=\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 이므로 충격량과 운동량의 단위는 같다.

3 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 운동량의 변화량은 $10\text{ N}\cdot\text{s}=10\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 이다.

4 공이 받은 충격량은 공의 운동량의 변화량과 같고, 처음 운동량이 0인 공의 운동량의 변화량은 나중 운동량과 같으므로 공이 받은 충격량은 $0.5\text{ kg}\times 20\text{ m/s}=10\text{ N}\cdot\text{s}$ 이다. 공이 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{\text{충격량}}{\text{힘을 받은 시간}}$ 이므로 $\frac{10\text{ N}\cdot\text{s}}{0.1\text{ s}}=100\text{ N}$ 이다.

5 (1) 같은 질량의 유리컵이 같은 높이에서 떨어졌으므로 바닥에 충돌하기 직전 속도가 같고, 충돌 후 두 유리컵은 정지하므로 두 유리컵의 운동량의 변화량은 같다. 따라서 두 유리컵이 받은 충격량도 같다.

(2) 물체가 받은 평균 힘은 충격량을 충돌 시간으로 나누어 구한다. 두 유리컵이 받은 충격량은 같은데 충돌 시간이 다르므로 평균 힘의 크기도 다르다.

(3) 충돌 시간이 짧은 경우에 최대 힘이 더 크고, 유리컵이 견딜 수 있는 힘보다 큰 힘을 받으면 유리컵이 깨진다. 마룻바닥에 떨어진 유리컵은 깨지고 방석에 떨어진 유리컵은 깨지지 않았으므로 두 유리컵이 받은 최대 힘의 크기가 다르다는 것을 알 수 있다.

(4) 마룻바닥에서 받은 최대 힘이 더 크므로 유리컵이 힘을 받은 시간은 딱딱한 마룻바닥보다 폭신한 방석 위에서 더 길다.

6 ㄱ, ㄷ, ㄹ, ㅁ. 헬멧, 에어백, 자동차 범퍼, 안전 매트리스 등은 모두 충돌 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 장치이다.

ㄴ. 방음벽은 소리를 흡수하거나 반사하는 장치이다.

대표 자료 분석

49~50쪽

- 자료 ① 1 ㉠ 방향, ㉡ 질량, ㉢ 속도 2 2배 3 $2p_0$
4 (1) ○ (2) ○ (3) ×
- 자료 ② 1 $40\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 2 10 m/s 3 $55\text{ kg}\cdot\text{m/s}$
4 (1) ○ (2) × (3) ×
- 자료 ③ 1 2배 2 2 kg 3 $2\text{ N}\cdot\text{s}$ 4 (1) × (2) × (3) ○
- 자료 ④ 1 (1) = (2) = (3) < 2 ㉠ 길므로, ㉡ 작게
3 (1) × (2) ○ (3) ○

1-1 운동량은 질량과 속도의 곱으로, 속도와 같이 크기와 방향을 가진 물리량이다. 따라서 운동량의 방향은 속도의 방향과 같고, 운동량의 변화량을 구할 때는 크기와 방향을 같이 고려해 주어야 한다.

1-2 물체의 질량이 같을 때 운동량의 크기는 물체의 속력에 비례한다. 0.5초일 때 물체의 운동량의 크기는 4초일 때의 2배이므로 물체의 속력이 0.5초일 때가 4초일 때의 2배이다.

1-3 충격량은 운동량의 변화량과 같다. 5초~6초 동안 운동량의 변화량은 $p_0 - (-p_0) = 2p_0$ 이므로 충격량의 크기는 $2p_0$ 이다.

1-4 (1) 운동량의 방향은 속도의 방향(운동 방향)과 같다. 운동량의 방향은 2초~3초 사이에서 한 번, 5초~6초 사이에서 한 번, 총 두 번 바뀌므로 물체는 운동 방향을 두 번 바꾼다.

(2) 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다. 따라서 1초~3초 동안 물체의 운동량의 변화량은 $-p_0 - 2p_0 = -3p_0$ 이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 $3p_0$ 이다.

(3) 운동량-시간 그래프의 기울기는 물체가 받은 알짜힘과 같으므로 1초~3초 동안 물체가 받은 알짜힘의 크기는 $\frac{3p_0}{2s}$ 이고,

5초~6초 동안 물체가 받은 알짜힘의 크기는 $\frac{2p_0}{1s}$ 이다. 따라서

1초~3초 동안 물체가 받은 알짜힘의 크기는 5초~6초 동안 물체가 받은 알짜힘의 크기보다 작다.

2-1 힘-시간 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량의 크기와 같으므로 0~8초 동안 물체가 받은 충격량은 $\frac{1}{2} \times 10 \times 8 = 40(N \cdot s)$ 이다. 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 0~8초 동안 물체의 운동량의 변화량은 $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 처음 물체의 운동량은 0이므로 8초일 때 물체의 운동량은 운동량의 변화량과 같은 $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

2-2 0~4초 동안 물체가 받은 충격량은 $\frac{1}{2} \times 10 \times 4 = 20(N \cdot s)$ 이므로 4초일 때 물체의 운동량은 $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 4초일 때 물체의 속도는 $\frac{20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}$ 이다.

2-3 질량이 5 kg인 물체의 처음 운동량은 $5 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 물체에 8초 동안 그림과 같은 힘이 작용하면 물체의 운동량의 변화량은 $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 나중 운동량=처음 운동량+운동량의 변화량이므로 8초 후 물체의 운동량= $15 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 40 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 55 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

2-4 (1) 0~8초 동안 충격량= $\frac{1}{2} \times 10 \times 8 = 40(N \cdot s)$ 이다.

(2) 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다. 물체의 처음 운동량이 0이면 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량과 같지만 처음 운동량이 0이 아니면 충격량은 물체의 운동량과 다르다.

(3) 4초 이후부터 물체의 가속도는 감소한다. 0~8초 동안 물체의 속도는 계속 증가한다.

3-1 (나)에서 3초일 때 A, B의 위치가 9 m로 같으므로 A, B는 3초일 때 충돌한다. 위치-시간 그래프의 기울기는 속도와 같으므로 충돌 전 A, B의 속도는 각각 3 m/s, 1 m/s이고, 충돌 후 A, B의 속도는 각각 1 m/s, 2 m/s이다. 따라서 충돌하는 동안 A의 속도 변화량은 $1 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s} = -2 \text{ m/s}$ 이고, B의 속도 변화량은 $2 \text{ m/s} - 1 \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$ 이므로 속도 변화량의 크기는 A가 B의 2배이다.

3-2 (나)에서 충돌 전 A, B의 속도는 각각 3 m/s, 1 m/s이고, 충돌 후 A, B의 속도는 각각 1 m/s, 2 m/s이다. A의 질량은 1 kg이고 B의 질량을 m 이라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $1 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} + m \times 1 \text{ m/s} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} + m \times 2 \text{ m/s}$ 이므로 $m = 2 \text{ kg}$ 이다.

다른 풀이 운동량은 질량×속도이므로 운동량의 변화량은 질량×속도 변화량이다. 두 물체가 충돌하여 운동량이 보존될 때 두 물체의 운동량의 변화량의 크기는 같으므로 A의 속도 변화량의 크기가 B의 2배이면 질량은 A가 B의 $\frac{1}{2}$ 배이다. A의 질량이 1 kg이므로 B의 질량은 2 kg이다.

3-3 B가 받은 충격량의 크기는 운동량의 변화량의 크기와 같으므로 $2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} - 2 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 2 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

3-4 (1) 충돌 전과 후에 A의 속도는 각각 3 m/s, 1 m/s이다. 속도의 부호가 (+)로 동일하므로 충돌 전과 후에 운동 방향도 같은 방향이다.

(2) A, B가 충돌할 때 작용 반작용 법칙에 따라 A, B가 주고받은 힘의 크기가 같고, 힘이 작용한 시간이 같다. 따라서 A가 받은 충격량의 크기는 B가 받은 충격량의 크기와 같다.

(3) 작용 반작용 법칙에 따라 두 물체가 충돌할 때 주고받은 힘은 서로 반대 방향이다. 따라서 두 물체가 받은 충격량의 방향도 서로 반대 방향이다.

4-1 (1), (2) 그래프 아랫부분의 넓이 S_1 과 S_2 가 같으므로 유리컵이 받은 충격량은 $A=B$ 이고, 유리컵의 운동량의 변화량도 $A=B$ 이다.

(3) $t_1 < t_2$ 이므로 유리컵이 힘을 받은 시간은 $A < B$ 이다.

4-2 카펫 위와 시멘트 바닥에 떨어진 두 유리컵이 받은 충격량은 같다. 충돌하는 물체의 충격량이 같을 때, 힘을 받는 시간이 길수록 물체가 받는 평균 힘은 작아진다. 카펫 위에 떨어진 유리컵은 시멘트 바닥에 떨어진 유리컵보다 힘을 받는 시간이 길므로, 평균 힘을 작게 받아서 깨지지 않는다.

4-3 (1) 유리컵이 받은 충격량이 같을 때 $t_1 < t_2$ 이므로 유리컵이 받은 평균 힘의 크기는 A가 B보다 크다.

(2) 평균 힘 = $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}}$ 이므로 충격량이 같을 때 충돌 시간이

짧을수록 물체가 받는 평균 힘이 더 크다.

(3) 사람이 다치지 않게 하거나 물체가 파손되지 않게 하려면 충돌 시간을 길게 하여 물체가 받는 평균 힘을 받지 않도록 해야 한다.

내신 만점 문제

51~54쪽

01 ⑤	02 ③	03 ④	04 ③	05 ⑤	06 ④
07 ①	08 해설 참조	09 ⑤	10 ③	11 ④	12 ④
13 ①	14 ①	15 ③	16 ③	17 ③	18 ②
19 ②	20 ①				

01 ㄱ. 운동량은 속도와 같이 크기와 방향이 있는 물리량이다.
 ㄴ. 운동량 = 질량 × 속도이므로 질량이 클수록, 속도가 클수록 운동량이 크다.
 ㄷ. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 등속 직선 운동을 하므로 물체의 운동량은 변하지 않는다.

02 ③ 운동량 - 시간 그래프의 기울기는 물체에 작용하는 알짜힘을 나타낸다. 2초~4초 사이에 그래프의 기울기가 0이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

바로알기 ① 0~2초 사이에 그래프의 기울기가 일정하므로 물체에 작용한 알짜힘은 일정하다.

② 운동량은 질량 × 속도이므로 2초일 때 속력은 5 m/s이다. 0~2초 사이에 물체가 등가속도 직선 운동을 하므로 2초 동안 이동 거리는 평균 속력 × 시간 = $\frac{1}{2} \times 5 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 5 \text{ m}$ 이다.

④ 0초일 때와 6초일 때 운동량이 모두 0이므로 0~6초 동안 물체의 운동량의 변화량은 0이다.

⑤ 0~2초 사이에 4초~6초 사이에 그래프의 기울기의 부호가 반대이므로 물체가 받은 알짜힘의 방향은 서로 반대이다.

03 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 전 운동량의 총합은 충돌 후 운동량의 총합과 같다. 따라서 $4 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times v$ 이므로 충돌 후 B의 속도 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

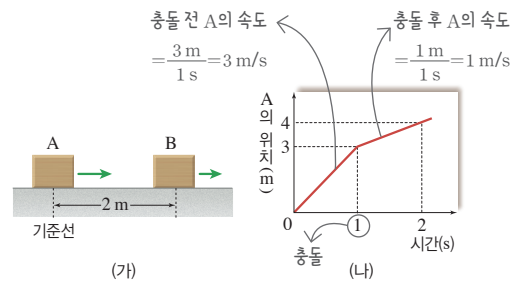
04 ㄱ. 충돌 후 A의 속도가 감소하였으므로 A의 운동량은 감소하였다.

ㄴ. 충돌 전 운동량의 총합은 A의 운동량인 $3mv$ 이다. 충돌 후 A와 B의 운동량은 $(m+2m) \times v = 3mv$ 이므로 충돌 전과 후에 운동량의 총합이 보존되었다.

바로알기 ㄷ. A의 운동량의 변화량은 $mv - 3mv = -2mv$ 이고, B의 운동량의 변화량은 $2mv - 0 = 2mv$ 이다. 따라서 충돌 과정에서 A와 B의 운동량의 변화량의 크기는 같다.

다른 풀이 ㄷ. 충돌 과정에서 두 물체가 주고받는 힘의 크기와 힘이 작용한 시간이 서로 같으므로 A와 B가 받은 충격량의 크기가 서로 같다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A와 B의 운동량의 변화량의 크기도 같다.

05 품고 문제 분석



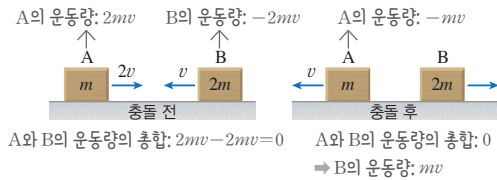
ㄱ. 위치 - 시간 그래프의 기울기는 속도를 나타낸다. (나)에서 0~1초 동안 그래프의 기울기가 3 m/s이므로 충돌 전 A의 속력은 3 m/s이다.

ㄴ. (나)에서 1초일 때 A의 속도가 변하므로 1초일 때 A와 B가 충돌한다. 1초 이후 그래프의 기울기가 $\frac{4-3}{2-1} = 1 \text{ (m/s)}$ 이므로 충돌 후 A의 속력은 1 m/s이다.

ㄷ. 충돌 전에 A와 B 사이의 거리가 2 m이고, A는 1초 동안 3 m를 이동하여 충돌하였으므로, 충돌 전 B는 1초 동안 1 m를 이동하였다. 따라서 충돌 전 B의 속력은 1 m/s이다. A와 B의 질량을 m 이라 하고, 충돌 후 B의 속력을 v 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $m \times 3 \text{ m/s} + m \times 1 \text{ m/s} = m \times 1 \text{ m/s} + m \times v$ 이므로 충돌 후 B의 속력 $v = 3 \text{ m/s}$ 이다.

06 용수철로 연결된 수레 A, B는 질량이 $1 \text{ kg} + 2 \text{ kg} = 3 \text{ kg}$ 인 한 물체와 같다. 따라서 A, B가 반발하기 전 운동량의 총합은 $3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 반발 후 B의 속력을 v_B 라고 하면 반발 후 운동량의 총합은 $1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times v_B$ 이다. 반발 전과 반발 후 A, B의 운동량의 총합은 보존되므로 $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times v_B$ 에서 반발 후 B의 속도 $v_B = 4 \text{ m/s}$ 이다.

07 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 충돌 과정에서 두 물체의 운동량의 총합은 보존된다. 오른쪽 방향을 (+)라고 하면 충돌 전 운동량의 총합은 $2mv - 2mv = 0$ 이다. 충돌 후 B의 속력을 v_B 라고 하면 충돌 후 운동량의 총합은 $-mv + 2mv_B = 0$ 이므로 $v_B = \frac{1}{2}v$ 이다.

바로알기 ㄴ. 충돌 후 A, B의 운동량의 총합은 충돌 전 운동량의 총합과 같고, 충돌 전 운동량의 총합은 $2mv - 2mv = 0$ 이므로 충돌 후 운동량의 총합도 0이다.

ㄷ. 충돌 후 B의 운동량은 $2m \times \frac{1}{2}v = mv$ 이다. 물체가 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 B가 받은 충격량의 크기는 $mv - (-2mv) = 3mv$ 이다.

다른 풀이 ㄷ. A가 받은 충격량은 $-mv - 2mv = -3mv$ 이다. 작용 반작용 법칙에 따라 B가 받은 충격량의 크기는 A가 받은 충격량의 크기와 같으므로 B가 받은 충격량의 크기는 $3mv$ 이다.

08 힘 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 물체가 받은 충격량과 같으므로 0~10초 동안 받은 충격량은 $4 \times 5 + 2 \times (10 - 5) = 30(\text{N} \cdot \text{s})$ 이다. 정지해 있던 물체의 나중 운동량은 받은 충격량과 같으므로 10초일 때 물체의 운동량은 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

모범 답안 10초일 때 물체의 운동량은 0~10초 동안 물체가 받은 충격량과 같고, 충격량은 그래프 아랫부분의 넓이와 같으므로 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 2 \text{ kg} \times v$ 에서 10초일 때 물체의 속력 $v = 15 \text{ m/s}$ 이다.

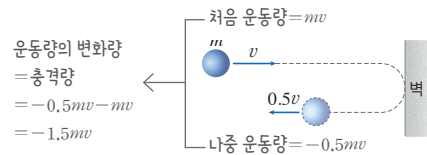
채점 기준	배점
10초일 때 물체의 속력을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
10초일 때 물체의 속력만 옳게 쓴 경우	50 %

09 ㄱ. A와 B가 서로에게 주고받는 힘은 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같고 방향이 반대이다. A와 B가 서로 힘을 작용하는 시간도 같으므로 A와 B가 받은 충격량은 크기가 서로 같고 방향이 반대이다.

ㄴ. A와 B가 받은 충격량은 크기가 같고 방향이 반대이므로 A와 B가 받은 충격량의 합은 0이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A와 B의 운동량의 변화량의 합도 0이다.

ㄷ. A와 B가 처음에 정지해 있었으므로 운동량의 변화량은 손을 떼 후 운동량과 같다. A와 B의 운동량의 변화량이 같으므로 손을 떼 후 A와 B의 운동량도 같다. 따라서 질량이 큰 A의 속도보다 질량이 작은 B의 속도보다 크기가 작다.

10 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 오른쪽 방향을 (+)로 하면 충돌 전 공의 운동량은 mv 이고, 충돌 후 운동량은 $-0.5mv$ 이다. 충돌하는 과정 중 공이 벽으로부터 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 $-0.5mv - mv = -1.5mv$ 이다. 따라서 충격량의 크기는 $1.5mv$ 이다.

바로알기 ㄱ. 벽과 충돌 전 공의 운동량의 크기는 mv 이고, 충돌 후 운동량의 크기는 $0.5mv$ 이므로 공의 운동량의 크기는 벽과 충돌한 후 감소하였다.

ㄴ. 벽과 충돌 전후 공의 운동량의 변화량의 크기는 $1.5mv$ 이다.

11 공은 중력에 의해 자유 낙하 운동을 한다.

ㄱ. 등가속도 직선 운동의 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 따라 지면에 충돌하기 직전에 공의 속력 $v = \sqrt{2as} = \sqrt{2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 20 \text{ m}} = 20 \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. 지면으로 향하는 방향을 (+)라고 하면 공의 운동량의 변화량은 $1 \text{ kg} \times (-10 \text{ m/s}) - 1 \text{ kg} \times 20 \text{ m/s} = -30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 지면과 충돌하는 동안 공이 받은 충격량의 크기는 $30 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 충격량의 방향은 물체가 받은 힘의 방향과 같다. 공이 지면으로부터 받은 힘의 방향은 중력의 방향과 반대 방향이므로 충격량의 방향은 중력의 방향과 반대 방향이다.

12 ㄱ. A와 B 사이의 거리는 2초일 때 0이 되었으므로 A와 B는 2초일 때 충돌한다. 0~2초 동안 B는 정지해 있고 A는 $5 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 10 \text{ m}$ 만큼 이동하였으므로 A와 B 사이의 거리 $d = 10 \text{ m}$ 이다.

ㄴ. 2초일 때 A와 B가 충돌했고, 충돌 이후에 A와 B 사이의 거리는 계속 0이므로 충돌 후 A와 B는 붙어서 함께 운동한다. 충돌 후 A와 B의 속력을 v 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $2 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} = (2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}) \times v$ 이므로 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄷ. B가 A로부터 받은 충격량은 B의 운동량의 변화량과 같으므로 $3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} - 0 = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

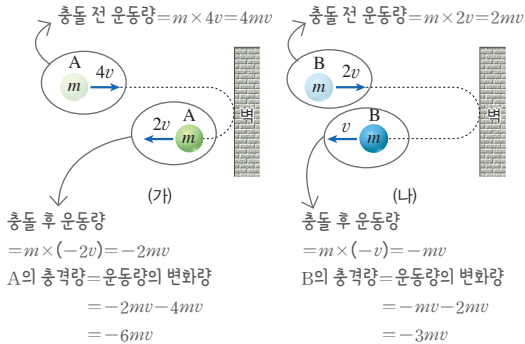
13 트럭과 탁구공의 상호 작용 이외의 힘은 작용하지 않으므로 트럭과 탁구공의 운동량의 총합은 보존된다.

ㄱ. 운동량의 변화량은 질량 $\times$ 속도 변화량이다. 운동량의 변화량의 크기는 트럭과 탁구공이 서로 같고, 질량은 트럭이 탁구공보다 훨씬 크므로 속도 변화량은 탁구공이 트럭보다 크다.

바로알기 나. 두 물체가 충돌할 때 작용 반작용 법칙에 따라 두 물체가 주고받는 힘의 크기가 서로 같고, 충돌 시간도 같으므로 두 물체가 받는 충격량의 크기는 서로 같다.

다. 탁구공과 트럭이 받은 충격량의 크기가 같고 두 물체의 충돌 시간도 같으므로 두 물체가 받은 평균 힘의 크기도 탁구공과 트럭이 서로 같다.

14 꼼꼼 문제 분석



나. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 공이 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 (가)에서 $6mv$ 이고, (나)에서 $3mv$ 이다. 작용 반작용 법칙에 따라 벽과 공이 받은 힘의 크기는 같으므로 벽이 받은 충격량의 크기는 공이 받은 충격량의 크기와 같다. 따라서 벽이 받은 충격량의 크기도 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 가. A의 운동량의 변화량의 크기는 $6mv$ 이다.

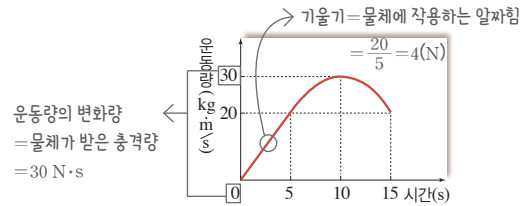
다. B의 충돌 시간을 t 라고 하면, A의 충돌 시간은 $2t$ 이다. 충돌하는 동안 물체가 받은 평균 힘 = $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}}$ 이므로 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 $\frac{6mv}{2t} = \frac{3mv}{t}$ 이고, B가 $\frac{3mv}{t}$ 이다. 따라서 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A와 B가 같다.

15 가. (가)에서 킬링선수와 스톤의 질량은 $50 \text{ kg} + 10 \text{ kg} = 60 \text{ kg}$ 이므로 킬링선수와 스톤의 운동량은 $60 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = 60 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 운동량 보존 법칙에 따라 (나)에서 운동량의 총합도 $60 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 $50 \text{ kg} \times 0.2 \text{ m/s} + 10 \text{ kg} \times v = 60 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 스톤이 킬링선수로부터 받은 충격량은 $50 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 40 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 충격량 = 평균 힘 $\times$ 시간이고, 킬링선수가 스톤을 1초간 밀었으므로 킬링선수가 스톤에 작용한 평균 힘의 크기는 40 N 이다. 작용 반작용 법칙에 따라 킬링선수와 스톤이 주고받는 힘의 크기는 같으므로 킬링선수가 스톤으로부터 받은 힘의 크기도 40 N 이다.

바로알기 나. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 스톤이 받은 충격량의 크기는 $10 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} - 10 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = 40 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

16 꼼꼼 문제 분석



가. 운동량-시간 그래프의 기울기는 물체가 받은 알짜힘과 같으므로 $0 \sim 5$ 초 동안 물체에 작용하는 알짜힘은 $\frac{20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{5 \text{ s}}$

$= 4 \text{ N}$ 이다. 따라서 $F = 4 \text{ N}$ 이다.

나. 충격량은 운동량의 변화량과 같다. 따라서 $0 \sim 10$ 초 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 0 = 30 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

바로알기 다. 물체에 작용하는 평균 힘은 $\frac{\text{충격량}}{\text{힘을 받는 시간}}$ 이다.

$5 \text{ 초} \sim 15 \text{ 초}$ 동안 물체의 운동량의 변화량이 0이므로 물체가 받은 충격량도 0이다. 따라서 물체에 작용하는 평균 힘도 0이다.

17 가. $5t_0$ 일 때 A의 속도는 -4 m/s 이므로 운동량의 크기는 $2 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} = 8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

다. A의 속도 변화량은 -9 m/s 이므로 A가 받은 충격량의 크기는 $2 \text{ kg} \times 9 \text{ m/s} = 18 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이고, B가 받은 충격량의 크기도 $18 \text{ N} \cdot \text{s}$ 로 같다. 충돌 시간은 B가 $3t_0$ 이고, A가 $2t_0$ 이므로 B가 A의 $\frac{3}{2}$ 배이다. 충격량이 같을 때 평균 힘은 충돌 시간에 반비례하므로 충돌하는 동안 물체가 받은 평균 힘의 크기는 B가 A의 $\frac{2}{3}$ 배이다.

바로알기 나. 운동량의 변화량은 질량 $\times$ 속도 변화량이다. 따라서 $2t_0 \sim 5t_0$ 동안 B의 속도의 변화량은 $-1.6 \text{ m/s} - 2 \text{ m/s} = -3.6 \text{ m/s}$ 이므로 B의 운동량의 변화량은 $5 \text{ kg} \times (-3.6 \text{ m/s}) = -18 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 운동량의 변화량은 충격량과 같으므로 $2t_0 \sim 5t_0$ 동안 B가 받은 충격량의 크기는 $18 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

18 ② 야구공을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 충돌 시간이 길어져 손이 받는 충격력을 작게 줄일 수 있다.

바로알기 ① 대포의 포신이 길수록 충돌 시간이 길어져 충격량을 크게 받으므로 포신을 떠나는 포탄의 운동량이 커진다.

③ 야구 방망이를 끝까지 휘두르면 힘을 받는 시간이 길어져 야구공이 더 큰 충격량을 받으므로 야구공의 운동량이 커진다.

④ 대포로 화살을 날릴 때 대포가 길수록 힘을 받는 시간이 길어져 충격량을 크게 받으므로 운동량이 커져 화살이 멀리 나간다.

⑤ 자동차를 탈 때 안전띠를 착용하면 충돌 사고 시 안전띠가 몸을 잡아주는 역할을 할 뿐 충돌 시간을 길게 하지는 않는다.

19 같은 높이에서 떨어진 접시가 콘크리트 바닥에서는 깨지는 데 솜 위에서는 깨지지 않는 현상은 충돌 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 것을 이용한 현상이다.

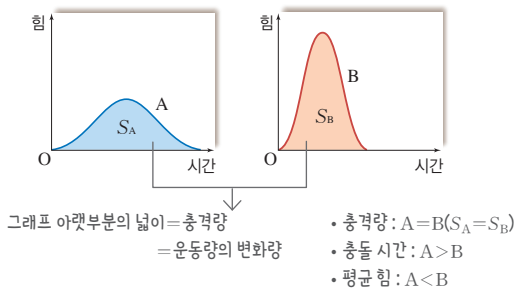
- 계단에서 뛰어내릴 때 무릎을 구부리면 무릎에 힘이 작용하는 시간이 길어져 무릎이 덜 아프다.
- 자동차에 에어백을 장착하면 사고가 발생했을 때 자동차가 충돌하여 정지할 때까지 사람에게 힘이 작용하는 시간이 길어져 사람에게 작용하는 힘의 크기가 최소화된다.
- 물 풍선을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 물 풍선에 힘이 작용하는 시간이 길어져 물 풍선이 터지지 않는다.
- 야구 경기를 할 때 포수가 두꺼운 야구 장갑을 끼고 야구공을 받으면 힘을 받는 시간이 길어져 손에 작용하는 힘의 크기가 작아지므로 손이 덜 아프다.
- 공기가 충전된 포장재는 상품이 충돌에 의해 힘을 받는 시간을 길게 하여 충격을 줄여 준다.

모범 답안 • 계단에서 뛰어내릴 때 무릎을 구부린다.

- 안전을 위해 자동차에 에어백을 장착한다.
- 물 풍선을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받는다.
- 야구 경기에서 포수는 두꺼운 야구 장갑을 끼고 야구공을 받는다.
- 공기가 충전된 포장재로 물건을 포장한다. 등

채점 기준	배점
세 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
세 가지 중 두 가지만 옳게 서술한 경우	60 %
세 가지 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

20 품목 문제 분석



ㄱ. 두 자동차가 벽에 충돌하기 전 운동량이 같고, 벽에 충돌하여 정지했으므로 두 자동차의 운동량의 변화량은 같다. 따라서 두 자동차가 받은 충격량이 같으므로 두 그래프 아래부분의 넓이 S_A 와 S_B 는 같다.

바로알기 ㄴ. 평균 힘은 충격량을 충돌 시간으로 나누어 구한다. 충격량은 같지만 충돌 시간이 다르므로 두 자동차가 받은 평균 힘이 다르다. 충돌 시간이 짧은 B의 평균 힘이 더 크다.

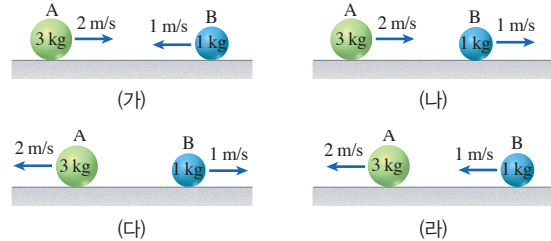
ㄷ. 충돌 사고에서 충격력의 크기가 작을수록 안전하므로 두 자동차 중 충돌 사고에서 더 안전한 자동차는 평균 힘이 더 작은 A이다.

실력 UP 문제

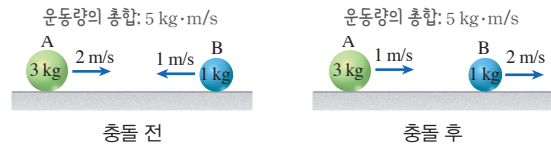
55쪽

01 ① 02 ① 03 ③ 04 ⑤

01 A와 B가 충돌하기 전 A의 속력이 2 m/s이고, B의 속력이 1 m/s일 때, A, B가 운동하는 방향의 경우의 수는 다음 (가), (나), (다), (라)와 같다.



(다), (라)는 A와 B가 충돌하지 않으므로 충돌하기 전 A, B의 운동 방향과 다르다. (나)와 같이 충돌 전 운동 방향이 같은 경우 운동량의 총합은 $3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} + 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = 7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 충돌 후 A, B의 운동량은 각각 $3 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = 3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 충돌 후 A, B의 운동량의 총합은 운동 방향이 같은 경우는 $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} + 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 다른 경우는 $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 모두 $7 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 보다 작다. 따라서 운동량 보존 법칙이 성립하지 않는다. (가)와 같이 충돌 전 운동 방향이 반대인 경우 운동량의 총합은 $3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} - 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 충돌 후 A와 B의 운동 방향이 같은 경우 운동량의 총합이 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 운동량 보존 법칙이 성립한다. 따라서 충돌 전후의 상황으로 가능한 경우는 다음과 같다.



ㄱ. 충돌 전 A, B의 운동 방향은 서로 반대이다.

바로알기 ㄴ. 충돌 후 A와 B의 운동 방향은 서로 같다.

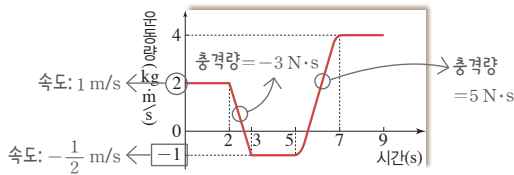
ㄷ. A의 운동량의 변화량은 $3 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} - 3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} = -3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 충돌하는 동안 A가 받은 충격량의 크기는 $3 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

02 ㄱ. 충돌 전 A와 B의 운동량의 총합은 $4mv + 0 = 4mv$ 이다. (나)에서 A와 B가 충돌한 후 $0 \sim 2t$ 동안 A와 B의 속도는 $\frac{4d}{2t} = \frac{2d}{t}$ 이므로 충돌 후 운동량의 총합은 $2m \times \frac{2d}{t} = \frac{4md}{t}$ 이다. A와 B가 충돌할 때 운동량의 총합은 보존되므로 $4mv = \frac{4md}{t}$ 이다. 따라서 $v = \frac{d}{t}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $2t$ 이후에 A와 B의 속도는 $-\frac{d}{2t} = -\frac{1}{2}v$ 이다. 따라서 A와 B는 $2t$ 일 때 벽에 충돌하고, 벽에 충돌할 때 A와 B의 운동량의 변화량은 $2m \times \left(-\frac{1}{2}v\right) - 4mv = -5mv$ 이다. 물체가 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 A와 B가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $5mv$ 이다.

ㄷ. 물체가 외부로부터 힘을 받으면 운동량은 보존되지 않는다. 따라서 A와 B가 벽과 충돌할 때는 A와 B가 외부인 벽으로부터 힘을 받으므로 A와 B의 운동량의 총합이 보존되지 않는다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 물체의 질량이 2 kg이므로 0~2초 동안 물체의 속도는 1 m/s이고, 물체의 변위는 $1 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} = 2 \text{ m}$ 이다. 3초일 때 속도는 $-\frac{1}{2} \text{ m/s}$ 이므로 1초 동안 물체의 가속도는 $-\frac{3}{2} \text{ m/s}^2$ 이고, 등가속도 직선 운동의 식 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에 따라 물체의 변위는 $1 \text{ m/s} \times 1 \text{ s} + \frac{1}{2} \times \left(-\frac{3}{2} \text{ m/s}^2\right) \times (1 \text{ s})^2 = \frac{1}{4} \text{ m}$ 이다. 따라서 0~3초 동안 물체의 변위는 $2 \text{ m} + \frac{1}{4} \text{ m} = \frac{9}{4} \text{ m}$ 이다.

ㄷ. 충격량 = 평균 힘 × 충돌 시간이므로 2초~3초 동안 물체가 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{3 \text{ N} \cdot \text{s}}{1 \text{ s}} = 3 \text{ N}$ 이다. 5초~7초 동안 물체가 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{5 \text{ N} \cdot \text{s}}{2 \text{ s}} = \frac{5}{2} \text{ N}$ 이다. 따라서 물체가 받은 평균 힘의 크기는 2초~3초 동안이 5초~7초 동안보다 크다.

바로알기 ㄴ. 2초~3초 동안 물체의 운동량의 변화량의 크기는 $3 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 5초~7초 동안은 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 운동량의 변화량의 크기는 충격량의 크기와 같으므로 물체가 받은 충격량의 크기는 2초~3초 동안이 5초~7초 동안보다 작다.

04 ㄱ. 충돌 전 B, C가 정지해 있으므로 A와 충돌하기 전 운동량의 총합은 $10mv$ 로 같다. 충돌 후 두 물체는 붙어서 함께 운동하므로 B, C와 충돌한 후 두 물체의 속력을 각각 v_1 , v_2 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $10mv = (m + 4m)v_1$ 이고, $10mv = (m + 9m)v_2$ 이다. 따라서 $v_1 = 2v$, $v_2 = v$ 이므로 충돌 후 속력은 B가 C보다 크다.

ㄴ. 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량의 크기와 같다. B와 C가 받은 충격량의 크기는 A가 받은 충격량의 크기와 같고, 충격량의 크기는 운동량의 변화량의 크기와 같다. A의 운동량의 변화량은 B와 충돌할 때 $2mv - 10mv = -8mv$ 이고, C와 충돌할 때는 $mv - 10mv = -9mv$ 이므로 $S_1 = 8mv$ 이고, $S_2 = 9mv$ 이다. 따라서 $S_1 < S_2$ 이다.

ㄷ. B가 받은 충격량은 C가 받은 충격량보다 작고, 충돌 시간은 A가 B와 충돌할 때가 C와 충돌할 때보다 크므로 충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 B가 C보다 작다.

중단원 핵심 정리

56~57쪽

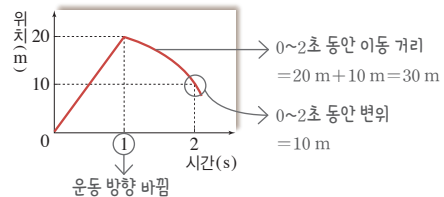
- ① 변위 ② 속력 ③ 속도 ④ 속도 ⑤ 이동 거리 ⑥ 등가속도
⑦ 알짜힘 ⑧ 0 ⑨ 등속 직선 ⑩ 관성 ⑪ 비례 ⑫ 반비례
⑬ 갈 ⑭ 반대 ⑮ 질량 ⑯ 운동량 보존 ⑰ 힘 ⑱ 충격량
⑲ 충격량 ⑳ 충돌 시간 ㉑ = ㉒ 길게

중단원 마무리 문제

58~61쪽

- 01 ④ 02 ④ 03 ③ 04 ① 05 ② 06 ③
07 ① 08 $F: 36 \text{ N}, F_A: 16 \text{ N}$ 09 ③ 10 ③ 11 ④
12 ③ 13 ③ 14 ④ 15 ㄴ, ㄷ, ㄹ, ㅂ 16 ①
17 해설 참조 18 해설 참조 19 해설 참조 20 해설 참조

01 꼼꼼 문제 분석



평균 속력 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{30 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 15 \text{ m/s}$

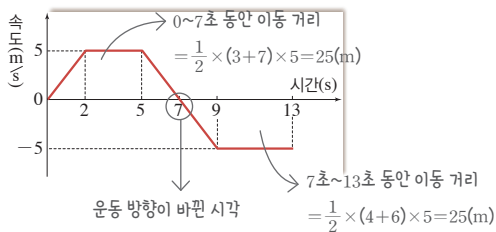
평균 속도 = $\frac{\text{변위}}{\text{걸린 시간}} = \frac{10 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$

02 ㄱ. 등가속도 직선 운동은 가속도가 일정한 운동이므로 매 초당 속도 변화량이 일정하다.

ㄴ. 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 속도 $v=at$ 이다. 가속도 a 가 일정하므로 속도의 크기는 시간 t 에 비례하여 증가한다.

바로알기 ㄷ. 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 변위 $s=\frac{1}{2}at^2$ 이다. 가속도 a 가 일정하므로 변위의 크기는 시간 t 의 제곱에 비례하여 증가한다.

03 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 0~7초 동안 한쪽 방향으로 이동하다가 7초일 때부터 운동 방향을 바꾸어 출발점으로 되돌아온다. 이때 0~7초 동안 이동한 거리와 7초~13초 동안 이동한 거리가 같으므로 13초일 때 변위는 0이다. 따라서 0~13초 동안 평균 속도는 0이다.

바로알기 ㄱ. 속도의 부호는 운동 방향을 나타내므로, 속도의 부호가 (+)일 때의 운동 방향과 (-)일 때의 운동 방향은 반대이다. 따라서 속도의 부호가 (+)에서 (-)로 바뀌는 순간인 7초일 때 물체의 운동 방향이 바뀌어 물체가 출발점을 향해 되돌아오므로 7초일 때 출발점으로부터 가장 멀리 떨어져 있다.

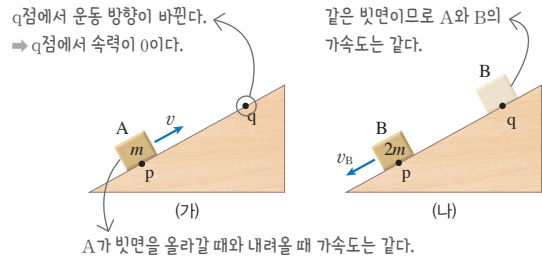
ㄴ. 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 7초일 때 가속도는 $\frac{(-5 \text{ m/s}) - 5 \text{ m/s}}{9 \text{ s} - 5 \text{ s}} = -2.5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 2.5 m/s^2 이다.

04 ㄱ. 정지 상태에서 출발한 자동차가 200 m를 이동하여 나중 속력이 10 m/s가 되었으므로 등가속도 직선 운동의 식 $2as=v^2-v_0^2$ 에 따라 $2 \times a \times 200 \text{ m} = (10 \text{ m/s})^2 - 0^2$ 이다. 따라서 자동차의 가속도 $a=0.25 \text{ m/s}^2$ 이다.

바로알기 ㄴ. 자동차의 속력은 다리 입구에서 10 m/s이고, 다리 끝에서 20 m/s이므로 다리 구간의 길이는 $2as=v^2-v_0^2$ 에서 $s=\frac{v^2-v_0^2}{2a}=\frac{(20 \text{ m/s})^2-(10 \text{ m/s})^2}{2 \times 0.25 \text{ m/s}^2}=600 \text{ m}$ 이다.

ㄷ. 등가속도 직선 운동의 식 $s=\frac{1}{2}at^2$ 에 따라 자동차가 출발선에서 출발하여 다리 입구를 지날 때까지 걸린 시간 $t=\sqrt{\frac{2s}{a}}=\sqrt{\frac{2 \times 200 \text{ m/s}}{0.25 \text{ m/s}^2}}=40 \text{ s}$ 이다.

05 꼼꼼 문제 분석

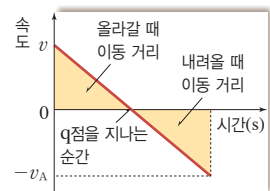


ㄴ. 기울기가 일정한 빗면 위에서 물체가 운동할 때 물체의 가속도는 항상 일정하므로 물체가 빗면을 따라 올라갈 때와 내려올 때 가속도의 크기가 같다. A가 q점에서 운동 방향이 바뀌므로 A는 q점에서 속력이 0이다. A가 q점에서 p점까지 운동할 때 가속도를 a 라고 하고 변위를 s 라고 하면 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $2as=v_A^2-0$ 이다. A가 p점에서 q점까지 운동할 때 가속도는 a 이고, 변위는 $-s$ 이므로 $-2as=0-v^2$ 이다. 따라서 $2as=v_A^2=v^2$ 이므로 $v=v_A$ 이다.

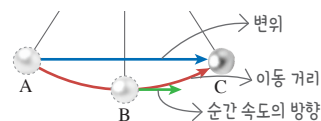
바로알기 ㄱ. 빗면에서 운동하는 물체의 가속도는 중력 가속도와 빗면의 작용으로 생기는 가속도이므로 물체의 질량과는 관계가 없다. 따라서 A와 B의 가속도의 크기는 서로 같고, q점에서 p점까지 이동한 거리도 같으므로 $2as=v_A^2-0=v_B^2-0$ 이다. 따라서 $v_A=v_B$ 이다.

ㄷ. A와 B는 등가속도 직선 운동을 하고 q점에서 A와 B의 속력은 0이므로 A가 p점에서 q점까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{v}{2}$ 이고, B가 q점에서 p점까지 이동하는 동안 평균 속력은 $\frac{v_B}{2}$ 이다. $v_B=v_A=v$ 이므로 A의 평균 속력과 B의 평균 속력은 같다. 따라서 A가 p점에서 q점까지 이동하는 데 걸린 시간은 B가 q점에서 p점까지 이동하는 데 걸린 시간과 같다.

다른 풀이 ㄴ. 빗면을 따라 올라갈 때의 방향을 (+)라고 하고 A의 속도를 시간에 따라 나타내면 다음과 같다. 그래프 아랫부분의 넓이는 변위와 같고 빗면을 따라 올라갈 때와 내려올 때 이동한 거리가 같으므로 $v=v_A$ 이다.



06 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 진자 운동을 하는 물체는 속력과 운동 방향이 모두 변하는 가속도 운동을 한다.

ㄷ. A점에서 C점까지 운동할 때 평균 속도의 방향은 변위의 방향과 같으므로 오른쪽 수평 방향이다. 진자 운동을 하는 물체의 순간 속도의 방향(운동 방향)은 경로의 접선 방향과 같으므로 B점에서 순간 속도의 방향은 오른쪽 수평 방향이다. 따라서 A점에서 C점까지 평균 속도의 방향과 B점을 지날 때 순간 속도의 방향은 서로 같다.

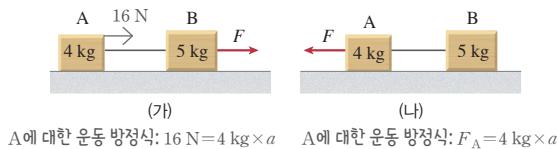
바로알기 ㄴ. 물체는 곡선 경로를 따라 운동하므로 A점에서 C점까지 운동할 때 변위의 크기는 이동 거리보다 작다. 따라서 평균 속도의 크기는 평균 속력보다 작다.

07 ① 관성의 크기는 물체의 질량이 클수록 크다.

바로알기 ②, ③, ④ 관성은 물체가 받는 힘의 크기, 물체의 운동 상태 등과 관련이 없고, 물체가 가지고 있는 고유의 성질이다.

⑤ 수평면에서 운동하던 물체가 속력이 감소하여 정지하는 까닭은 운동 방향과 반대 방향으로 마찰력이나 공기 저항을 받기 때문이다. 운동하는 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 관성에 의해 등속 직선 운동을 계속한다.

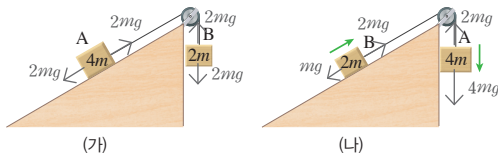
08 품고 문제 분석



(가)에서 실이 A를 당기는 힘 16 N은 A에 작용하는 알짜힘이다. A의 가속도의 크기를 a 라고 하면 운동 방정식에 따라 $16 \text{ N} = 4 \text{ kg} \times a$ 이므로 $a = 4 \text{ m/s}^2$ 이다. A와 B는 실로 연결되어 함께 운동하므로 질량이 $4 \text{ kg} + 5 \text{ kg} = 9 \text{ kg}$ 인 한 물체로 생각하면 운동 방정식에 따라 $F = 9 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 = 36 \text{ N}$ 이다.

(나)에서도 A, B는 실로 연결되어 함께 운동하므로 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{36 \text{ N}}{9 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$ 이다. A에 대한 운동 방정식에 따라 A에 작용하는 알짜힘의 크기 $F_A = 4 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 = 16 \text{ N}$ 이다.

09 품고 문제 분석



ㄱ. (가)에서 A, B가 정지해 있으므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. B에 작용하는 중력의 크기가 $2mg$ 이므로 실이 B를 당기는 힘의 크기도 $2mg$ 이다. 따라서 실이 A를 당기는 힘의 크기도 $2mg$ 이다.

ㄴ. (가)에서 실이 A를 당기는 힘의 크기가 $2mg$ 이므로 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기도 $2mg$ 이다. 빗면에 놓인 물체에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 질량에 비례하므로 (나)에서 B에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 mg 이다. 따라서 (나)에서 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 $4mg - mg = 3mg$ 이다. A, B의 질량은 $2m + 4m = 6m$ 이므로 A, B의 가속도의 크기는 $\frac{3mg}{6m} = \frac{1}{2}g$ 이다.

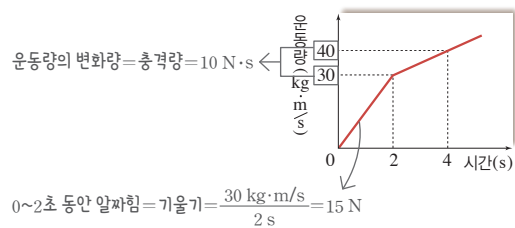
바로알기 ㄷ. (나)에서 A, B의 가속도의 크기가 $\frac{1}{2}g$ 이고, 실이 B를 당기는 힘의 크기를 T 라고 하면 B에 대한 운동 방정식은 $T - mg = 2m \times \frac{1}{2}g$ 이다. 따라서 $T = 2mg$ 이다.

10 ㄱ. 세 물체 모두 정지 상태를 유지하고 있으므로 세 물체에 작용하는 알짜힘은 모두 0이다.

ㄴ. 지면이 C를 떠받치는 힘의 크기는 세 물체의 무게의 합과 같으므로 $(3 + 2 + 5) \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄷ. C가 B를 떠받치는 힘의 크기는 A와 B의 무게의 합과 같으므로 $(3 + 2) \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ N}$ 이다. B에 작용하는 중력은 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다. 따라서 두 힘의 합력이 0이 아니므로 두 힘은 평형 관계가 아니다. B에 작용하는 힘은 C가 B를 떠받치는 힘과 B에 작용하는 중력, A가 B를 누르는 힘이다. 이 세 힘이 모두 B에 작용하여 힘의 평형을 이루고 있다.

11 품고 문제 분석



ㄱ. 운동량 - 시간 그래프의 기울기는 물체가 받은 알짜힘을 나타낸다. 따라서 0~2초 동안 물체가 받은 알짜힘의 크기는 $\frac{30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2 \text{ s}} = 15 \text{ N}$ 이다.

ㄷ. 2초부터 4초까지 물체가 받은 총격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $40 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 30 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 10 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

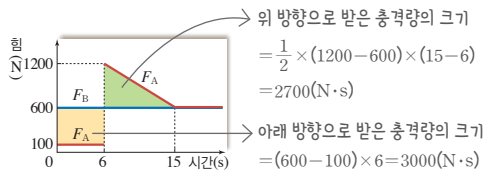
바로알기 ㄴ. 1초일 때 물체가 받은 알짜힘의 크기는 15 N이고, 물체의 질량은 3 kg이므로 물체의 가속도의 크기는 $\frac{15 \text{ N}}{3 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

12 ㄱ. A, B가 충돌하기 전 운동량의 총합은 충돌하기 전 A의 운동량과 같으므로 $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. A, B가 충돌한 후 B의 속도를 v_B 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 2 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} \times v_B$ 이므로 $v_B = 2 \text{ m/s}$ 이다. 따라서 충돌 후 B의 속력은 2 m/s 이다.

ㄴ. C와 충돌한 후 A의 운동량은 $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 A가 C와 충돌할 때 A의 운동량의 변화량은 $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 C와 충돌할 때 A가 받은 충격량의 크기는 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 충돌하는 동안 B와 C가 받은 충격량의 크기는 각각의 충돌에서 A가 받은 충격량의 크기와 같다. A가 B와 충돌할 때 A의 운동량의 변화량은 $2 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) - 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 A가 받은 충격량의 크기는 $8 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이고, C와 충돌할 때 A가 받은 충격량의 크기는 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 따라서 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 B가 C보다 크다.

13 꼼꼼 문제 분석



공기 저항에 의해 작용하는 힘의 방향은 연직 위 방향이고, 중력의 방향은 연직 아래 방향이다. 0~6초 동안에는 $F_A < F_B$ 이므로 알짜힘에 의해 사람이 받은 충격량의 방향은 연직 아래 방향이고, 6초~15초 동안에는 $F_A > F_B$ 이므로 알짜힘에 의해 사람이 받은 충격량의 방향은 연직 위 방향이다. 힘-시간 그래프에서 그래프 아래부분의 넓이는 충격량과 같으므로 0~6초 동안 사람이 받은 충격량의 크기는 $(600 - 100) \times 6 = 3000 (\text{N})$ 이고,

6초~15초 동안은 $\frac{1}{2} \times (1200 - 600) \times (15 - 6) = 2700 (\text{N} \cdot \text{s})$

이다. 따라서 0~15초 동안 사람이 받은 충격량의 방향은 연직 아래 방향이고, 크기는 $(3000 - 2700) \text{ N} \cdot \text{s} = 300 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 15초일 때 사람의 속력을 v 라고 하면 $300 \text{ N} \cdot \text{s} = 60 \text{ kg} \times v$ 이다. 따라서 15초일 때 사람의 속력 $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

14 충돌하는 동안 B가 받은 충격량은 A가 받은 충격량과 크기가 같고, A가 받은 충격량은 A의 운동량의 변화량과 같다. A의 운동량의 변화량은 $1 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) - 1 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = -4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 B가 받은 충격량의 크기는 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. B가 받은 평균 힘은 $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}}$ 일 때, A와 B의 충돌 시간은 0.2초

이므로 B가 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{4 \text{ N} \cdot \text{s}}{0.2 \text{ s}} = 20 \text{ N}$ 이다.

15 ㄴ, ㄷ, ㄹ, ㄲ. 포수가 손을 뒤로 빼면서 공을 받는 경우, 폭신한 곳에 떨어진 컵이 잘 깨지지 않는 경우, 에어백, 인명 구조용 에어 매트 등은 충격량이 일정할 때 충돌 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 경우이다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. 야구 방망이를 끝까지 휘두르는 것과 대포의 포신이 긴 것은 힘이 작용하는 시간을 길게 하여 충격량을 크게 하는 경우이다.

16 ㄱ. 충돌 전 두 자동차의 질량과 속도가 같으므로 충돌 전 두 자동차의 운동량이 같고, 충돌 후에 멈추었으므로 충돌 후 두 자동차의 운동량도 0으로 같다. 따라서 충돌 전후 두 자동차의 운동량의 변화량은 같다.

바로알기 ㄴ. 운동량의 변화량은 충격량과 같다. A의 운동량의 변화량은 B의 운동량의 변화량과 같으므로 A가 받은 충격량은 B가 받은 충격량과 같다.

ㄷ. 두 자동차가 받은 충격량은 같고, 힘을 받은 시간은 $A < B$ 이므로 두 자동차가 받은 평균 힘의 크기는 $A > B$ 이다. 따라서 자동차가 받은 평균 힘이 작은 B가 A보다 안전하다.

17 등속 직선 운동을 하는 물체가 시간 t 동안 이동한 거리 $s = vt$ 이고, 정지해 있던 물체가 등가속도 직선 운동을 할 때 시간 t 동안 이동한 거리 $s = \frac{1}{2}at^2$ 이다. 순찰차와 자동차가 만나는 것은 이동 거리가 같을 때이다.

모범 답안 순찰차와 자동차가 만나려면 이동 거리가 같아야 하므로 그때까지 걸린 시간을 t 라고 하면, $\frac{1}{2} \times 5 \text{ m/s}^2 \times t^2 = 40 \text{ m/s} \times t$ 에서 $t = 16$ 초이다.

채점 기준	배점
걸린 시간을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
풀이 과정만 옳게 쓴 경우	60 %
걸린 시간만 옳게 쓴 경우	30 %

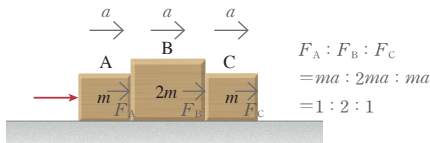
18 • 천천히 들어 올릴 때: 실의 장력이 벽돌의 무게를 감당할 수 있고 실의 장력에 의해 벽돌이 천천히 위로 올라온다.

• 빠르게 들어 올릴 때: 빠르게 들어 올리는 경우 벽돌이 관성에 의해 미처 움직이기 전에 실에 큰 힘이 가해진다. 따라서 벽돌이 정지 상태에서 빠르게 움직이려면 매우 큰 힘이 필요하다.

모범 답안 벽돌을 빠르게 들어 올릴 때는 관성에 의해 벽돌이 정지해 있으려 하므로 실에 큰 힘이 가해져서 실이 끊어진다.

채점 기준	배점
관성을 사용하여 옳게 서술한 경우	100 %
관성의 언급 없이 큰 힘을 받는다고만 서술한 경우	50 %

19 꼼꼼 문제 분석



A에 힘을 주면 세 물체가 같은 가속도로 움직인다. 운동 방정식 $F=ma$ 에서 F 는 알짜힘을 의미하고, 세 물체의 가속도(a)가 같으므로 각 물체에 작용하는 알짜힘(F)은 질량(m)에 비례한다. 따라서 $F_A : F_B : F_C = m : 2m : m = 1 : 2 : 1$ 이다.

모범 답안 $F=ma$ 에서 세 물체의 가속도(a)가 같으므로 각 물체에 작용하는 알짜힘(F)은 각 물체의 질량(m)에 비례한다. 따라서 $F_A : F_B : F_C = m : 2m : m = 1 : 2 : 1$ 이다.

채점 기준	배점
세 물체의 가속도가 같다는 사실과 운동 제2법칙을 적용하여 알짜힘의 비를 옳게 서술한 경우	100 %
세 물체의 가속도가 같다는 사실을 언급하지 않고 운동 방정식만 적용한 경우	50 %

20 충격량이 같을 때, 충격력(평균 힘)은 물체가 힘을 받는 시간에 반비례한다. 따라서 물체가 힘을 받는 시간을 길게 하여 물체가 받는 충격력(평균 힘)을 줄일 수 있다.

모범 답안 두 경우에 달같이 받은 충격량은 같고, 충격량이 같을 때 충격력은 충돌 시간에 반비례한다. 솜이불 위에 떨어진 경우가 시멘트 바닥에서보다 충돌 시간이 길어서 충격력을 작게 받으므로 깨지지 않은 것이다.

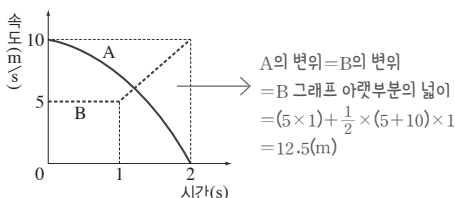
채점 기준	배점
충격량이 같을 때 충격력이 충돌 시간에 반비례한다는 사실과 솜이불 위에서가 시멘트 바닥에서보다 충돌 시간이 길어 충격력이 작다는 사실을 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지 사실만 서술한 경우	50 %
솜이불 위에서 충격력을 작게 받아서라고만 서술한 경우	30 %

수능 실전 문제

63~65쪽

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

01 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 1초일 때 A의 운동 방향과 A의 가속도의 방향은 반대이다.
 =속도의 부호(+) =그래프의 기울기(-)
- ㉡ 0~2초 동안 A의 변위의 크기는 15 m이다. 12.5 m
- ㉢ 1초~2초 동안 B의 가속도의 크기는 4 m/s²이다. 5 m/s²

전략적 풀이 ① 속도-시간 그래프에서 기울기가 의미하는 것을 파악한다.

㉠ 1초~2초 동안 B 그래프의 기울기=B의 가속도

$$= \frac{(10-5) \text{ m/s}}{(2-1) \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

㉡ 운동하는 물체의 속도와 가속도의 부호로 방향 사이의 관계를 파악한다.

㉢ 속도-시간 그래프에서 속도의 부호는 운동 방향을 나타내고, 속도의 부호는 (+)이다. 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도와 같으므로 1초일 때 A의 가속도의 부호는 (-)이다. 따라서 1초일 때 A의 운동 방향과 가속도의 방향은 반대이다.

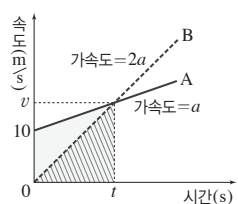
㉣ 속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이가 의미하는 것을 파악한다.

㉤ 속도-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 변위와 같으므로 0~2초 동안 B의 변위는 12.5 m이다. 0~2초 동안 A와 B의 변위가 같으므로 A의 변위의 크기는 12.5 m이다.

02 꼼꼼 문제 분석

A, B의 운동을 속도-시간 그래프로 나타내는 과정은 다음과 같다.

- ① A의 처음 속도=10 m/s
B의 처음 속도=0
- ② A, B가 등가속도 직선 운동을 한다.
- ③ A의 가속도의 크기=a
B의 가속도의 크기=2a
→ 그래프의 기울기: B가 A의 2배
- ④ 속력이 v로 같아지는 순간 A가 B보다 20 m 앞서 있다.
→ 그래프 아랫부분의 넓이 차이: 20 m



선택지 분석

- ㉠ a의 크기는 2 m/s²이다. 2.5 m/s²
- ㉡ v의 크기는 30 m/s이다. 20 m/s
- ㉢ 두 자동차가 기준선을 통과한 순간부터 속력이 v로 같아질 때까지 걸린 시간은 4초이다.

전략적 풀이 ① 속도-시간 그래프의 기울기와 그래프의 아랫부분의 넓이가 의미하는 것을 파악한다.

속도-시간 그래프의 기울기는 가속도를, 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타낸다.

② 등가속도 직선 운동을 하는 두 물체를 분석하여 속도-시간 그래프를 그린다.

A의 가속도의 크기가 a , B의 가속도의 크기가 $2a$ 이므로 그래프의 기울기는 B가 A의 2배이고, 속력이 v 로 같아지는 순간 A가 B보다 20 m 앞서 있으므로 그래프 아랫부분의 넓이 차이는 20 m이다.

③ 속도-시간 그래프를 이용하여 v 와 a 를 계산한다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ. A와 B의 속도-시간 그래프에서

A의 속도 $v=10 \text{ m/s}+at$ 이고, ①

B의 속도 $v=2at$ 이다. ②

$0\sim t$ 초 동안 A와 B의 거리 차가 20 m이므로, A와 B의 그래프 아랫부분의 넓이 차이는 20 m이다.

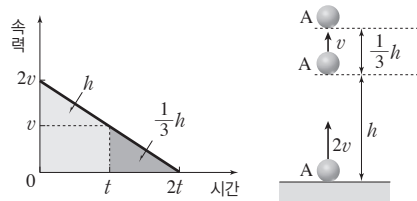
$$\left\{ \frac{1}{2} \times (10+v) \times t \right\} - \left(\frac{1}{2} \times v \times t \right) = 20(\text{m}) \quad \dots\dots\dots ③$$

①과 ②를 연립하면 $at=10 \text{ m/s}$ 이고, $v=20 \text{ m/s}$ 이다. ... ④

④를 ③에 대입하면 $t=4\text{초}$ 이고, $a=2.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

03 품공 문제 분석

A의 속도-시간 그래프를 그리면 다음과 같다.



선택지 분석

- ☒ A가 최고점에 도달했을 때 높이는 $2h$ 이다. $\frac{4}{3}h$
- ☐ B가 높이 h 만큼 올라가면 A는 최고점에 도달한다.
- ☒ A, B가 충돌할 때까지 B가 이동한 거리는 $\frac{5}{4}h$ 이다.

전략적 풀이 ① 속도-시간 그래프를 그려 최고점까지의 거리를 계산한다.

ㄱ. A는 등가속도 직선 운동을 하므로 A의 운동을 속도-시간 그래프로 나타낼 수 있다. 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이는 이동 거리와 같으므로 A의 속력이 $2v$ 에서 v 까지 감소하는 동안 그래프 아랫부분의 넓이는 h 이다. A의 속력이 v 에서 0까지 감소하는 동안은 그래프 아랫부분의 넓이가 $\frac{1}{3}h$ 이므로 높이 h 에서 최고점까지 거리는 $\frac{1}{3}h$ 이다. 따라서 A가 최고점에 도달했을 때

높이는 $h + \frac{1}{3}h = \frac{4}{3}h$ 이다.

② A, B의 가속도가 같다는 것을 적용하여 A, B의 운동을 파악한다.

ㄴ. A, B의 가속도는 중력 가속도로 같으므로 B가 높이 h 만큼 올라가면 A와 같이 속력이 v 가 된다. B의 속력이 $2v$ 에서 v 만큼 감소하는 동안 A의 속력도 v 만큼 감소하여 0이 된다. 따라서 B가 높이 h 만큼 올라가면 A는 최고점에 도달한다.

③ 속도-시간 그래프를 통해 A, B가 충돌하는 지점을 파악한다.

ㄷ. B의 높이가 h 일 때 A는 자유 낙하 운동을 시작하고, 두 물체 사이의 거리는 $\frac{1}{3}h$ 이므로 A와 B가 충돌할 때까지 A의 이동

거리와 B의 이동 거리의 합은 $\frac{1}{3}h$ 이다. 이때 A와 B의 속력을 시간에 따라 나타낸 그래프는 다음과 같다.

속력-시간 그래프에서 $0\sim t$ 동안 B 그래프 아랫부분의 넓이는

$\frac{1}{3}h$ 이고, $0.5t\sim t$ 동안 B 그래프

아랫부분의 넓이와 $0\sim 0.5t$

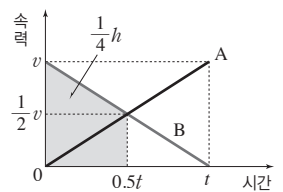
동안 A 그래프 아랫부분의 넓이

가 같다. 따라서 시간이 $0.5t$ 가 되는 지점에서 A의 이동 거리와

B의 이동 거리의 합이 $\frac{1}{3}h$ 가 되므로 이때 A, B가 충돌한다. B

는 높이 h 인 곳에서 $\frac{1}{4}h$ 만큼 더 이동하였으므로 A, B가 충돌할

때까지 B가 이동한 거리는 $\frac{5}{4}h$ 이다.



다른 풀이 ㄱ. 중력 가속도의 크기를 g 라고 하면, A가 지면에서 높이 h 인 지점까지 등가속도 직선 운동을 하므로 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $2 \times (-g) \times h = v^2 - (2v)^2 = -3v^2$ 이다. 따라서 $v^2 = \frac{2}{3}gh$ 이다. A의 속도가 $2v$ 에서 0이 될 때까지 이동 거리를 s 라고 하면 등가속도 직선 운동의 식에 따라 $2 \times (-g) \times s = 0 - (2v)^2 = -4v^2$ 이므로 $s = \frac{4}{3}h$ 이다. 따라서 A가 최고점에 도달했을 때의 높이는 $\frac{4}{3}h$ 이다.

ㄷ. A가 최고점에서 낙하하기 시작한 순간 B는 높이 h 인 곳에서 v 의 속력으로 운동하고 있고, A, B 사이의 거리는 $\frac{4}{3}h - h = \frac{1}{3}h$ 이다. 따

라서 A, B가 충돌할 때까지 A, B가 이동한 거리의 합은 $\frac{1}{3}h$ 이다. A,

B가 충돌할 때까지 걸린 시간을 T 라고 하면, 등가속도 직선 운동의 식 $s = vt + \frac{1}{2}at^2$ 에 따라 (A의 이동 거리)+(B의 이동 거리) $= \frac{1}{3}h$

$= \left(\frac{1}{2}gT^2 \right) + \left(vT - \frac{1}{2}gT^2 \right)$ 이므로 $T = \frac{h}{3v}$ 이다. $v^2 = \frac{2}{3}gh$ 이므로

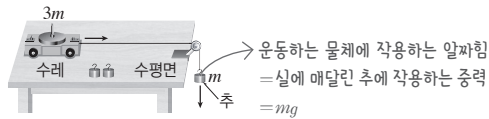
T 동안 B의 이동 거리 $H = vT - \frac{1}{2}gT^2 = \frac{h}{3} - \frac{h}{12} = \frac{1}{4}h$ 이다. 따

라서 A, B가 충돌할 때까지 B가 이동한 거리는 $h + H = h + \frac{1}{4}h$

$= \frac{5}{4}h$ 이다.

04 꼼꼼 문제 분석

운동하는 물체의 질량 = 수레의 질량 + 추의 질량 = $3m + m$



수레와 추에 대한 방정식:

$$mg = (3m + m) \times a$$

선택지 분석

☒ ㉠	2 m/s^2	☐ ㉡	1.5 m/s^2	☒ ㉢	2 m/s^2	☐ ㉣	5 m/s^2
☒ ㉤	4 m/s^2	☐ ㉥	3 m/s^2	☒ ㉦	4 m/s^2	☐ ㉧	5 m/s^2
☒ ㉨	5 m/s^2	☐ ㉩	7.5 m/s^2				

전략적 풀이 ① 실에 매달린 추의 수가 1개일 때 중력 가속도 값을 구한다.

수레와 추에 작용하는 알짜힘은 추에 작용하는 중력이므로 중력 가속도를 g 라고 하면 알짜힘의 크기는 mg 이다. 수레와 추를 질량이 $3m + m = 4m$ 인 하나의 물체로 생각하면, 수레와 추에 대한 운동 방정식은 $mg = 4m \times 2.5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 중력 가속도 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 이다.

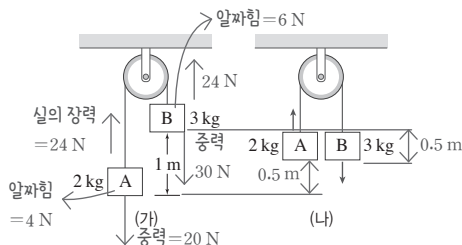
② 추가 2개일 때의 운동 방정식을 통해 수레의 가속도를 구한다.

추가 2개가 되면 수레와 추에 작용하는 알짜힘의 크기는 $2mg$ 가 된다. 수레와 추 2개가 연결되어 함께 운동하므로 질량이 $3m + m + m = 5m$ 인 하나의 물체로 생각하면 수레와 추에 대한 운동 방정식은 $2mg = 5m \times a$ 이다. 따라서 수레의 가속도 $a = \frac{2}{5}g = 4 \text{ m/s}^2$ 이다.

③ 추가 3개일 때의 운동 방정식을 통해 수레의 가속도를 구한다.

추가 3개가 되면 수레와 추에 작용하는 알짜힘은 $3mg$ 이고, 수레와 추의 질량은 $3m + m + m + m = 6m$ 이다. 따라서 추가 3개일 때 수레와 추에 대한 운동 방정식은 $3mg = 6m \times a$ 이므로 수레의 가속도 $a = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☒ A의 가속도의 크기는 1 m/s^2 이다. 2 m/s^2
- ☐ (나)의 순간에 두 물체의 속력은 $\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.
- ☐ (나)에서 실의 장력의 크기는 24 N이다.

전략적 풀이 ① (가)에서 도르래의 운동을 파악하고 알짜힘을 구한다.

정지 상태에서 손을 놓으면 물체는 중력을 받아 운동하므로 각각 등가속도 직선 운동을 한다.

ㄱ. 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 B의 무게 $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ N}$ 에서 A의 무게 $2 \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 을 뺀 10 N 이다. 따라서 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{10 \text{ N}}{(2+3) \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

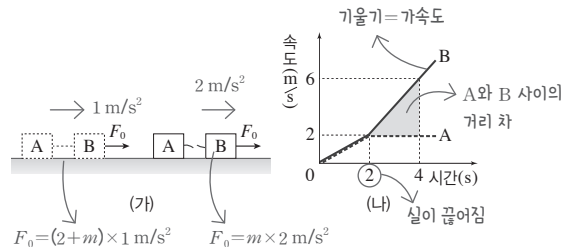
② 등가속도 직선 운동의 식을 이용하여 (나)에서 물체의 속력을 구한다.

ㄴ. 정지 상태에서 두 물체가 등가속도 직선 운동을 하여 0.5 m 씩 이동하였고, 가속도의 크기는 2 m/s^2 이므로 등가속도 직선 운동의 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 따라 $2 \times 2 \text{ m/s}^2 \times 0.5 \text{ m} = v^2 - 0^2$ 에서 $v = \sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

③ A에 대한 운동 방정식을 적용하여 A에 작용하는 힘을 구한다.

ㄷ. 실의 장력을 T 라고 하면 A에 작용하는 알짜힘은 $T - 20 \text{ N}$ 이다. 따라서 A에 대한 운동 방정식은 $T - 20 \text{ N} = 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2$ 이므로 $T = 24 \text{ N}$ 이다.

06 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☐ B의 질량은 2 kg 이다.
- ☐ F_0 은 4 N 이다.
- ☒ A, B 사이의 거리는 4초일 때가 2초일 때보다 6 m 더 크다.

전략적 풀이 ① 속도 - 시간 그래프에서 기울기가 의미하는 것을 파악한다.

(나)에서 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 $0 \sim 2$ 초 동안 A, B의 가속도는 $\frac{2 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이고, $2 \sim 4$ 초

동안 B의 가속도는 $\frac{(6-2) \text{ m/s}}{(4-2) \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

② 운동 방정식을 이용하여 물체의 질량과 물체에 작용하는 힘을 파악한다.

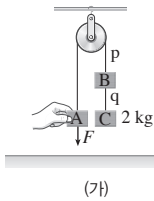
ㄱ, ㄴ. B의 질량을 m 이라 하면 0~2초 동안 A와 B에 대한 운동 방정식은 $F_0 = (2 \text{ kg} + m) \times 1 \text{ m/s}^2 \dots \textcircled{1}$, 2초~4초 동안 B에 대한 운동 방정식은 $F_0 = m \times 2 \text{ m/s}^2 \dots \textcircled{2}$ 이다. 두 식 ①, ②를 연립하여 풀면 $m = 2 \text{ kg}$ 이고, $F_0 = 4 \text{ N}$ 이다.

③ 속도 - 시간 그래프에서 그래프 아래부분의 넓이가 의미하는 것을 파악하고 A, B 사이의 거리를 구한다.

ㄷ. 2초일 때와 4초일 때 A와 B 사이의 거리 차는 (나)에서 2초~4초 동안 속도 - 시간 그래프 아래부분의 넓이 차이와 같으므로 $\left\{ \frac{1}{2} \times (2+6) \times 2 \right\} - (2 \times 2) = 4(\text{m})$ 이다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 4초일 때가 2초일 때보다 4 m 더 크다.

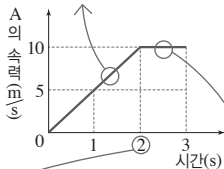
07 품고 문제 분석

F를 가해 정지 상태를 유지하므로
A의 무게 + F = B의 무게 + 20 N



2초일 때 운동 상태가 변하므로
2초일 때 C가 지면에 닿는다.

0초에서 2초 사이에 세 물체의 가속도
= 5 m/s²



C가 지면에 닿은 2초 이후 등속 직선 운동을
하므로 A와 B의 무게가 같다.

선택지 분석

- ㄱ A, B의 질량의 합은 2 kg이다.
- ㄴ F의 크기는 20 N이다.
- ✕ 1초일 때, p가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기와 같다. 크기보다 크다.

전략적 풀이 ① C가 지면에 닿은 이후 물체의 운동을 파악하고 A, B의 질량을 구한다.

ㄱ. C가 지면에 닿은 2초 이후 등속 직선 운동을 하므로 A와 B의 질량은 같다. 따라서 0~2초 사이에 세 물체에 작용하는 알짜힘은 C의 무게와 같은 20 N이다. A와 B의 질량을 각각 m 이라 하고, 운동 방정식을 세워 보면 $20 \text{ N} = (2m + 2 \text{ kg}) \times 5 \text{ m/s}^2$ 이므로 $m = 1 \text{ kg}$ 이다. 따라서 A와 B의 질량의 합은 2 kg이다.

② 처음 힘 F를 작용하여 정지해 있을 때 물체에 작용하는 힘을 파악하여 F를 구한다.

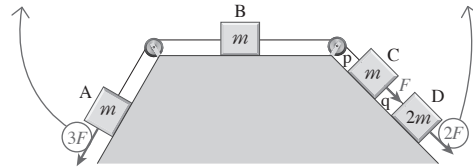
ㄴ. A에 F를 작용하였을 때 A, B, C가 정지 상태를 유지하므로 A의 무게 + F = B의 무게 + 20 N이다. A의 무게와 B의 무게가 같으므로 F의 크기는 20 N이다.

③ 1초일 때 물체에 작용하는 알짜힘을 파악한다.

ㄷ. p의 장력은 p가 B를 당기는 힘과 같고, q의 장력은 q가 B를 당기는 힘과 같다. 1초일 때, A에는 위쪽으로 p의 장력이 작용하고, 아래쪽으로 A의 무게 10 N이 작용한다. 따라서 p의 장력 - 10 N = 1 kg $\times$ 5 m/s²이므로 p의 장력은 15 N이다. 1초일 때, B에는 위쪽으로 p의 장력이 작용하고, 아래쪽으로 B의 무게와 q의 장력이 작용하므로 q의 장력 + 10 N - 15 N = 1 kg $\times$ 5 m/s²에서 q의 장력은 10 N이다. 따라서 1초일 때, p가 B를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기보다 크다.

08 품고 문제 분석

알짜힘 = 0이므로 A에 작용하는 힘과, C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘은 C와 D에 작용하는 힘은 크기가 같다. F라고 하면 D에 작용하는 힘은 2F이다.



선택지 분석

- ✕ 1 : 2
- ✕ 1 : 3
- ✕ 2 : 3
- ✕ 3 : 5
- ⑤ 4 : 9

전략적 풀이 ① 빗면 위에 놓인 물체에 작용하는 힘을 파악한다.

같은 빗면 위에 놓인 C와 D에 중력에 의해 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 질량에 비례하므로 C에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기를 F라고 하면 D에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 2F이다. 실이 모두 연결되어 있을 때 물체는 정지해 있으므로 중력에 의해 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기와 C와 D에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 서로 같다. 따라서 A에 빗면 아래 방향으로 작용하는 힘의 크기는 $F + 2F = 3F$ 이다.

② 실 q가 끊어졌을 때 운동 방정식을 적용하여 B의 가속도의 크기를 구한다.

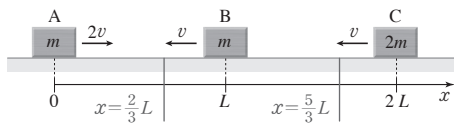
실 q가 끊어지면 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $3F - F = 2F$ 이다. 실 q가 끊어졌을 때 A, B, C의 가속도의 크기는 a_1 이고, A, B, C의 질량의 총합은 $3m$ 이므로 A, B, C에 대한 운동 방정식은 $2F = 3ma_1$ 이다. 따라서 $a_1 = \frac{2F}{3m}$ 이다.

③ 실 p가 끊어졌을 때 운동 방정식을 적용하여 B의 가속도의 크기를 구한다.

실 p가 끊어지면 A, B에 작용하는 알짜힘의 크기는 3F이다. 실 p가 끊어졌을 때 A, B의 가속도의 크기는 a_2 이고, A, B의 질량의 총합은 2m이므로 A, B에 대한 운동 방정식은 $3F = 2ma_2$ 이다. 따라서 $a_2 = \frac{3F}{2m}$ 이므로 $a_1 : a_2 = \frac{2F}{3m} : \frac{3F}{2m} = 4 : 9$ 이다.

09 꼼꼼 문제 분석

A와 B는 $x = \frac{2}{3}L$ 위치에서 충돌한다. $\Rightarrow$ 이때 C는 $x = \frac{5}{3}L$ 위치를 지난다.



선택지 분석

- ☒ A, B의 충돌 직후 A의 속력은 v 이다. $\frac{v}{2}$
- ☒ A, B가 한 덩어리가 된 물체는 C와 충돌 직후 정지한다.
 왼쪽으로 운동한다.
- ☒ A, B가 한 덩어리가 된 물체는 C와 $x = L$ 인 지점에서 충돌한다.

전략적 풀이 ① 충돌 전후 운동량이 보존됨을 이해한다.

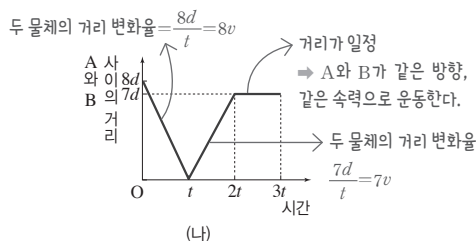
ㄱ. A, B가 충돌한 후 A, B의 운동량의 총합은 보존된다. 따라서 A, B가 충돌한 직후 한 덩어리가 된 두 물체의 속도 v' 은 $2mv + (-mv) = 2mv'$ 에서 $v' = \frac{v}{2}$ 이다. 따라서 A, B의 충돌 직후 A의 속력은 $\frac{v}{2}$ 이다.

ㄴ. 처음 A, B, C의 운동량의 총합은 세 물체가 한 덩어리가 되었을 때의 운동량과 같다. 따라서 한 덩어리가 된 세 물체의 속도 V 는 $2mv + (-mv) + (-2mv) = 4mV$ 에서 속도 $V = -\frac{1}{4}v$ 이다. 따라서 충돌 직후 세 물체는 왼쪽으로 운동한다.

② 속력과 이동 거리의 관계를 이해하고 물체의 충돌 위치를 파악한다.

ㄷ. A가 오른쪽으로 $\frac{2}{3}L$ 만큼 이동하는 동안 B, C는 왼쪽으로 $\frac{1}{3}L$ 만큼 이동하므로 A, B가 충돌하는 순간 A, B의 위치는 $x = \frac{2}{3}L$ 인 지점이고, C의 위치는 $x = \frac{5}{3}L$ 인 지점이다. 충돌 후 한 덩어리가 된 A, B의 속력은 C의 절반이므로 A, B가 오른쪽으로 $\frac{1}{3}L$ 만큼 이동하는 동안 C는 왼쪽으로 $\frac{2}{3}L$ 만큼 이동한다. 따라서 A, B, C는 $x = L$ 인 지점에서 충돌한다.

10 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ☒ t 부터 $2t$ 까지 A의 속력은 $3v$ 이다. $2v$
- ☒ B가 벽과 충돌할 때 받은 충격량의 크기는 $6mv$ 이다.
 14mv
- ☒ $2t$ 부터 $3t$ 까지 A와 B의 운동량의 총합의 크기는 $10mv$ 이다.

전략적 풀이 ① A와 B 사이의 거리 그래프로부터 충돌 후 두 물체의 운동을 파악한다.

충돌 전 A, B는 $4v$ 의 속력으로 서로를 향해 운동하므로 A와 B는 $8v$ 의 속력으로 가까워진다. (나)에서 0부터 t 까지 A와 B 사이의 거리는 t 동안 $8d$ 만큼 가까워졌으므로 $\frac{8d}{t} = 8v$ 이다.

t 부터 $2t$ 까지 A와 B 사이의 거리는 t 동안 $7d$ 만큼 멀어지므로 충돌 후 A와 B는 $\frac{7d}{t} = 7v$ 의 속력으로 멀어진다. t 부터 $2t$ 까지

두 물체 사이의 거리는 멀어지고 $2t$ 부터 두 물체 사이의 거리가 일정하므로 A와 B는 충돌 후 서로 반대 방향으로 운동하다가 $2t$ 일 때 B가 벽과 충돌 후 A와 B는 같은 방향으로 운동한다.

② 운동량 보존 법칙을 적용하여 충돌 후 A와 B의 속도를 구한다.

ㄱ. 충돌 후 A, B의 속도를 각각 v_A, v_B 라고 하고, 오른쪽 방향을 (+)라고 하면 충돌 직후 A와 B는 $7v$ 의 속력으로 멀어지므로 $v_B - v_A = 7v$ 이고, 두 물체가 충돌할 때 운동량 보존 법칙에 따라 $3m \times 4v + 2m \times (-4v) = 3mv_A + 2mv_B$ 이므로 $4v = 3v_A + 2v_B$ 이다. 두 식을 연립하면 $v_A = -2v, v_B = 5v$ 이므로 t 부터 $2t$ 까지 A의 속력은 $2v$ 이다.

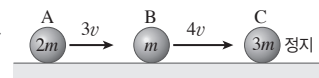
③ B가 벽과 충돌한 이후 상황을 파악한다.

ㄴ. (나)에서 B가 $2t$ 일 때 벽과 충돌한 이후 A와 B 사이의 거리가 일정하게 유지되므로 A와 B의 속도가 같다. $v_A = -2v$ 이므로 벽과 충돌한 이후 B의 속도도 $-2v$ 이다. B가 벽과 충돌하기 전 속도는 $5v$ 이므로 벽과 충돌하기 전후 B의 운동량의 변화량은 $(-4mv) - 10mv = -14mv$ 이다. 따라서 B가 벽으로부터 받은 충격량의 크기는 $14mv$ 이다.

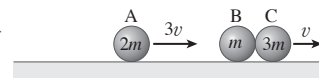
ㄷ. $2t$ 부터 $3t$ 까지 A의 운동량은 $-6mv$ 이고, B의 운동량은 $-4mv$ 이므로 A와 B의 운동량의 총합은 $-10mv$ 이다. 따라서 A와 B의 운동량의 총합의 크기는 $10mv$ 이다.

11 꼼꼼 문제 분석

A, B가 처음 충돌한 후 물체의 운동



B와 C가 충돌한 후 물체의 운동



선택지 분석

- ㉠ B와 처음 충돌한 후 A의 운동량의 크기는 $6mv$ 이다.
- ㉡ B와 C가 충돌한 후 A와 B는 다시 충돌한다.
- ㉢ 모든 충돌이 끝난 후 A, B, C의 운동량의 총합은 $10mv$ 이다.

전략적 풀이 ① 힘-시간 그래프에서 A가 받은 충격량의 크기를 구한다.

㉠. 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량의 크기와 같으므로 B가 받은 충격량의 크기는 $2mv$ 이다. A와 B가 충돌할 때 두 물체에 작용하는 힘은 작용 반작용 법칙에 따라 크기가 같고 방향이 반대이므로 A가 받은 충격량의 크기도 $2mv$ 이다. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 B와 처음 충돌한 후 A의 운동량은 $8mv - 2mv = 6mv$ 이다.

② 운동량 보존 법칙을 적용하여 B와 C가 충돌 후 B의 속력을 파악한다.

㉡. B는 A와 충돌하여 오른쪽 방향으로 $2mv$ 의 충격량을 받았으므로 C와 충돌하기 전 B의 운동량은 $2mv + 2mv = 4mv$ 이다. B가 C와 충돌한 후에는 B와 C가 함께 운동하므로 충돌 후 B와 C의 속력을 v_{BC} 라고 하면 운동량 보존 법칙에 따라 $4mv = (m + 3m) \times v_{BC}$ 에서 $v_{BC} = v$ 이다. B와 충돌 후 A의 운동량은 $6mv$ 이고, A의 질량은 $2m$ 이므로 B와 충돌 후 A의 속력은 $3v$ 이다. B가 C와 충돌한 후 B와 C의 속력은 v 이고 A의 속력은 $3v$ 이므로 A가 B와 C보다 더 빠르다. 따라서 A와 B는 다시 충돌한다.

③ 외력이 작용하지 않을 때 운동량이 보존되는 것을 이용하여 운동량의 총합을 구한다.

㉢. 충돌이 몇 번이 일어나더라도 A, B, C 사이의 상호 작용 이외에 외력이 작용하지 않으므로 A, B, C의 운동량의 총합은 보존된다. (가)에서 모든 충돌이 일어나기 전 A, B, C의 운동량의 총합은 $8mv + 2mv = 10mv$ 이므로 모든 충돌이 끝난 후에도 A, B, C의 운동량의 총합은 $10mv$ 이다.

선택지 분석

- ㉠ 첫 번째 충격에서 물체가 받은 충격량의 크기는 $3mv_0$ 이다.
- ㉡ 물체가 받은 충격량의 크기는 첫 번째 충격보다 두 번째 충격에서 더 크다.
- ㉢ 물체가 받은 평균 힘은 첫 번째 충격보다 두 번째 충격에서 더 크다. 작다.

전략적 풀이 ① 충격량과 운동량의 변화량의 관계를 파악한다.

㉠. 물체가 충돌할 때 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다. 첫 번째 충격에서 물체의 운동량의 변화량이 $3mv_0$ 이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 $3mv_0$ 이다.

㉡. 두 번째 충격에서 물체의 운동량의 변화량이 $-5mv_0$ 이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 $5mv_0$ 이다. 따라서 물체가 받은 충격량의 크기는 첫 번째 충격보다 두 번째 충격에서 더 크다.

② 첫 번째 충돌과 두 번째 충돌에서 평균 힘의 크기를 비교한다.

㉢. 물체가 받은 평균 힘은 $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}}$ 이므로 첫 번째 충격에서

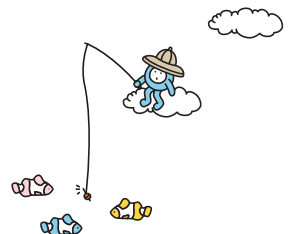
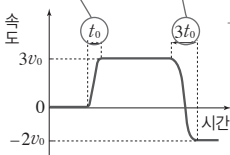
물체가 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{3mv_0}{t_0}$ 이고, 두 번째 충격에서 물

체가 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{5mv_0}{3t_0}$ 이다. 따라서 물체가 받은 평균 힘은 두 번째 충격보다 첫 번째 충격에서 더 크다.

12 꼼꼼 문제 분석

첫 번째 충격에서 속도 변화량이 $3v_0$ 이므로 운동량의 변화량은 $3mv_0$ 이다.

두 번째 충격에서 속도 변화량이 $-5v_0$ 이므로 운동량의 변화량은 $-5mv_0$ 이다.



2 에너지와 열

1 역학적 에너지 보존

개념 확인 문제

7쪽

- ① 운동 ② mv^2 ③ 운동 에너지 변화량 ④ 중력 ⑤ 탄성
⑥ 역학적 에너지 ⑦ 퍼텐셜 ⑧ 운동 ⑨ 열

- 1 25 J 2 8 N 3 200 J 4 2 J 5 ㉠ 퍼텐셜,
㉡ 보존 6 (1) 200 J (2) 100 J (3) 20 m/s

1 운동 에너지 = $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (5 \text{ m/s})^2 = 25 \text{ J}$

2 $F \times 4 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 4 \times 5^2 - \frac{1}{2} \times 4 \times 3^2$ 이므로 F 는 8 N이다.

3 지면을 기준면으로 하면 지면에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이다. 지면으로부터 10 m 높이로 이동했을 때 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이다. 따라서 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은 200 J이다.

4 탄성 퍼텐셜 에너지 = $\frac{1}{2} \times 400 \text{ N/m} \times (0.1 \text{ m})^2 = 2 \text{ J}$

5 역학적 에너지는 물체의 ㉠퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합으로, 마찰이나 공기 저항이 없으면 중력이나 탄성력을 받아 운동하는 물체의 역학적 에너지는 일정하게 ㉡보존된다.

- 6 (1) 낙하하는 순간의 역학적 에너지 = 20 m 높이에서의 중력 퍼텐셜 에너지이므로 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 20 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이다.
(2) 10 m 높이에서의 운동 에너지는 10 m 높이로 낙하할 때까지 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (20 - 10) \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다.
(3) 지면에서의 운동 에너지는 20 m 높이에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2 = 200 \text{ J}$ 에서 $v = 20 \text{ m/s}$ 이다.

72~73쪽

완자별 비법 특강

Q1 0

Q2 A: $\frac{3}{4}mgs$, B: $\frac{1}{4}mgs$

Q3 $2kd$

Q4 FL

Q1 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 A, B의 역학적 에너지 변화량 = 0이므로 A, B의 운동 에너지 변화량 + 중력 퍼텐셜 에너지 변화량 = 0이다.

Q2 A의 운동 에너지 = $\frac{1}{2} \times 3m \times \left(\sqrt{\frac{gs}{2}}\right)^2 = \frac{3}{4}mgs$, B의 운동 에너지 = $\frac{1}{2} \times m \times \left(\sqrt{\frac{gs}{2}}\right)^2 = \frac{1}{4}mgs$ 이다.

Q3 물체에는 아래쪽으로 중력 mg , 위쪽으로 탄성력 $k(d + 2d)$ 가 작용하므로 합력 $F = mg - k(d + 2d)$ 이고, $mg = kd$ 이므로 $F = -2kd$ 이다. 따라서 합력의 크기는 $2kd$ 이다.

Q4 역학적 에너지 감소량은 마찰력이 물체에 한 일이므로 FL 이다.

대표 자료 분석

74~75쪽

자료 ① 1 50 J 2 ㉠ 증가, ㉡ 50, ㉢ 50 3 10 m/s
4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

자료 ② 1 ㄴ 2 ㉠ 감소, ㉡ 증가, ㉢ 증가, ㉣ 감소
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

자료 ③ 1 ㉠ 증가, ㉡ 0 2 (1) A=B>O (2) O
(3) A=O=B 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ○

자료 ④ 1 ㉠ 운동, ㉡ 증가 2 ㉠ 열, ㉡ 보존되지 않는다
3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) ×

1-1 힘 - 이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 한 일을 나타내므로 물체를 11 m 이동시키는 동안 힘이 한 일은 $(5 \text{ N} \times 6 \text{ m}) + (4 \text{ N} \times 5 \text{ m}) = 50 \text{ J}$ 이다.

1-2 일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 해 준 일만큼 물체의 운동 에너지가 ㉠증가한다. 처음에 물체가 정지해 있었으므로 운동 에너지는 0이고, 물체가 11 m를 이동하는 동안 물체에 한 일이 ㉡50 J이면, 11 m를 이동한 후 물체의 운동 에너지는 $0 + 50 \text{ J} = ㉢50 \text{ J}$ 이다.

1-3 11 m를 이동한 후 물체의 운동 에너지가 50 J이므로 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2 = 50 \text{ J}$ 에서 물체의 속력 $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

1-4 (1) 물체에 작용하는 알짜힘이 물체에 한 일만큼 운동 에너지가 변한다.

(2), (3) 물체가 6 m 이동했을 때 물체에 한 일은 힘 - 이동 거리 그래프 아랫부분의 넓이인 30 J이다. 힘이 물체에 한 일만큼 운동 에너지가 증가하므로 운동 에너지도 30 J이다.

2-1 ㄱ, ㄷ. A → B, C → D 구간에서는 공의 높이가 낮아지므로 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환된다.

ㄴ. B → C 구간에서는 공의 높이가 높아지므로 운동 에너지가 퍼텐셜 에너지로 전환된다.

2-2 공이 아래로 내려올 때는 퍼텐셜 에너지가 ㉠감소하고 운동 에너지가 ㉡증가한다. 또한 공이 위로 올라가는 동안 퍼텐셜 에너지는 ㉢증가하고, 운동 에너지는 ㉣감소한다.

2-3 (1) 퍼텐셜 에너지는 공의 높이에 비례하므로 A에서 퍼텐셜 에너지가 최대이다.

(2) 역학적 에너지가 보존되므로 감소한 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 운동 에너지는 공의 낙하 거리가 클수록 크므로 B에서 운동 에너지는 C에서보다 크다.

(3) B, D에서 공의 역학적 에너지는 같다. 또한 공의 높이가 같아 퍼텐셜 에너지가 같으므로, 공의 운동 에너지도 같다. 따라서 공의 속도도 같다.

(4) 모든 마찰과 공기 저항을 무시하므로 A, B, C, D에서 역학적 에너지는 모두 일정하게 보존된다.

3-1 추가 O점을 지나 B점을 향할 때 탄성 퍼텐셜 에너지는 ㉠증가하고, B점에서 추의 운동 에너지는 ㉡0이다.

3-2 (1) 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철의 변형된 길이에 비례하므로 A점과 B점에서 같고, O점에서 최소(0)이다.

(2) O점에서 추의 운동 에너지는 최대이고, A점과 B점에서 추의 운동 에너지는 최소(0)이다.

(3) 마찰과 공기 저항이 없으므로 점 A, O, B에서 역학적 에너지는 모두 일정하게 보존된다.

3-3 (1) 마찰과 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지는 일정하게 보존되므로 추가 어느 지점에 있든지 역학적 에너지는 일정하다.

(2) 추가 O점을 지나 A점을 향할 때 추의 탄성 퍼텐셜 에너지는 증가하고, 운동 에너지는 감소한다.

(3) A, B점에서 추의 늘어난 길이가 최대이므로 탄성 퍼텐셜 에너지는 최대이다.

(4), (5) O점에서 추의 운동 에너지는 최대이고, 탄성 퍼텐셜 에너지는 최소(0)이다.

4-1 A 구간에서 구슬의 처음 중력 퍼텐셜 에너지는 ㉠운동 에너지로 전환된다. 따라서 구슬의 속력은 ㉡증가한다.

4-2 B 구간에는 마찰력이 작용하므로, 구슬의 운동 에너지 중 일부가 마찰에 의해 ㉠열에너지로 전환된다. 따라서 역학적 에너지가 ㉡보존되지 않는다.

4-3 (1) A 구간은 마찰과 공기 저항이 없으므로 어느 지점이든 구슬의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

(2) A 구간에서 역학적 에너지는 보존되므로, 처음 중력 퍼텐셜 에너지는 빗면 바로 아래에서 모두 운동 에너지로 전환된다.

(3) B 구간에서 마찰력이 작용하므로, 구슬의 운동 에너지는 마찰에 의한 열에너지 등으로 전환되어 감소한다. 따라서 구슬의 속력이 점점 감소한다.

(4) B 구간에서 마찰에 의해 역학적 에너지의 일부가 열에너지로 전환되므로 역학적 에너지는 감소한다.

내신·안정 문제

76~80쪽

01 ②	02 ③	03 ③	04 ⑤	05 ⑤	06 ①
07 ④	08 ②	09 ⑤	10 ⑤	11 ⑤	12 해설 참조
13 ⑤	14 ①	15 ④	16 ②	17 ㄴ, ㄹ	18 ⑤
19 해설 참조	20 ④	21 해설 참조	22 ⑤	23 ⑤	

01 물체 A의 속력을 v_A , 물체 B의 속력을 v_B 라고 할 때 두 물체의 운동량(mv)이 같으므로 $5v_A = 2v_B$ 에서 $v_A = \frac{2}{5}v_B$ 이다. 따

라서 운동 에너지의 비는 $E_A : E_B = \frac{1}{2} \times 5 \times v_A^2 : \frac{1}{2} \times 2 \times v_B^2 = 5v_A^2 : 2v_B^2 = 5 \times \left(\frac{2}{5}v_B\right)^2 : 2v_B^2 = 2 : 5$ 이다.

02 ㄱ. (가)에서 두 물체는 정지해 있으므로 운동량의 합은 0이고, (가)에서 (나)로 운동 상태가 변하는 동안 운동량의 합은 보존되므로 (나)에서도 운동량의 합은 0이다.

ㄴ. (나)에서 A, B의 운동량의 합은 0이므로 A와 B의 운동량은 크기가 같고 방향이 서로 반대이다. 운동량의 크기를 p 라고 하면 운동 에너지는 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}$ 이므로 질량에 반비

례한다. 따라서 A와 B의 운동 에너지의 비는 $\frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 3 : 2$ 이다.

바로알기 ㄷ. 운동량 보존 법칙에 따라 (나)에서 A, B의 운동량의 크기는 같다. A, B의 속력의 크기를 각각 v_A , v_B 라고 하면 $2v_A = 3v_B$ 이므로 $v_A : v_B = 3 : 2$ 이다.

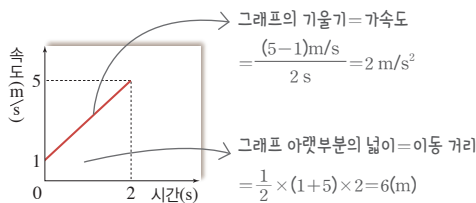
03 질량이 2 kg인 물체가 10 m/s의 속력으로 운동할 때 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (10 \text{ m/s})^2 = 100 \text{ J}$ 이다. 이때 물체에 일을 하여 물체의 속력이 20 m/s가 되었을 때의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (20 \text{ m/s})^2 = 400 \text{ J}$ 이다. 일·운동 에너지 정리에 따라 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. 따라서 물체의 속력이 20 m/s가 되게 하려면 물체에 $400 \text{ J} - 100 \text{ J} = 300 \text{ J}$ 의 일을 해 주어야 한다.

04 ㄱ. 0~2 m 이동하는 동안 힘의 크기가 4 N으로 일정하므로 물체의 가속도의 크기 $a = \frac{F}{m} = \frac{4 \text{ N}}{4 \text{ kg}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 일·운동 에너지 정리에 따라 0~2 m를 이동하는 동안 힘이 물체에 한 일은 운동 에너지 변화량과 같으므로 $4 \text{ N} \times 2 \text{ m} = \frac{1}{2} \times 4 \text{ kg} \times v^2$ 에서 물체의 속력 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 힘 - 이동 거리 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 한 일을 나타내므로 0~4 m 이동하는 동안 힘이 물체에 한 일은 $(4 \text{ N} \times 2 \text{ m}) + (2 \text{ N} \times 2 \text{ m}) = 12 \text{ J}$ 이다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. 따라서 힘 F 의 크기는 질량 $\times$ 가속도 $= 1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 2 \text{ N}$ 이다.

ㄴ. 속도 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 물체가 이동한 거리를 나타낸다. 따라서 0~2초 동안 물체가 이동한 거리는 6 m이므로, 힘 F 가 한 일은 $2 \text{ N} \times 6 \text{ m} = 12 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 일·운동 에너지 정리에 따라 알짜힘이 한 일만큼 운동 에너지가 변한다. 따라서 0~2초 동안 물체의 운동 에너지 변화량은 알짜힘 F 가 한 일인 12 J과 같다.

06 ㄱ. A, B가 받은 충격량의 크기는 서로 같고 충돌 시간은 A가 B보다 작으므로 평균 힘의 크기는 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄴ. 힘 - 시간 그래프에서 아랫부분의 넓이는 충격량과 같으므로 A, B가 받은 충격량의 크기는 서로 같다.

ㄷ. 공은 처음에 정지해 있었으므로 충격량의 크기는 나중 운동량의 크기와 같다. 운동량과 운동 에너지 사이의 관계 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 으로부터 운동량의 크기가 같을 때 질량이 큰 물체일수록 운동 에너지가 작다. 따라서 운동 에너지는 A가 B보다 작고, 일·운동 에너지 정리에 따라 알짜힘이 한 일은 A가 B보다 작다.

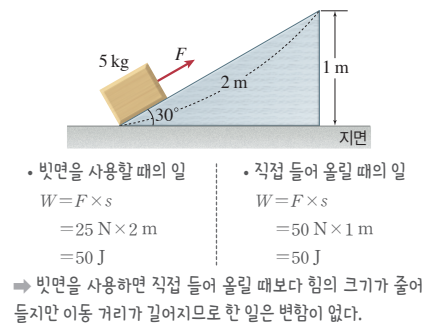
07 ㄱ. 물체의 높이가 2 m 증가하였으므로 중력 퍼텐셜 에너지는 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 만큼 증가하였다.

ㄴ. 물체의 속력은 변하지 않고 높이만 변하므로 물체에 해 준 일은 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 같다. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 20 J만큼 증가하였으므로 물체에 해 준 일은 20 J이다.

바로알기 ㄷ. 중력 퍼텐셜 에너지의 기준면이 달라지면 각 위치에서 중력 퍼텐셜 에너지 값은 달라지지만 두 위치 사이의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 일정하다.

기준면	지면에서 중력 퍼텐셜 에너지	p에서 중력 퍼텐셜 에너지	지면 → p로 이동할 때 중력 퍼텐셜 에너지 변화량
지면	0	20 J	20 J
기준선 p	-20 J	0	20 J

08 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 1 m 높이에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $E_p = mgh$ 이므로 $5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다.

ㄴ. 빗면을 사용하여 물체를 끌어올리는 일을 한 만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 따라서 힘이 한 일은 $W = F \times 2 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이므로 F 의 크기는 25 N이다.

바로알기 ㄷ. 빗면을 사용하여 한 일은 $Fs = 25 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다. 따라서 빗면을 사용하여 일을 하면 물체를 직접 들어 올릴 때보다 힘의 크기는 50 N에서 25 N으로 줄어들지만, 이동 거리가 1 m에서 2 m로 길어지므로 한 일은 변함이 없다.

09 ① 물체의 높이가 h 만큼 높아졌으므로 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh 만큼 증가하였다.

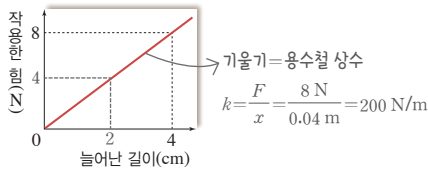
② 물체를 일정한 속력으로 들어 올렸으므로 운동 에너지도 변하지 않고 일정하다.

③ 물체의 속력이 일정하므로 가속도가 0이다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 0이므로 $F = mg$ 이다.

④ 사람이 물체에 작용하는 힘 $F = mg$ 이고, 이동 거리는 h 이므로 이 힘이 한 일은 mgh 이다.

바로알기 ⑤ 일·운동 에너지 정리에 따르면 물체에 작용하는 알짜힘이 한 일은 운동 에너지의 변화량과 같다. 물체의 운동 에너지는 일정하므로 알짜힘이 한 일도 0이다.

10 꼼꼼 문제 분석



① 용수철에 작용한 힘- 늘어난 길이 그래프의 기울기는 용수철의 용수철 상수를 나타낸다. 따라서 용수철 상수 $k=200 \text{ N/m}$ 이다.

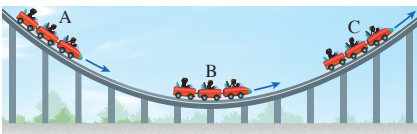
② 그래프를 보면 작용한 힘과 늘어난 거리가 비례하므로 4 N 의 힘을 작용하였을 때는 용수철이 2 cm 늘어난다.

③, ④ 용수철이 4 cm 늘어날 때까지 힘이 한 일은 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지로 저장된다. 따라서 힘이 용수철에 한 일은 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지와 같으므로

$$\frac{1}{2} \times 200 \text{ N/m} \times (0.04 \text{ m})^2 = 0.16 \text{ J} \text{ 이다.}$$

바로알기 ⑤ 탄성 퍼텐셜 에너지는 $E_p = \frac{1}{2} kx^2$ 이므로 용수철의 늘어난 길이의 제곱에 비례한다. 늘어난 길이가 2배가 되려면 탄성 퍼텐셜 에너지는 2^2 배=4배가 되어야 하므로 $0.16 \text{ J} \times 4 = 0.64 \text{ J}$ 의 일을 해 주어야 한다. 따라서 용수철이 4 cm 에서 8 cm 로 늘어날 때 해 주어야 하는 일은 $0.64 \text{ J} - 0.16 \text{ J} = 0.48 \text{ J}$ 이다.

11 꼼꼼 문제 분석



경로	A점 → B점	B점 → C점
중력 퍼텐셜 에너지	감소	증가
운동 에너지	증가	감소
역학적 에너지	어느 지점에서나 일정하다.	
에너지 전환	중력 퍼텐셜 에너지 → 운동 에너지	운동 에너지 → 중력 퍼텐셜 에너지

⑤ 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 모든 마찰과 공기 저항을 무시할 때 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합인 역학적 에너지는 항상 일정하게 보존된다.

바로알기 ①, ② A점에서 B점으로 이동할 때 속력이 증가하므로 운동량은 증가하고, B점에서 C점으로 이동할 때 속력이 감소하므로 운동량은 감소한다.

③, ④ A점에서 B점으로 이동할 때 높이가 낮아지므로 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동

에너지가 증가한다. B점에서 C점으로 이동할 때 높이가 높아지므로 중력 퍼텐셜 에너지는 증가하고, 증가한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 감소한다.

12 모범 답안 마찰과 공기 저항이 없이 중력만을 받아 운동하므로 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 따라서 물체가 내려오는 동안 높이가 낮아지므로 중력 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다.

채점 기준	배점
세 에너지의 변화를 까닭과 함께 모두 옳게 서술한 경우	100 %
세 에너지 중 두 에너지의 변화만 까닭과 함께 옳게 서술한 경우	80 %
세 에너지의 변화만 옳게 서술한 경우	50 %

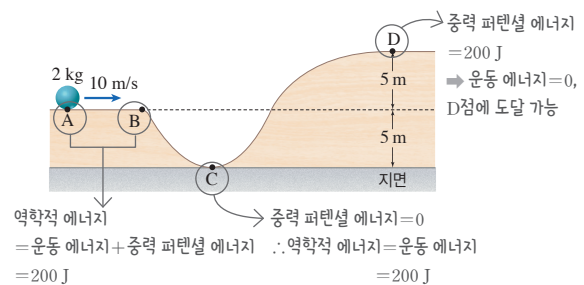
13 공기 저항을 무시하므로 공의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

ㄴ. 지면에 도달할 때까지 12 m 낙하하므로 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량은 $mg\Delta h = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 12 \text{ m} = 240 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 지면에 도달한 순간 공의 운동 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량과 같은 240 J 이다.

바로알기 ㄱ. 역학적 에너지가 보존되므로 3 m 높이를 지날 때 감소한 중력 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. 3 m 높이에서 운동 에너지는 $mg\Delta h = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times (12 - 3) \text{ m} = 180 \text{ J}$ 이고, 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이다. 따라서 운동 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 3 배이다.

14 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. A점에서 물체의 역학적 에너지=운동 에너지+중력 퍼텐셜 에너지이므로 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (10 \text{ m/s})^2 + 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이다.

바로알기 ㄴ. C점은 기준면으로, 중력 퍼텐셜 에너지가 0인 곳이다. 이때 B점에서 C점으로 물체가 운동하는 동안 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 모두 운동 에너지로 전환되므로 물체의 운동 에너지는 역학적 에너지와 같은 200 J 이다.

ㄷ. 역학적 에너지가 보존되므로 D점에 도달하기 위해서는 물체의 역학적 에너지가 D점의 높이에서의 퍼텐셜 에너지와 같거나 더 커야 한다. D점에서 물체의 퍼텐셜 에너지는 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이므로 물체는 D점에 도달할 수 있다.

15 ㄱ. B의 무게는 B에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 $mg = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다. 이때 B의 무게에 의해 A, B가 함께 운동하므로 A, B의 가속도의 크기 $a = \frac{F}{m} = \frac{20 \text{ N}}{(3+2) \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄷ. B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B의 운동 에너지 증가량과 같다. B가 1 m 낙하했을 때 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $mg\Delta h = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이므로 A, B의 운동 에너지의 합은 20 J이다.

바로알기 ㄴ. 마찰과 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지가 보존됨에 따라 중력이 B에 한 일의 양만큼 B의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하고, 그 만큼 A, B의 운동 에너지가 증가한다. 따라서 중력이 B에 한 일의 양은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 같다.

16 ㄷ. B가 지면에 도달한 순간 A의 속력은 $\frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ m/s}$ 이므로 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times \left(\frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ m/s}\right)^2 = \frac{10}{3} \text{ J}$ 이고, 지면으로부터의 높이는 2 m이므로 실이 끊어지기 직전 A의 역학적 에너지는 $(1 \times 10 \times 2) \text{ J} + \frac{10}{3} \text{ J} = \frac{70}{3} \text{ J}$ 이다. 따라서 A가 지면에 도달한 순간의 속력을 v_A 라고 하면 $\frac{70}{3} = \frac{1}{2} \times 1 \times v_A^2$ 에서 $v_A = 2\sqrt{\frac{35}{3}} \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 (나)로 운동 상태가 변하는 동안 A의 높이는 1 m 높아졌고 B의 높이는 1 m 낮아졌으며 A, B의 속력은 증가하였다. 역학적 에너지는 보존되므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 = A의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량 + A와 B의 운동 에너지 증가량이다. B가 지면에 도달한 순간 A, B의 속력을 v 라고 하면 $2 \times 10 \times 1 = 1 \times 10 \times 1 + \frac{1}{2} \times (1+2) \times v^2$ 에서 $v = \frac{2\sqrt{15}}{3} \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. 실이 끊어진 순간 A는 연직 위 방향으로 운동하고 있었으므로 A의 가속도 방향이 연직 아래 방향으로 바뀌어도 A는 속력이 0이 될 때까지 연직 위 방향으로 더 운동한다.

17 역학적 에너지 보존 법칙이 성립하므로 높이 변화가 같은 두 물체는 q에서의 운동 에너지가 같다. 따라서 q에서 두 물체의 속력이 같고, 질량도 m 으로 같으므로 속력과 질량에 관계된 물리량은 모두 같다.

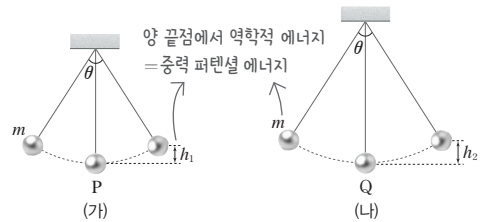
ㄴ. 충격량은 운동량의 변화량과 같고, 두 물체의 운동량의 변화량은 서로 같으므로 충격량의 크기도 서로 같다.

ㄷ. 일·운동 에너지 정리에 따라 운동 에너지의 변화량이 같으면 알짜힘이 한 일도 같다.

바로알기 ㄱ. 빗면을 따라 내려가는 물체의 가속도의 크기가 중력 가속도보다 작으므로 p에서 q까지 운동하는 데 걸린 시간은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 충격량의 크기는 같고 걸린 시간은 A가 더 크므로 물체에 작용한 평균 힘의 크기는 B가 A보다 크다.

18 꼼꼼 문제 분석



실의 길이는 (나)에서가 (가)에서보다 길므로 $h_1 < h_2$ 이다.

ㄴ. 추가 왕복 운동을 하는 경로의 양 끝에 위치했을 때는 추의 속력이 순간적으로 0이 되므로 이때의 중력 퍼텐셜 에너지가 추의 역학적 에너지와 같다. P점, Q점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 0이고, 추가 최대로 올라가는 높이는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 추의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

ㄷ. P점, Q점에서의 운동 에너지는 역학적 에너지와 같다. 추의 역학적 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 최저점에서 추의 속력도 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

바로알기 ㄱ. 추가 왕복 운동을 하는 동안 추의 역학적 에너지는 보존되므로 추의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하면 추의 운동 에너지가 커지고, 중력 퍼텐셜 에너지가 증가하면 운동 에너지는 작아진다. 추의 높이는 운동하는 동안 계속 변하므로 운동 에너지도 계속 변한다.

19 레일에 마찰이 없으므로 A 지점과 B 지점에서 역학적 에너지는 처음 지점에서 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

모범 답안 A 지점에서의 속력을 v_A , B 지점에서의 속력을 v_B 라고 하면, 처음 지점과 A와 B 지점에서 역학적 에너지가 같으므로

$$mg \times 2 = mg \times 0.5 + \frac{1}{2}mv_A^2 \dots \textcircled{1}$$

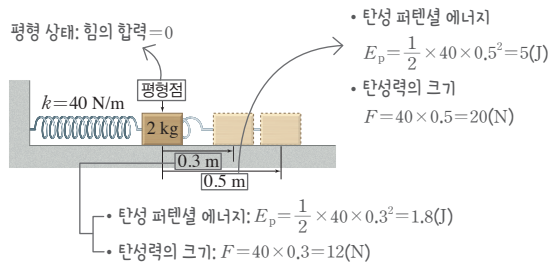
$$mg \times 2 = mg \times 1 + \frac{1}{2}mv_B^2 \dots \textcircled{2}$$

이므로 $v_A = \sqrt{\frac{3}{2}}v_B$ 이다. 따라서 A 지점에서의 속력은 B 지점에서의 $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 배이다.

유사 답안 역학적 에너지가 보존되므로 A 지점과 B 지점에서 운동 에너지는 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같다. 중력 퍼텐셜 에너지의 비가 A : B = 0.5 : 1이므로 운동 에너지의 비는 A : B = (2 - 0.5) : (2 - 1) = 1.5 : 1 = 3 : 2이다. $\frac{1}{2}mv_A^2 : \frac{1}{2}mv_B^2 = 3 : 2$ 에서 $v_A : v_B = \sqrt{3} : \sqrt{2}$ 이므로 $v_A = \sqrt{\frac{3}{2}}v_B$ 이다. 따라서 A 지점에서의 속력은 B 지점에서의 $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 배이다.

채점 기준	배점
A 지점에서의 속력이 B 지점에서의 몇 배인지 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A 지점과 B 지점에서의 속력만 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	70 %

20 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 용수철을 0.3 m까지 늘였을 때, 탄성 퍼텐셜 에너지는

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 40 \text{ N/m} \times (0.3 \text{ m})^2 = 1.8 \text{ J} \text{이다.}$$

ㄴ. 탄성력의 크기는 $F=kx$ 이므로 용수철을 0.3 m까지 늘일 때 $F=12 \text{ N}$, 0.5 m까지 늘일 때 $F=20 \text{ N}$ 이다. 따라서 힘의 크기의 증가량은 $20 \text{ N} - 12 \text{ N} = 8 \text{ N}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철의 늘어난 길이의 제곱에 비례한다. 따라서 용수철을 0.3 m에서 0.5 m까지 늘일 때 힘이 한 일은 탄성 퍼텐셜 에너지의 차와 같으므로 $\frac{1}{2} \times 40 \times (0.5^2 - 0.3^2) = 3.2 \text{ (J)}$ 이다.

21 수평면에 마찰이 없으므로 구슬이 용수철과 분리되는 순간 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 모두 구슬의 운동 에너지로 전환된다.

모범 답안 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지가 모두 구슬의 운동 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $v = \sqrt{\frac{k}{m}}x$ 이다.

채점 기준	배점
속도의 크기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
속도의 크기만 옳게 쓴 경우	50 %

22 ㄱ. 용수철이 최대대로 늘어난 지점은 물체의 운동 방향이 바뀌는 지점이고, 이때 물체의 속력은 순간적으로 0이 되므로 물체의 운동 에너지도 0이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 물체의 운동 에너지는 모두 0이므로 물체의 위치가 (가)에서 (나)로 변하는 동안 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 모두 탄성 퍼텐셜 에너지로 전환되었다. 따라서 (나)에서 탄성 퍼텐셜 에너지는 mgx 이다.

ㄷ. 물체의 속력이 최대일 때 용수철의 늘어난 길이를 d 라고 하면, 이때 물체에 작용하는 중력과 탄성력의 크기가 같다. 따라서 용수철 상수를 k 라고 하면 $mg=kd$ 이고, $k = \frac{mg}{d}$ 이다. (나)에

서 $mgx = \frac{1}{2}kx^2$ 이고, 여기에 $k = \frac{mg}{d}$ 를 대입하면 $mgx =$

$\frac{1}{2} \times \frac{mg}{d} \times x^2$ 이므로 $x=2d$ 이다. 따라서 $d = \frac{1}{2}x$ 이고, 용수철

의 늘어난 길이가 $\frac{1}{2}x$ 일 때 물체의 속력이 최대임을 알 수 있다.

23 ㄴ. 빗방울의 질량을 m , 지면에 도달할 때 빗방울의 속력을 v 라고 하자. 공기 저항이 없다면 중력 퍼텐셜 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되므로 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $v = \sqrt{2gh}$ 이다. 따라서 $v = \sqrt{2 \times 10 \times 2000} = 200 \text{ (m/s)}$ 이다.

ㄷ. 공기 저항이 없다면 빗방울이 지면에 도달하는 순간의 속력이 200 m/s인데, 공기 저항으로 인해 지면에서의 속력이 2 m/s로 감소하였다. 따라서 빗방울의 역학적 에너지가 감소했다.

바로알기 ㄱ. 역학적 에너지가 보존되려면 중력이나 탄성력 이외에 물체에 작용하는 힘(예 마찰력이나 공기 저항력)이 일을 하지 않아야 한다. 빗방울은 공기 저항에 의해 역학적 에너지의 일부가 열에너지 등으로 전환되므로 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

실력 UP 문제

81쪽

01 ③ 02 ① 03 ① 04 ②

01 ㄱ. (가)에서 충돌 전 운동량의 총합은 $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고 충돌 후 속력을 $v_{(가)}$ 라고 하면 $2=2v_{(가)}$ 이므로 $v_{(가)}=1 \text{ m/s}$ 이다.

ㄴ. 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 속력은 (가)에서 1 m/s이고 (나)에서 $1 \times 2 + 1 \times 1 = 2 \times v_{(나)}$ 에서 $v_{(나)} = \frac{3}{2} \text{ m/s}$ 이다. 따라서

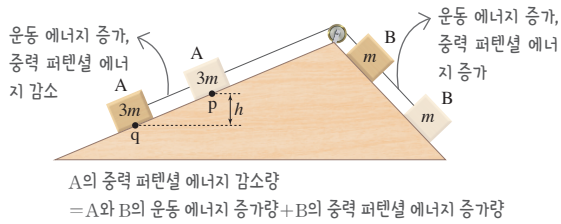
운동 에너지의 감소량은 A가 $\frac{1}{2} \times 1 \times (2^2 - 1^2) = \frac{3}{2} \text{ (J)}$, C가

$\frac{1}{2} \times 1 \times \left\{ 2^2 - \left(\frac{3}{2} \right)^2 \right\} = \frac{7}{8} \text{ (J)}$ 이므로 A가 C보다 크다.

바로알기 ㄷ. 운동 에너지의 증가량은 B가 $\frac{1}{2} \times 1 \times 1^2 = \frac{1}{2} \text{ (J)}$,

D가 $\frac{1}{2} \times 1 \times \left\{ \left(\frac{3}{2} \right)^2 - 1^2 \right\} = \frac{5}{8} \text{ (J)}$ 이므로 B가 D보다 작다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. A와 B는 연결되어 함께 운동하므로 속력이 같다. 따라서 운동 에너지의 비는 질량비와 같으므로 운동 에너지는 A가 B의 3배이다.

바로알기 ㄴ. A가 q점을 지날 때 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $3mgh$ 이다. 중력 퍼텐셜 에너지 변화량은 A가 B의 $\frac{3}{2}$ 배이므로 B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $2mgh$ 이다. 따라서 A의 높이가 h 만큼 낮아질 때 B의 높이는 $2h$ 만큼 증가한다. A와 B의 운동 에너지의 합을 E_k 라고 하면 $E_k = 3mgh - 2mgh = mgh$ 이고, 운동 에너지는 A, B의 질량에 비례하므로 B의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}mgh$ 이다.

ㄷ. 역학적 에너지 보존에 의해 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 = A와 B의 운동 에너지 증가량 + B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량이다.

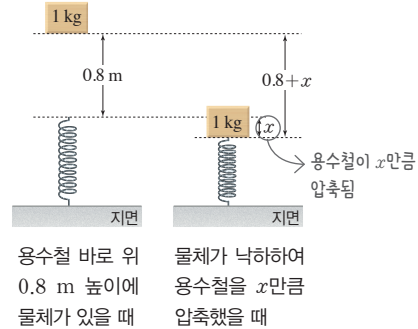
03 ㄱ. 물체가 C를 통과하기 위해서는 B점을 먼저 지나야 한다. 따라서 V는 물체를 B에서 가만히 놓았을 때 C를 지나는 속력보다 커야 한다. B에서 가만히 놓았을 때 C점에서의 속력을 v' 이라고 하면 $mg(3h - 2h) = \frac{1}{2}mv'^2$ 에서 $v' = \sqrt{2gh}$ 이다. 따라서 $V > \sqrt{2gh}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 물체는 p 구간에서 마찰력에 의해 정지하였으므로 감소한 역학적 에너지는 C에서 물체의 운동 에너지인 $\frac{1}{2}mV^2$ 이다. $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mV^2 + 2mgh$ 이므로 p 구간을 통과하는 동안 감소한 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2$ 보다 작다.

ㄷ. A와 B에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $\frac{1}{2}mv^2 = 3mgh + \frac{1}{2}m\left(\frac{1}{2}v\right)^2$ 이므로 $mgh = \frac{1}{8}mv^2$ 이다. C에서의 운동 에너지를 E_k 라고 하고 A와 C에서 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하면 $\frac{1}{2}mv^2 = 2mgh + E_k$ 이므로 $mgh = \frac{1}{8}mv^2$ 을 대입하면 $\frac{1}{4}mv^2 = E_k$ 이다. 따라서 운동 에너지는 A에서가 C에서의 2배이다.

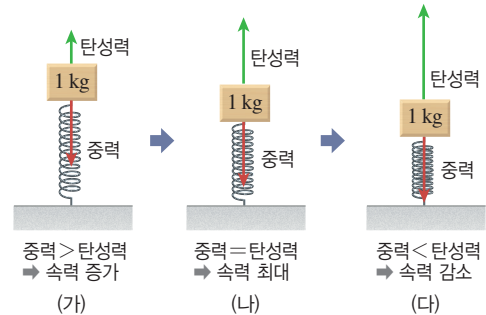
04 꼼꼼 문제 분석

용수철이 연직 방향으로 있는 경우 용수철의 압축된 길이가 달라지면 물체의 중력 퍼텐셜 에너지도 변한다.



ㄴ. 물체의 운동 에너지가 0일 때 용수철이 최대에 압축된다. 용수철의 최대 압축 길이를 x_2 라고 하면 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 $1 \times 10 \times (0.8 + x_2) = \frac{1}{2} \times 500 \times x_2^2$ 이므로 $x_2 = 0.2$ m이다.

바로알기 ㄱ. 그림 (가)와 같이 물체가 용수철을 압축시키는 동안에도 물체에 작용하는 중력의 크기가 탄성력의 크기보다 클 때는 물체에 연직 아래 방향의 알짜힘이 작용하므로 물체의 속력은 계속 증가한다. 따라서 물체의 속력이 최대인 순간은 (나)와 같이 물체에 작용하는 중력의 크기와 탄성력의 크기가 같을 때이다.



(나)에서 용수철이 압축된 길이를 x_1 이라고 하면 $mg = kx_1$ 에서 $x_1 = \frac{10}{500} = 0.02(\text{m}) = 2(\text{cm})$ 이다. 이때 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 = 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량 + 운동 에너지 증가량이다. 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $1 \times 10 \times (0.8 + 0.02) = 8.2 \text{ J}$, 탄성 퍼텐셜 에너지 증가량은 $\frac{1}{2} \times 500 \times 0.02^2 = 0.1 \text{ J}$ 이므로 물체의 운동 에너지는 $8.2 \text{ J} - 0.1 \text{ J} = 8.1 \text{ J}$ 이다. $8.1 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$ 이므로 물체의 속력의 최댓값은 $v = \frac{9\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}$ 이다.

ㄷ. 용수철이 최대에 압축된 길이는 0.2 m이므로 이때 물체에 작용하는 탄성력의 크기는 $500 \times 0.2 = 100(\text{N})$ 이다.

개념 확인 문제

85쪽

- ① 열에너지 ② 열평형 상태 ③ 부피 변화량 ④ 운동
⑤ 절대 온도 ⑥ 내부 에너지 ⑦ 일 ⑧ 부피 ⑨ 등압
⑩ W ⑪ 단열

- 1 $P\Delta V$ 2 (1) ○ (2) × (3) ○ 3 ㉠ 내부 에너지, ㉡ 일
4 3000 J 5 (1) 단열 과정 (2) 등적 과정 (3) 단열 과정
6 (1) ㄹ (2) ㄴ (3) ㄱ (4) ㄷ

- 1 기체가 한 일 $W = Fs = P\Delta L = P\Delta V$
- 2 (1) 이상 기체는 분자 사이의 힘을 무시하므로 퍼텐셜 에너지가 0이다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자들의 운동 에너지의 총합이다.
(2) 온도가 같으면 기체 분자들의 평균 운동 에너지가 같다. 이 경우 기체 분자의 수가 많을수록 내부 에너지가 크다.
(3) 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도와 기체 분자의 수에 비례한다.
- 3 기체에 열을 가하면 기체의 온도가 높아진다. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 기체의 온도가 높아지면 ㉠ 내부 에너지가 증가한다. 또한 기체에 열을 가하면 기체의 부피가 증가한다. 기체의 부피가 증가하면 기체는 외부에 ㉡ 일을 한다.
- 4 이상 기체가 받은 열 Q 는 내부 에너지 증가량 ΔU 와 외부에 한 일 W 의 합과 같다. 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U + W$ 이므로 $\Delta U = Q - W = 5000 \text{ J} - 2000 \text{ J} = 3000 \text{ J}$ 이 된다.
- 5 (1) 구름은 수증기를 포함한 공기가 상승하면서 단열 팽창하여 온도가 낮아지면 수증기가 물방울로 응결할 때 생성되므로 단열 과정이다.
(2) 압력 법칙은 밀폐되어 설정된 압력까지 부피가 변하지 않으므로 받은 열이 모두 내부 에너지를 증가시키는 등적 과정이다.
(3) 자전거 튜브에 공기를 넣을 때 튜브가 뜨거워지는 것은 단열 압축에 해당하므로 외부에서 받은 일만큼 내부 에너지가 증가하여 튜브의 온도가 높아진다. 따라서 단열 과정이다.
- 6 (1) 등온 과정은 기체의 온도가 일정하게 유지되면서 압력과 부피가 변하는 과정이다. 따라서 보일 법칙에 의해 온도가 일정할 때 압력과 부피가 반비례하는 ㄹ이 등온 과정을 나타내는 그래프이다.

- (2) 단열 과정은 외부와의 열 출입이 없이 기체의 상태가 변하는 과정으로, 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = 0$ 이므로 $W = -\Delta U$ 이다. 즉, 내부 에너지가 감소하면 기체가 외부에 한 일 W 는 증가하므로, 기체의 온도가 낮아질 때 기체의 부피가 증가하는 ㄴ이 단열 과정을 나타내는 그래프이다.
(3) 등압 과정은 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 온도와 부피가 변하는 과정이므로 이를 나타내는 그래프는 ㄱ이다.
(4) 등적 과정은 기체의 부피가 일정하게 유지되면서 온도와 압력이 변하는 과정이므로 이를 나타내는 그래프는 ㄷ이다.

대표 자료 분석

86쪽

- 자료 ① 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 8400 J 3 12600 J
4 (1) ○ (2) ○ (3) ×
- 자료 ② 1 (1) (가) (2) (가), (나) 2 ㄱ, ㄴ, ㄷ 3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

- 1-1 (1) 기체 내부의 압력이 외부의 압력과 평형을 유지하면서 팽창하므로 기체의 압력은 외부와 같은 압력으로 일정하게 유지된다.
(2) 압력이 일정하게 유지되면서 부피가 변하므로 이 과정은 등압 과정이다. 압력이 일정할 때 부피는 온도에 비례하므로 부피가 증가할 때 기체의 온도는 높아진다.
(3) 기체 분자의 평균 운동 에너지는 기체의 절대 온도에 비례한다. 기체의 온도가 높아지므로 기체 분자의 평균 운동 에너지도 증가한다.

- 1-2 압력이 일정할 때 기체가 한 일은 압력에 부피 변화량을 곱한 $P\Delta V$ 이다. 따라서 기체의 압력 - 부피 그래프에서 기체가 외부에 한 일(W)은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다.
 $W = P\Delta V = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times (1.084 - 1) \text{ m}^3 = 8400 \text{ J}$

- 1-3 기체가 받은 열을 J 로 전환하면 $Q = 5 \times 4200 = 21000 \text{ (J)}$ 이다. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 내부 에너지 증가량 $\Delta U = Q - W$ 이므로 $\Delta U = 21000 \text{ J} - 8400 \text{ J} = 12600 \text{ J}$ 이다.

- 1-4 (1), (2) 기체가 팽창하면 외부에 일을 하는 것이고, 기체가 수축하면 외부에서 일을 받은 것이다.
(3) 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = Q - W$ 이므로 내부 에너지 변화량은 외부로부터 받은 열에서 외부에 한 일을 뺀 값과 같다.

- 2-1 (가)는 피스톤을 고정시켰으므로 부피가 일정한 과정으로, 기체에 열을 가해도 부피가 변하지 않아 외부에 한 일 $W = 0$ 이다. 따라서 기체가 받은 열은 모두 내부 에너지 증가에 사용된다.

(나)는 압력이 일정한 과정으로, 기체에 열을 가하면 부피가 증가하면서 외부에 일을 하고, 온도가 높아지면서 내부 에너지가 증가한다. 따라서 기체가 받은 열은 내부 에너지 증가와 기체가 외부에 한 일에 사용되므로 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다. $\Rightarrow Q = \Delta U + W$

2-2 ㄱ. (가)에서는 부피가 일정한 상태에서 기체 분자들의 운동 에너지가 증가하고, (나)는 부피가 증가하면서 기체 분자들의 운동 에너지가 증가한다. 따라서 압력은 부피가 일정한 상태에서 기체 분자들의 운동 에너지가 증가하는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

ㄴ. 같은 양의 열을 가했을 때 (가)에서 기체가 받은 열은 내부 에너지의 변화에만 사용되고, (나)에서 기체가 받은 열은 내부 에너지의 변화와 기체가 하는 일에 모두 사용된다. 따라서 기체의 온도는 (가)에서가 (나)에서보다 높다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지는 온도에 비례하므로 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄹ. (가)는 기체의 부피가 일정하므로 외부에 일을 하지 않고, (나)는 기체가 팽창하는 동안 외부에 일을 한다. 따라서 기체가 피스톤에 한 일은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

2-3 (1) (가)에서는 피스톤이 고정되어 있으므로 기체를 가열해도 부피가 변하지 않고 일정하게 유지된다. 따라서 기체가 한 일은 0이다.

(2) (가)에서 기체가 받은 열량으로 내부 에너지가 증가하여 기체의 온도가 높아진다. 부피가 일정할 때 압력과 온도는 비례하므로 기체의 압력이 증가한다.

(3) (나)에서 기체의 내부 에너지가 증가하므로 기체의 온도가 높아진다.

내신 **안정** 문제

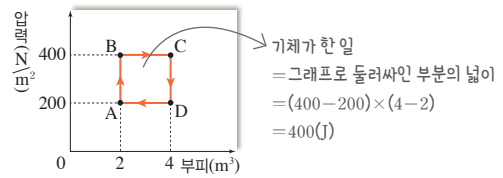
87~90쪽

01 ⑤	02 ③	03 ③	04 ④	05 ②	06 ③
07 ⑤	08 ①	09 해설 참조	10 ⑤	11 ⑤	12 ①
13 ④	14 ②	15 ①	16 ③	17 ③	18 ③
					19 ⑤

01 ㄱ. 열은 온도가 다른 두 물체가 접촉해 있을 때, 고온의 물체에서 저온의 물체로 스스로 이동하는 에너지이다.

ㄴ, ㄷ. 열에너지는 물체 내부의 분자 운동에 의해 나타나는 에너지로, 분자들이 가지는 총 운동 에너지와 관계가 있다. 온도가 높을수록 분자들이 활발하게 움직이므로 분자들의 운동 에너지가 크다.

02 꼼꼼 문제 분석



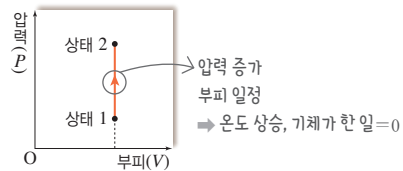
기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 를 따라 변하는 동안 기체가 한 일은 압력-부피 그래프에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이와 같으므로 $W = (400 - 200) \text{ N/m}^2 \times (4 - 2) \text{ m}^3 = 400 \text{ J}$ 이다.

03 ㄱ, ㄴ. 열역학 제1법칙에 따라 기체에 가해 준 열은 기체의 내부 에너지 변화량과 기체가 외부에 한 일의 합과 같다. 이는 열 에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙을 의미한다.

바로알기 ㄷ. 등적 과정은 기체의 부피가 일정하게 유지되면서 상태가 변하는 과정으로, 부피 변화가 없어 기체가 외부에 일을 하지 않는다($W=0$). 따라서 $Q = \Delta U + W$ 에서 기체가 받은 열은 모두 내부 에너지 변화에 이용된다.

04 기체가 팽창하면서 외부에 한 일은 $W = P\Delta V = (3 \times 10^5) \times (0.03 - 0.01) = 6000 \text{ (J)} = 6 \times 10^3 \text{ (J)}$ 이다. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 내부 에너지 증가량 $\Delta U = Q - W = (1.5 \times 10^4) - (6 \times 10^3) = 9 \times 10^3 \text{ (J)}$ 이다.

05 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 기체의 상태가 변하는 동안 부피가 일정하므로 외부에 한 일 $W=0$ 이다. 따라서 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = \Delta U$ 이다. 이때 기체의 온도가 높아졌으므로 내부 에너지 $\Delta U > 0$ 이고, 외부로부터 열에너지 Q 를 얻었다는 것을 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 부피가 일정하므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.

ㄴ. $PV \propto T$ 에서 부피가 일정할 때 압력은 온도에 비례하므로 압력이 커지면 기체의 온도도 높아진다.

06 ㄱ, ㄴ. $PV \propto T$ 에서 압력이 일정할 때 부피와 온도는 비례하므로 부피가 증가하면 기체의 온도가 높아지고 기체의 평균 속도도 증가한다.

바로알기 ㄷ. 기체가 압력이 일정하게 유지되면서 팽창하는 과정에서 기체가 흡수한 열은 기체의 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다.

07 ㄱ. $PV \propto T$ 에서 피스톤이 내려가며 기체의 부피가 감소하고, 온도가 증가하므로(ㄷ) 기체의 압력은 증가한다.

ㄴ. 외부 압력에 의해 기체의 부피가 감소($\Delta V < 0$)하고 있으므로 기체는 외부로부터 일을 받는다.

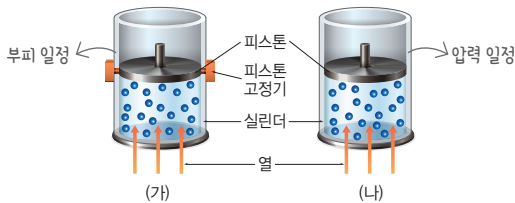
ㄷ. 추의 무게에 의해 기체가 단열 압축되므로 $0 = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = -W$ 이다. 기체가 외부로부터 일을 받으므로($W < 0$) 기체의 내부 에너지는 증가한다. ($\Delta U > 0$)

08 ㄱ. 내부 에너지는 절대 온도에 비례하고, 두 열역학 과정 모두 절대 온도가 T_0 만큼 높아지므로 내부 에너지 증가량은 두 과정이 서로 같다.

바로알기 ㄴ. $A \rightarrow C$ 과정은 부피가 일정($\Delta V = 0$)하여 기체가 일을 하지 않고, $B \rightarrow C$ 과정은 부피가 증가($\Delta V > 0$)하므로 외부에 일을 한다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 $B \rightarrow C$ 과정이 $A \rightarrow C$ 과정보다 크다.

ㄷ. 기체가 흡수한 열에너지는 기체가 한 일과 기체의 내부 에너지 증가량의 합과 같다. 기체의 내부 에너지 증가량은 두 과정이 서로 같고, $B \rightarrow C$ 과정에서만 기체가 일을 하므로 열에너지의 흡수량은 $A \rightarrow C$ 과정이 $B \rightarrow C$ 과정보다 작다.

09 품목 문제 분석



- (가)는 부피가 변하지 않으므로 외부에 일을 하지 않는다. ($W = 0$)
 ➔ 가한 열이 모두 내부 에너지 변화에 쓰인다.
- (나)는 부피가 증가하므로 외부에 일을 한다.
 ➔ 가한 열이 내부 에너지 증가와 외부에 일을 하는 데 쓰인다.

열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 (가)의 기체는 피스톤이 고정되어 있어 부피가 변하지 않으므로 외부에 일을 하지 않는다. 따라서 가한 열이 모두 내부 에너지 변화에 쓰이므로 기체의 내부 에너지 변화량 $\Delta U = Q$ 이다. (나)의 기체는 팽창하여 외부에 일을 하므로 내부 에너지 변화량 $\Delta U = Q - W$ 로 (가)보다 작다. 따라서 내부 에너지 증가량은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

모범 답안 (가), (가)에서는 가한 열이 모두 내부 에너지 증가에 쓰이지만 ($\Delta U = Q$) (나)에서는 가한 열이 내부 에너지 증가와 외부에 일을 하는 데 쓰이기($\Delta U = Q - W$) 때문이다.

채점 기준	배점
(가)를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
(가)만 고른 경우	30 %

10 ㄴ. $PV \propto T$ 에서 기체의 온도가 일정할 때, 기체의 압력과 부피는 반비례한다.

ㄷ. 기체의 온도 변화가 없으므로, 내부 에너지 변화량 $\Delta U = 0$ 이다. 따라서 $Q = \Delta U + W$ 에서 기체가 흡수한 열은 기체가 외부에 한 일과 같다.

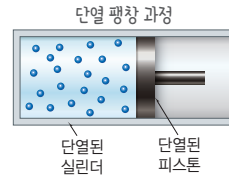
바로알기 ㄱ. 기체의 온도가 일정하게 유지되므로, 내부 에너지의 변화는 없다.

11 ㄴ. 기체가 압축되며 외부에서 일을 받지만, 단열 과정이므로 열에너지의 출입이 없어 받은 일이 모두 내부 에너지 증가에 쓰인다. ($-W = \Delta U$)

ㄷ. 기체의 부피가 줄어들고, 온도가 상승하므로 압력은 증가한다.

바로알기 ㄱ. 기체가 압축되므로 부피가 감소한다. 따라서 기체는 외부에서 일을 받는다.

12 품목 문제 분석



- ① 단열 과정이므로 $Q = 0$ 이다.
- ② 기체의 부피가 증가하므로 외부에 일을 한다. ($W > 0$)
- ③ 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $W = -\Delta U$ 이므로 ΔU 가 감소한다.
- ④ 온도가 낮아진다.

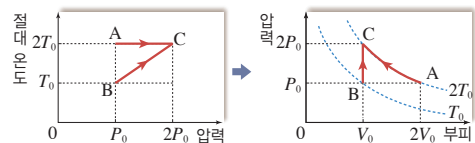
ㄱ. 외부와의 열 출입이 없이 기체의 부피가 증가하는 단열 과정에서 기체가 외부에 일을 하게 되고, 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소한다. ($0 = \Delta U + W \therefore W = -\Delta U$)

바로알기 ㄴ. $PV \propto T$ 에서 기체의 부피가 증가하고 기체의 온도가 낮아지므로 기체의 압력은 감소한다.

ㄷ. 온도가 낮아지고 내부 에너지가 감소하므로 기체 분자의 평균 속력은 감소한다.

13 품목 문제 분석

절대 온도-압력 그래프를 압력-부피 그래프로 나타내면 다음과 같다.



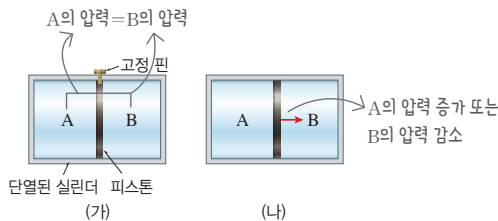
- $A \rightarrow C$ 과정은 온도가 $2T_0$ 으로 일정한 등온 과정이며, 압력이 P_0 에서 $2P_0$ 으로 증가하므로 등온 압축 과정이다.
- $B \rightarrow C$ 과정은 부피가 일정하며, 온도와 압력이 증가하는 등적 과정이다.

ㄴ. B → C 과정은 온도와 압력이 증가하는 등적 과정이다. 부피가 일정하므로 한 일은 0이지만, 온도가 높아지며 내부 에너지가 증가(ΔU)하므로 열을 흡수($Q > 0$)한다. ($Q = \Delta U + W$ 에서 $W = 0$ 이므로 $Q = \Delta U$ 이다.)

ㄷ. B → C 과정에서 기체의 온도가 T_0 에서 $2T_0$ 으로 증가하므로 내부 에너지도 증가한다.

바로알기 ㄱ. A → C 과정은 온도가 일정하며 압력이 증가하므로 등온 압축 과정이다. 기체는 압축되면서 외부로부터 일을 받으므로($W < 0$) 열을 방출($Q < 0$)한다. 따라서 단열 과정이 아니다. ($Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = 0$ 이므로 $Q = W$ 이다.)

14 품목 문제 분석

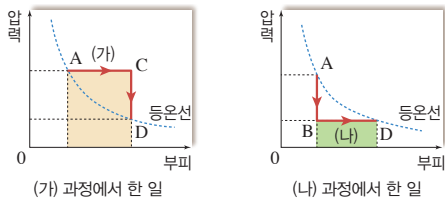


ㄷ. (나)에서 피스톤이 B쪽으로 움직였으므로 고정 핀을 제거한 순간 압력은 A가 B보다 크다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. (가)에서 A, B의 압력은 서로 같았는데 (나)에서 피스톤이 B쪽으로 움직이므로 (가)에서 기체를 넣은 후 A의 압력이 증가하였거나 B의 압력이 감소하였음을 알 수 있다. 만약 (가)에서 A의 온도가 B보다 높다면 열이 A → B로 이동하여 A의 온도는 낮아지고, B의 온도는 높아진다. $PV \propto T$ 에서 A의 압력은 낮아지고 B의 압력은 높아지므로 피스톤이 A쪽으로 움직여야 한다.

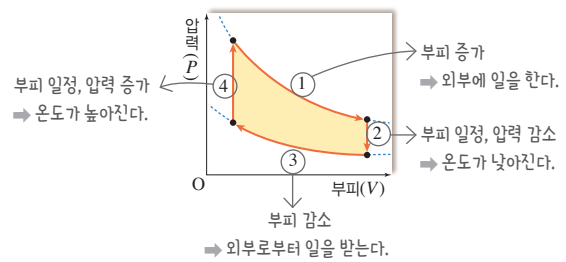
15 ㄱ. A → C 과정에서 기체의 압력은 일정하고 부피가 증가하므로 온도는 높아지고(등압 팽창), C → D 과정에서 기체의 부피는 일정하고 압력이 감소하므로(등적 과정) 온도는 낮아진다. 따라서 기체의 내부 에너지는 증가했다가 감소한다.

바로알기 ㄴ. 압력-부피 그래프에서 아랫부분의 면적은 기체가 한 일과 같으므로 (가)에서가 (나)에서보다 한 일이 크다.



ㄷ. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 기체가 A에서 B 또는 A에서 C를 지나 D의 상태가 되면 최종 온도는 처음 온도와 같으므로 각 과정에서 내부 에너지의 변화는 없다. ($\Delta U = 0$) 따라서 흡수한 열에너지는 기체가 한 일이 더 큰 (가)에서가 (나)에서보다 크다. ($Q = W$)

16 품목 문제 분석



ㄱ. 과정 1에서 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.

ㄴ. 과정 2에서 부피는 일정하지만 압력이 감소하므로 온도가 낮아진다.

바로알기 ㄷ. 과정 1, 3은 온도가 일정한 등온 과정이다. 이때 기체 분자의 운동 에너지의 총합인 내부 에너지가 일정하므로 평균 속력은 일정하다.

17 ㄱ. (나)에서 얼음물에 의해 기체의 온도가 내려가면서 외부 압력에 의해 기체의 부피가 감소하였다. 부피가 감소하는 과정에서 기체는 외부로부터 일을 받는다.

ㄴ. 기체의 온도가 내려가므로 기체의 내부 에너지도 감소한다.

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

18 ㄱ. 단열 과정이므로 기체에 해 준 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 내부 에너지가 증가하면 온도도 올라가며, 온도가 높을수록 기체 분자의 평균 속력이 크므로 손잡이를 누르면 실린더 안 기체 분자의 속력이 커진다.

ㄴ. 열의 출입은 없으므로($Q = 0$), 열역학 제1법칙에 따라($0 = \Delta U + W$) 기체에 해 준 일($\Delta U < 0$ 이므로 $W < 0$)이 모두 기체의 내부 에너지로 전환($\Delta U = -W$)된다.

바로알기 ㄷ. 기체가 압축되며 온도가 올라가므로 기체의 압력이 증가한다.

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

ㄷ. 동해에서 온 공기 덩어리가 태백산맥을 넘으면서 단열 팽창하여 구름이 되었다가 동쪽 사면에 비를 뿌린 후 서쪽 사면을 따라 내려온다. 이때 단열 압축에 의해 온도가 높아져 고온 건조한 눈새바람이 분다.

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

01 ① 02 ④ 03 ② 04 ⑤

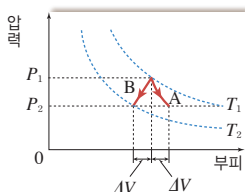
01 ㄱ. p 를 밀어 기체를 압축시키면 q 도 오른쪽으로 움직이며 B를 압축시키므로 B는 일을 받으며, 피스톤과 실린더가 단열되어 있으므로 B가 받은 일만큼 내부 에너지가 증가한다. 따라서 B의 온도는 증가한다.

바로알기 ㄴ. 만약 p 와 q 의 이동 거리가 같다면 A의 부피 변화는 없고 B만 압축된다. A와 B는 처음에 부피, 압력, 온도가 서로 같았는데, B가 단열 압축되면 B의 압력과 온도가 A보다 증가하므로 q 는 왼쪽으로 움직이며 A를 압축하게 된다. 이것은 처음부터 A와 B가 압축됨을 의미하며, p 의 이동 거리가 항상 q 의 이동 거리보다 커야 한다.

ㄷ. A와 B가 모두 단열 압축되면서 온도가 높아지므로 p 가 A에 한 일은 A와 B의 내부 에너지 증가량의 합과 같다.

02 품공 문제 분석

A와 B의 열역학 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다. (나)에서 '충분한 시간이 지난'다는 의미는 A와 B의 압력이 같아져 피스톤이 움직이지 않을 때까지 시간이 지나 평형 상태에 도달한다는 의미이다.



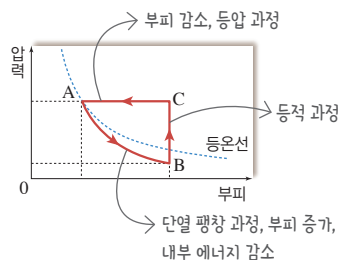
- ① 부피가 고정된 실린더 안에서 칸막이(피스톤)만 좌우로 움직이는 상황이므로 A, B의 부피 팽창은 변하지 않는다. 따라서 A의 부피가 증가한 만큼 B의 부피가 감소해야 한다.
- ② (가)에서 피스톤이 정지해 있으므로 A, B의 압력(P_1)은 서로 같다. (나)에서 충분한 시간이 지난 뒤 A, B의 압력이 같아질 때까지(P_2) 피스톤이 움직인다.

ㄱ. B에서 열량 Q 를 방출하면 B의 온도와 압력이 낮아지므로 A의 부피가 증가하면서 피스톤이 오른쪽으로 움직인다. 따라서 A의 부피는 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄴ. B에서 열량 Q 를 방출하면 B의 온도가 낮아지므로 압력도 (나)에서가 (가)에서보다 낮아진다.

바로알기 ㄷ. 부피는 A가 B보다 크지만 충분한 시간이 지난 뒤 압력은 같으므로 부피가 큰 A의 온도가 B의 온도보다 높아야 한다. 따라서 내부 에너지는 A가 B보다 크다.

03 품공 문제 분석



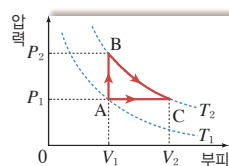
ㄷ. $C \rightarrow A$ 과정에서 부피가 감소하므로 외부로부터 일을 받고 ($W < 0$), 온도가 감소하므로 내부 에너지도 감소한다($\Delta U < 0$). 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에 따라 기체는 열을 방출($Q < 0$)한다.

바로알기 ㄱ. $C \rightarrow A$ 과정에서 부피가 감소하므로 기체는 외부로부터 일을 받고($\Delta V < 0$ 이므로 $W < 0$), $A \rightarrow B$ 과정에서 부피가 팽창하므로 일을 하며($\Delta V > 0$ 이므로 $W > 0$), $B \rightarrow C$ 과정은 부피가 변하지 않으므로 일을 하지 않는다($\Delta V = 0$ 이므로 $W = 0$). 압력-부피 그래프에서 아랫부분의 넓이는 기체가 한 일 또는 받은 일과 같으므로 $C \rightarrow A$ 과정에서 받은 일이 $A \rightarrow B$ 과정에서 한 일보다 크다. 따라서 한 번 순환하는 동안 기체는 외부에서 일을 받는다.

ㄴ. $A \rightarrow B$ 과정은 단열 팽창 과정($Q = 0$)이므로 열역학 제1법칙 $0 = \Delta U + W$ 에 따라 기체가 한 일($W > 0$)만큼 내부 에너지가 감소($\Delta U < 0$)한다.

04 품공 문제 분석

(가)와 (나)를 압력-부피 그래프로 나타내면 다음과 같다.



- (가) $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정: A 상태에서 등적 과정과 등온 과정을 거쳐 C 상태가 된다.
- (나) $A \rightarrow C$ 과정: A 상태에서 등압 과정을 거쳐 C 상태가 된다.

ㄱ. (가)에서 부피 변화 없이 열을 가해 온도를 T_2 까지 올릴 때 압력이 P_1 에서 P_2 가 되었으므로 $P_1 < P_2$ 이다.

ㄴ. 압력-부피 그래프 아랫부분의 면적이 기체가 한 일과 같으므로 기체가 한 일은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. (가)와 (나)의 처음 상태일 때 온도는 T_1 로 같고, 나중 상태일 때 온도는 T_2 로 같으므로 내부 에너지의 증가량($\Delta U > 0$)도 (가)와 (나)에서 서로 같다. 기체가 외부에 한 일($W > 0$)은 (가)에서가 (나)에서보다 크므로 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에 따라 기체가 흡수한 열량($Q > 0$)은 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

개념 확인 문제

95쪽

- ① 가역 ② 비가역 ③ 2 ④ 엔트로피 ⑤ 증가
⑥ 높은 ⑦ 열기관 ⑧ 열효율 ⑨ 카르노

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 ㄱ, ㄴ, ㄷ 3 ㉠ 1, ㉡ 2 4 (1) ×
(2) ○ (3) ○ 5 0.4 6 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

1 (1) 골고루 퍼진 기체는 저절로 다시 처음 상태로 되돌아가지 못하므로 비가역 과정이다.

(2) 기체의 확산은 비가역 과정이므로 A의 상태에서 B의 상태로 저절로 진행되지만 그 반대로는 저절로 진행되지 않는다.

(3) 기체의 확산은 비가역 과정이므로 처음의 상태로 스스로 되돌아가지 않지만 외부에서 에너지를 공급하면 B의 상태에서 A의 상태로 되돌릴 수 있다.

2 비가역 과정은 한쪽 방향으로만 변화가 일어나 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 없는 과정으로, 자연계에서 일어나는 대부분의 현상은 비가역 과정이다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ. 열의 이동, 기체의 확산, 잉크의 확산은 비가역 과정이다.

ㄹ. 공기 저항이 없을 때 진자의 운동은 가역 과정이다.

3 고온의 물체와 저온의 물체를 접촉시켰을 때 열이 저온의 물체에서 고온의 물체로 이동하여 저온의 물체가 더 차가워지고, 고온의 물체가 더 뜨거워지는 현상은 에너지 보존 법칙인 열역학 제①법칙에는 위배되지 않지만, 열역학 제②법칙에 위배되므로 일어나지 않는다.

4 (1) 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다.

(2) 고온의 물체와 저온의 물체를 접촉시켰을 때 고온의 물체에서 저온의 물체로 열이 이동하여 온도가 같아진 상태를 열평형 상태라고 한다.

(3) 열평형 상태에서 두 물체가 다시 고온과 저온으로 나누어지는 일은 열역학 제2법칙에 위배되므로 저절로 일어날 수 없다.

5 열기관의 열효율은 공급한 열 중에서 유용한 일로 전환된 비율이므로 $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{1000 \text{ J} - 600 \text{ J}}{1000 \text{ J}} = 0.4$ 이다.

6 (1) 열역학 제2법칙에 따라 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하지만, 그 반대로의 열의 이동은 스스로 일어나지 않는다.

(2) 열기관 주위를 둘러싸고 있는 저열원으로 열이 저절로 흘러나가므로 저열원으로 방출되는 열(Q_2)이 0이 될 수 없다. 따라서 열효율 $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 에서 열효율이 1(=100 %)인 열기관은 존재하지 않는다.

(3) 일은 모두 열로 바꿀 수 있으나 열은 스스로 일을 할 수 없어 모두 일로 바꿀 수 없다. 따라서 열효율이 1인 열기관이 존재하지 않는다.

(4) 열역학 제2법칙에 따르면 자발적으로 일어나는 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다.

대표 자료 분석

96쪽

자료 ① 1 ㉠ 2, ㉡ 낮기 2 ㄴ, ㄷ, ㄹ 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ×

자료 ② 1 $\frac{W}{Q_1}$ 2 ㄱ 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

1-1 기체가 확산된 후 다시 한 곳으로 모이지 않는 까닭은 열역학 제②법칙에 의해 엔트로피가 낮아지는 방향으로서는 일어날 확률이 매우 ㉠낮기 때문이다.

1-2 기체의 확산은 비가역 과정의 예로, 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

ㄱ. 기체를 단열 압축하면 온도가 올라가는 현상은 열역학 제1법칙으로 설명할 수 있다.

ㄴ. 열역학 제2법칙에 의해 열을 전부 일로 바꿀 수 없기 때문에 열효율이 100 %인 열기관을 만들 수 없다.

ㄷ. 열역학 제2법칙은 열과 에너지의 이동 방향을 제시하는 것으로, 열은 항상 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하며, 저온의 물체에서 고온의 물체로 스스로 이동하지 않는다.

ㄹ. 열역학 제2법칙에 의해 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다. 따라서 방 안의 공기가 저절로 한 구석으로 모이지 않는다.

1-3 (1) 기체가 확산된 후 다시 처음 상태로 스스로 되돌아가지 않기 때문에 기체의 확산은 비가역 과정이다.

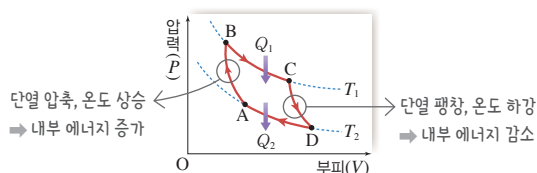
(2) 기체 분자는 저절로 퍼져 나가 시간이 지나면 칸막이의 양쪽 A, B에 골고루 퍼지게 된다.

(3) 기체가 진공 상태로 팽창하므로 일을 하지 않는다. 즉, 기체가 팽창할 때 외부에 힘을 가하지 않으므로 일을 하지 않는다.

(4) 자발적으로 일어나는 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다.

2-1 열기관이 외부에 한 일의 양 $W=Q_1-Q_2$ 이다. 열기관의 열효율은 공급한 열 중에서 유용한 일로 전환된 비율이므로 $e=\frac{W}{Q_1}$ 이다.

2-2 품공 문제 분석



ㄱ. 기체의 온도가 높아지면 기체의 내부 에너지가 증가한다. A → B 과정은 단열 압축 과정이므로 기체가 외부에서 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.

ㄴ, ㄷ. B → C 과정, D → A 과정은 등온 과정으로, 내부 에너지가 일정하다.

ㄹ. C → D 과정은 단열 팽창 과정이므로 내부 에너지가 감소한다.

2-3 (1) $Q_1=W$ 인 열기관은 열효율이 100 %인 열기관이다. 열역학 제2법칙에 따라 열은 모두 일로 전환되지 않으므로 열효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.

(2) B → C 과정은 등온 팽창 과정, C → D 과정은 단열 팽창 과정, D → A 과정은 등온 압축 과정, A → B 과정은 단열 압축 과정이다. 네 과정 중에서 열을 흡수하는 과정은 B → C 과정뿐이다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부로부터 흡수한 열은 Q_1 이다.

(3) C → D 과정은 단열 팽창 과정이므로 $Q=0$ 이고, $W>0$ 이다. 따라서 열역학 제1법칙에 의해 $W=-\Delta U$ 이므로 기체가 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.

(4) D → A 과정은 등온 압축 과정이므로 $\Delta U=0$ 이다. 따라서 $Q=\Delta U+W$ 에서 $Q=W$ 이므로 외부로부터 받은 일만큼 열을 방출한다. 이때 방출한 열은 Q_2 이다.

ㄴ. 진자가 움직이는 동안 진자와 충돌한 공기 분자의 평균 운동 에너지는 증가하고, 반대로 진자의 운동 에너지는 감소한다. 시간이 지난 후 진자가 처음에 가지고 있던 에너지가 모두 열에너지로 전환되면 진자가 멈춘다.

ㄷ. 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 진행된다. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상은 무질서도가 감소하는 현상으로, 스스로 일어나지 않는다.

02 ㄴ. 공이 골고루 섞여 있는 상태인 (나)의 엔트로피가 공이 섞여 있지 않은 상태인 (가)의 엔트로피보다 크다.

바로알기 ㄱ. 엔트로피는 무질서한 정도를 나타내는 것으로, 공이 골고루 섞여 있는 (나)의 무질서도가 (가)보다 크다.

ㄷ. 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향, 즉 엔트로피가 커지는 방향으로 진행하므로, 엔트로피가 큰 (나)에서 엔트로피가 작은 (가)로 스스로 진행하지 않는다.

03 잉크가 한 곳에 모여 있는 것보다 골고루 퍼져 있는 것이 더 무질서한 상태이므로, 잉크를 물에 떨어뜨리면 열역학 제2법칙에 의해 잉크가 골고루 퍼져 나간다.

ㄱ. 찬물과 더운물을 섞으면 열역학 제2법칙에 의해 더운물에서 찬물로 열이 이동하므로 미지근한 물이 된다.

ㄴ. 외부에서 흡수한 열을 전부 일로 바꾸는 것은 열역학 제2법칙에 위배되므로 이러한 열기관은 만들 수 없다.

바로알기 ㄷ. 외부에서 에너지를 공급받지 않고 계속 일을 하는 것은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되므로 이러한 열기관은 만들 수 없다.

04 ① 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다.

② 마찰이 있는 면 위에서 물체를 운동시키면 물체의 운동 에너지는 마찰에 의해 물체나 바닥을 구성하는 분자의 열에너지로 전환되고, 시간이 지난 후 물체는 정지한다. 반면 열역학 제2법칙에 의해 물체를 구성하는 분자들의 열에너지가 물체의 운동 에너지로 전환되어 물체 스스로 운동하는 일은 일어나지 않는다.

③ 열기관이 일을 하는 과정에서 열은 주변에 존재하는 더 낮은 온도의 계로 저절로 흘러가므로 저열원으로 방출되는 열은 0이 될 수 없다. 따라서 효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.

④ 열역학 과정에 참여하는 모든 계를 함께 고려할 때 전체 엔트로피는 증가하는 방향으로 진행된다.

바로알기 ⑤ 고립계에서 자발적으로 일어나는 자연 현상은 무질서도가 증가하는 쪽으로만 진행된다.

05 열기관에서 저열원으로 빠져나가는 열이 0이 될 수 없어 열기관의 효율은 항상 1보다 작다.

모범 답안 열역학 제2법칙에 의해 열은 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다. 따라서 열기관의 주위를 둘러싸고 있는 저열원으로 열이 저절로 흘러 나가는 것을 막을 수 없기 때문에 저열원으로 방출되는 열은 0이 될 수 없다. 따라서 열효율이 100 %인 열기관이 존재하지 않는다.

내신 안정 문제

97~99쪽

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

01 ㄱ. 멈추어 있던 진자가 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 없으므로 비가역 과정이다.

채점 기준	배점
열역학 제2법칙을 이용하여 열효율이 100 %인 열기관이 존재하지 않는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
열역학 제2법칙에 의한 열에너지의 이동은 언급하지 않고, 열기관의 효율이 항상 1보다 작기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

06 ③ 열기관에서는 에너지 보존 법칙이 성립하므로 $Q_1 = W + Q_2$ 를 만족한다.

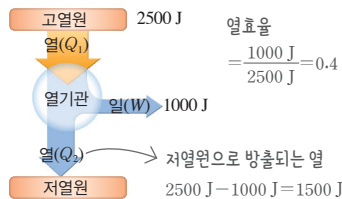
바로알기 ① 열효율은 열기관에 공급된 열 Q_1 에 대해 열기관이 한 일 W 의 비율이므로 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이다.

② 열에너지는 고온에서 저온으로 이동하며, 열역학 제2법칙에 따라 열에너지의 이러한 흐름은 막을 수 없으므로 $Q_2 = 0$ 인 열기관을 만드는 것은 불가능하다.

④ 열효율은 $e = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로 열효율이 클수록 Q_2 가 작아진다.

⑤ 열기관은 열원으로부터 받은 열에너지를 일로 바꾸는 장치이다.

07 품평 문제 분석



ㄱ. 열기관은 한 번의 순환 과정을 거치면서 원래의 상태로 되돌아온다. 따라서 열기관에서 기체의 내부 에너지는 변하지 않는다. ($\Delta U = 0$)

바로알기 ㄴ. 열기관은 고열원에서 흡수한 열에서 외부에 일을 하고 난 나머지 열을 저열원으로 방출한다. 따라서 저열원으로 방출한 열은 $2500 \text{ J} - 1000 \text{ J} = 1500 \text{ J}$ 이므로, 고열원에서 흡수한 열이 더 많다.

ㄷ. 열기관의 열효율은 고열원에서 흡수한 열에 대해 열기관이 한 일의 비율이므로 $e = \frac{1000 \text{ J}}{2500 \text{ J}} = 0.4$ 이다.

08 ③ 이상적인 열기관, 즉 카르노 기관의 열효율은

$$e_s = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{400 \text{ K}} = 0.25 = 25 \% \text{이다.}$$

09 열기관의 열효율이 높을수록 같은 일을 했을 때 더 적은 열을 흡수하고, 같은 열을 흡수했을 때 더 많은 일을 한다.

ㄱ. 열역학 제1법칙에 따라 $Q_1 = W + Q_2$ 이므로 $Q_2 = Q_1 - W$ 이다. 따라서 A가 저열원으로 방출한 열은 $E - 0.3E = 0.7E$ 이다.

ㄴ. A의 열효율은 $\frac{0.3E}{E} = 0.3$ 이고, 이 값은 B의 열효율의 1.2

배이므로 B의 열효율은 $\frac{0.3}{1.2} = 0.25$ 이다. 따라서 $\frac{0.3E}{\text{㉠}} = 0.25$ 이므로 $\text{㉠} = 1.2E$ 이고, ㉠은 E보다 크다.

ㄷ. 두 열기관이 같은 열을 흡수한 경우 열효율이 더 높은 A가 한 일이 B가 한 일보다 크다.

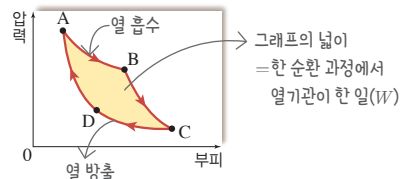
10 ㄱ. 기체는 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$ 과정에서 열을 흡수하고 $C \rightarrow A$ 과정에서 열을 방출하므로 $C \rightarrow A$ 과정에서 방출한 열은 Q_2 이다.

ㄷ. 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타낼 때 그래프 안쪽의 넓이는 순환 과정에서 기체가 한 일과 같다. 따라서 기체가 한 일은 $W = \frac{1}{2} \times 2P_0 \times 2V_0 = 2P_0V_0$ 이다. 기체가 흡수한 열이 Q_1

이므로 열기관의 열효율은 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{2P_0V_0}{Q_1}$ 이다.

바로알기 ㄴ. $A \rightarrow B$ 과정에서 기체가 한 일은 0이므로 기체가 흡수한 열과 내부 에너지 증가량이 같지만 ($Q_{AB} = \Delta U_{AB}$), $B \rightarrow C$ 과정에서 기체가 흡수한 열은 내부 에너지 증가량과 기체가 한 일의 합과 같으므로 $Q_{BC} = \Delta U_{BC} + W_{BC}$ 이다. $Q_1 = Q_{AB} + Q_{BC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + W_{BC}$ 이므로 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정에서 기체의 내부 에너지 증가량은 Q_1 보다 작다.

11 품평 문제 분석



ㄱ, ㄴ. $A \rightarrow B$ 과정은 등온 팽창 과정, $B \rightarrow C$ 과정은 단열 팽창 과정, $C \rightarrow D$ 과정은 등온 압축 과정, $D \rightarrow A$ 과정은 단열 압축 과정이다. 네 과정 중에서 열을 흡수하는 것은 $A \rightarrow B$ 과정, 열을 방출하는 것은 $C \rightarrow D$ 과정이다. 따라서 $A \rightarrow B$ 과정에서 기체는 1000 kcal의 열을 흡수하고, $C \rightarrow D$ 과정에서 600 kcal의 열을 방출한다.

ㄷ. 열기관의 열효율(%)은 $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100 = \frac{1000 - 600}{1000} \times 100 = 40(\%)$ 이다.

바로알기 ㄷ. 한 순환 과정에서 열기관이 한 일은 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이에 해당한다. $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정에서 기체가 한 일은 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정 그래프 아랫부분의 넓이이므로 W보다 크다.

12 ㄱ. 수조에서 나온 물이 낮은 곳으로 흘러 내려간 후 외부에서 일을 해 주지 않으면 스스로 다시 위로 올라가지 못하므로 비가역 과정이다.

ㄴ. 외부에서 에너지 공급 없이 작동하여 계속 에너지를 생산하므로 제1종 영구 기관에 해당한다.

바로알기 ㄷ. 수력 발전기는 물의 역학적 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치인데, 에너지 보존 법칙에 따르면 전구에서 소비된 에너지만큼 물의 역학적 에너지가 감소해야 하므로 물을 원래 높이까지 올려보낼 수 없다. 따라서 이 장치는 열역학 제1법칙에 위배된다.

실력 UP 문제

99쪽

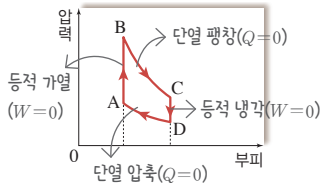
01 ③ 02 ④

01 ㄷ. D → A 과정은 온도가 일정하므로 내부 에너지의 변화가 없다. ($\Delta U = 0$) 열역학 제1법칙($Q = \Delta U + W$)에 따라 기체가 받은 일($W < 0$)은 모두 열에너지로 방출된다. ($Q < 0$)

바로알기 ㄱ. 열기관의 열효율이 0.25이고, 기체가 한 번 순환하는 동안 한 일은 200 J이므로 기체가 흡수한 열은 $\frac{200}{0.25} = 800(\text{J})$ 이다. 기체는 A → B, B → C 과정에서 열을 흡수하므로 B → C 과정에서 흡수한 열은 800 J보다 작다.

ㄴ. A → B 과정에서의 온도 증가량과 C → D 과정에서 온도 감소량이 서로 같고, 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로 C → D 과정에서 감소한 내부 에너지는 A → B 과정에서 증가한 내부 에너지와 같은 150 J이다.

02 품공 문제 분석



ㄱ. B → C 과정과 D → A 과정은 단열 과정이므로 열 출입이 없다. A → B 과정과 C → D 과정은 부피 변화가 없으므로 기체가 한 일이 0이고, 흡수하거나 방출한 열량만큼 내부 에너지가 변한다. 따라서 열기관이 흡수한 열량은 $8E$ 이고 방출한 열량은 $6E$ 이므로 한 번의 순환 과정 동안 기체가 한 일은 $8E - 6E = 2E$ 이다.

ㄴ. 열효율은 $e = \frac{2E}{8E} = 0.25$ 이다.

바로알기 ㄷ. B → C 과정은 단열 팽창 과정이므로 기체가 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.

중단원 핵심 정리

100~101쪽

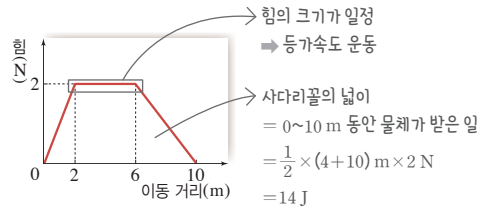
- ① $\frac{1}{2}mv^2$ ② 운동 에너지 변화량 ③ mgh ④ 역학적
⑤ $\frac{1}{2}kx^2$ ⑥ 감소 ⑦ 증가 ⑧ 열에너지 ⑨ 한 일 ⑩ 운동 에너지
⑪ 내부 에너지 ⑫ 등적 ⑬ 등압 ⑭ 등온
⑮ 단열 ⑯ 가역 ⑰ 비가역 ⑱ 증가 ⑲ 1 ⑳ 2

중단원 마무리 문제

102~105쪽

- 01 ④ 02 ② 03 ② 04 ③ 05 ② 06 ①
07 ② 08 ④ 09 ② 10 ② 11 ⑤ 12 ⑤ 13 ③
14 ④ 15 ⑤ 16 해설 참조 17 해설 참조 18 해설
참조 19 해설 참조

01 품공 문제 분석



ㄱ. 2 m ~ 6 m 동안 힘의 크기가 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 힘 - 이동 거리 그래프 아랫부분의 넓이는 물체가 받은 일로, 14 J이다.

바로알기 ㄷ. 물체가 받은 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가하므로 10 m를 이동한 후 물체의 속력 v 는 $14 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 4 \text{ kg} \times v^2$ 에서 $v = \sqrt{7} \text{ m/s}$ 이다.

02 ㄴ. A가 h 만큼 낙하하므로 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgh$ 이고, $2mgh$ 만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다. A와 B의 속력이 같으므로 A와 B의 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 B의 운동 에너지 증가량은 A의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량 $2mgh$ 의 $\frac{1}{3}$ 인 $\frac{2}{3}mgh$ 이다.

바로알기 ㄱ. A의 중력 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다.

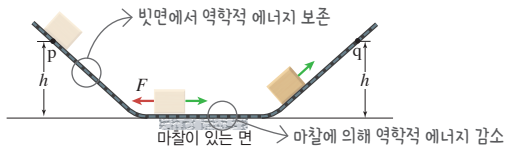
ㄷ. A의 중력 퍼텐셜 에너지가 $2mgh$ 만큼 감소하고, A와 B의 운동 에너지가 증가한다. 따라서 A의 역학적 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량과 같은 $\frac{2}{3}mgh$ 이다.

03 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량 만큼 운동 에너지가 증가한다. 즉, B점에서 물체의 속력을 v 라고 하면, $2 \times 10 \times (25 - 5) = \frac{1}{2} \times 2 \times (v^2 - 15^2)$ 에서 $v = 25(\text{m/s})$ 이다.

04 ㄱ. 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 변형된 길이의 제곱에 비례한다. (가)와 (나)에서 A가 변형된 길이는 40 cm로 같으므로 A의 탄성 퍼텐셜 에너지는 (가)에서와 (나)에서가 서로 같다. ㄴ. (나)에서 물체의 속력이 최대가 될 때는 A와 떨어져 운동할 때부터 B에 닿기 전까지, 즉 탄성 퍼텐셜 에너지가 0일 때이다. (가)에서 A의 용수철 상수를 k_A 라고 하면, 탄성력과 중력이 평형을 이루고 있으므로 $2 \times 10 = k_A \times 0.4$ 에서 $k_A = 50 \text{ N/m}$ 이다. (나)에서 손을 놓기 전 A를 40 cm = 0.4 m만큼 압축시켰으므로 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2} \times 50 \times 0.4^2 = 4(\text{J})$ 이고, 이 탄성 퍼텐셜 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되었을 때 속력이 최대가 되므로 $4 = \frac{1}{2} \times 2 \times v^2$ 에서 속력의 최댓값 $v = 2 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄷ. (가)에서 B의 용수철 상수를 k_B 라고 하면, 탄성력과 B의 중력이 평형을 이루고 있으므로 $2 \times 10 = k_B \times 0.5$ 에서 $k_B = 40 \text{ N/m}$ 이다. $k_A > k_B$ 이고, (나)에서 A, B가 최대 압축되었을 때 A와 B의 탄성 퍼텐셜 에너지가 같으므로 압축된 길이는 A가 B보다 짧다. 따라서 B가 최대 압축되었을 때 압축된 길이는 40 cm보다 길다.

05 품공 문제 분석

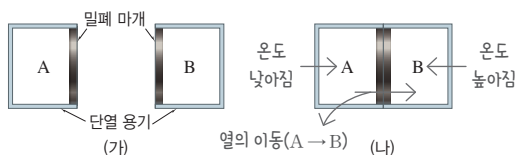


ㄴ. 빗면을 내려오는 동안 마찰과 공기 저항이 없으므로 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

바로알기 ㄱ. 물체는 마찰이 있는 면을 지나면서 역학적 에너지가 감소하므로 q점까지 올라가지 못한다.

ㄷ. h 가 클수록 마찰이 있는 면을 통과할 때의 물체 속력이 커지는데, 물체에 작용하는 힘이 한 일은 $W = Fs$ 로 속력에 관계없이 항상 일정하다. 따라서 마찰이 있는 면에서의 역학적 에너지 감소량도 변하지 않는다.

06 품공 문제 분석

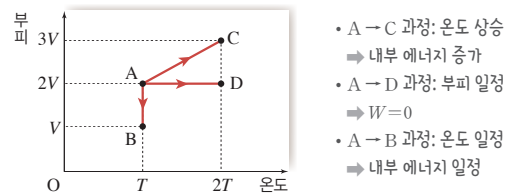


ㄱ. (가)에서 기체 온도는 A가 B보다 높으므로 두 단열 용기의 마개 부분을 서로 맞닿게 하면 열이 A에서 B로 이동하면서 A의 온도가 낮아진다. 따라서 A의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

바로알기 ㄴ. B는 부피가 일정한 상태에서 온도가 증가하므로 $PV \propto T$ 에서 압력도 증가한다. 따라서 B의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

ㄷ. 온도가 다른 두 기체가 서로 맞닿은 채로 충분한 시간이 지나면 열평형 상태가 되어 온도가 서로 같아진다. 따라서 (나)에서 기체 분자의 평균 운동 에너지는 A와 B가 서로 같다.

07 품공 문제 분석



ㄴ. A → C 과정에서 온도가 높아지므로 내부 에너지는 증가한다.

바로알기 ㄱ. A → B 과정에서 온도가 일정하므로 내부 에너지가 일정하다.

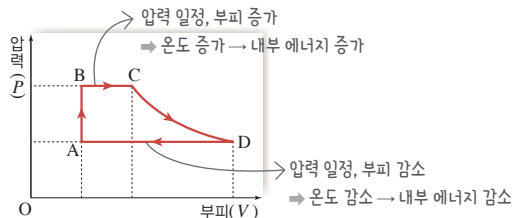
ㄷ. A → D 과정에서 부피가 일정하므로 기체가 한 일이 0이다. 따라서 $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = \Delta U$ 이므로 기체가 흡수한 열은 모두 내부 에너지 증가로 나타난다.

08 ㄱ. 피스톤이 정지해 있을 때 이상 기체의 압력은 외부 압력(대기압)과 피스톤이 누르는 압력의 합과 같으므로 이상 기체의 압력은 (가), (나)에서 같다.

ㄴ. $PV \propto T$ 에서 압력이 같을 때 부피가 클수록 온도가 높으므로, 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

바로알기 ㄷ. 분자의 평균 속력은 온도가 높을수록 크므로 평균 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

09 품공 문제 분석



- 이상 기체의 부피가 증가하면 기체가 외부에 한 일은 $W > 0$ 이고, 부피가 감소하면 기체가 외부에 한 일은 $W < 0$ 이다.
- 압력 - 부피 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 기체가 한 일을 나타낸다.

① A → B 과정에서 기체의 부피가 변하지 않으므로 기체는 일을 하지 않는다.

③ C → D 과정에서 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변하지 않는다. ($\Delta U = 0$) 따라서 $\Delta U = Q - W = 0$ 에서 $Q = W > 0$ 이다. 즉, 기체가 흡수한 열은 기체가 한 일과 같다.

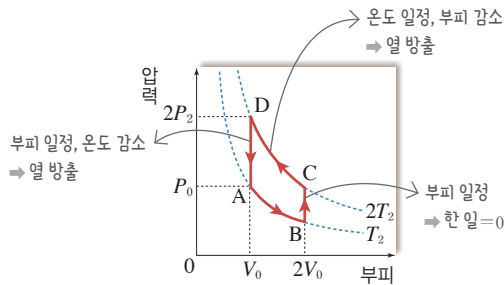
④ D → A 과정에서 압력은 일정하고 부피는 감소하므로 내부 에너지는 감소한다. ($\Delta U < 0$) 또 부피가 감소하므로 외부에서 기체에 일을 한다. ($W < 0$) 따라서 $Q = \Delta U + W < 0$ 이므로 기체는 외부로 열을 방출한다.

⑤ A → B → C → D → A 과정에서 처음 상태와 나중 상태는 A로 같으므로 내부 에너지의 변화량은 0이다. ($\Delta U = 0$) 또한 B → C → D 과정에서 기체가 외부에 한 일은 D → A 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일보다 크기 때문에 전 과정에서 기체가 한 일은 0보다 크다. ($W > 0$) 따라서 $\Delta U = Q - W$ 에서 $Q = W > 0$ 이므로 기체는 외부로부터 열을 흡수한다.

바로알기 ② B → C 과정에서 압력은 일정하고 부피는 증가하므로 내부 에너지가 증가한다. ($\Delta U > 0$) 또 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 하였다. ($W > 0$) 열역학 제1법칙에서 $\Delta U = Q - W > 0$ 이므로 기체가 흡수한 열 Q 는 기체가 한 일 W 보다 크다.

10 품목 문제 분석

기체의 순환 과정을 압력-부피 그래프로 나타내면 그림과 같다. 부피 변화량이 같을 때 온도가 높은 등온 과정에서의 일이 더 큼을 알 수 있다.



ㄴ. 기체의 부피가 변할 때만 일을 하거나 받으므로 A → B 과정에서는 외부에 일을 하고 C → D 과정에서는 외부로부터 일을 받는다. 두 과정에서 부피 변화량은 같으므로 온도가 높은 C → D 과정에서의 일이 더 크다. 따라서 한 번 순환하는 동안 기체는 외부로부터 일을 받는다.

바로알기 ㄱ. B → C 과정에서 부피가 변하지 않으므로 기체가 한 일은 0이다.

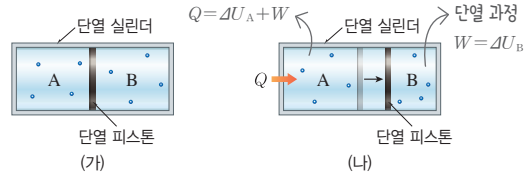
ㄷ. C → D 과정은 등온 압축 과정이므로 기체가 받은 일만큼 열로 방출하며, D → A 과정은 등적 과정이므로 내부 에너지가 감소한 만큼 열을 방출한다. 따라서 C → D → A 과정에서 기체는 열을 방출한다.

11 ㄴ. 내부 기체가 외부에 한 일은 0이므로 외부에서 압력솔 내부의 기체에 가한 열은 모두 기체의 내부 에너지를 증가시키는 데 사용된다.

ㄷ. 압력솔을 가열하는 동안 압력솔 내부 기체의 부피가 변하지 않으므로 이 과정은 등적 과정이다.

바로알기 ㄱ. 압력솔 내부 기체의 부피 변화가 없으므로, 내부 기체가 외부에 한 일은 0이다.

12 품목 문제 분석



ㄱ. A는 열(Q)을 공급받아 기체 B에 일(W)을 하였으므로 열역학 제1법칙에 의해 $Q = \Delta U_A + W$ 이다. B는 외부에서 열을 받지 않고 수축하는 단열 과정이므로 A로부터 받은 일 W 가 모두 내부 에너지 변화량이 되어 $W = \Delta U_B$ 가 된다. 따라서 $Q = \Delta U_A + \Delta U_B$ 이므로 A, B 기체의 내부 에너지 변화량의 합은 Q 이다.

ㄴ. $Q = \Delta U_A + W$ 에서 B의 기체가 받은 일 $W = Q - \Delta U_A$ 이므로 Q 보다 작다.

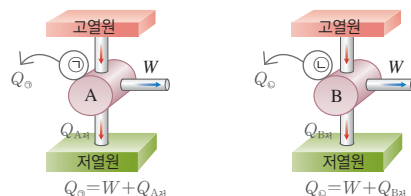
ㄷ. B는 A로부터 일을 받아 내부 에너지가 증가하였으므로 기체의 온도가 높아진다.

13 ㄱ. 물감이 한 곳에 모여 있는 것보다 골고루 퍼져 있는 것이 더 무질서한 상태이므로 물감을 물에 떨어뜨리면 열역학 제2법칙에 의해 물감이 골고루 퍼져 나간다.

ㄴ. 열역학 제2법칙은 자연 현상의 비가역적인 방향성을 나타내는 법칙으로, '고립된 계에서는 계의 총 엔트로피가 증가하는 쪽으로 변화가 진행된다.'는 열역학 제2법칙의 여러 가지 표현 중 하나이다.

바로알기 ㄷ. 열역학 제2법칙에 의해 자연 현상은 확률이 증가하는 방향으로 진행된다.

14 품목 문제 분석

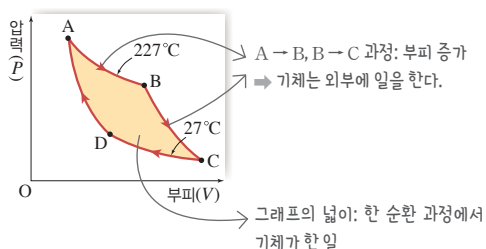


ㄱ. 열기관의 열효율은 $e = \frac{\text{한 일}}{\text{흡수한 열}}$ 이다. 열효율은 A가 B의 2배이고, 두 열기관이 한 일은 W 로 같으므로 ㉠은 ㉡의 2배이다.

ㄴ. A가 고열원에서 흡수한 열을 Q 라고 하면 B가 고열원에서 흡수한 열은 $2Q$ 이므로 A, B가 저열원으로 방출한 열은 각각 $Q - W$, $2Q - W$ 이다. 따라서 저열원으로 방출하는 열에너지는 A가 B보다 작다.

바로알기 ㄷ. 열효율이 일정한 열기관은 흡수한 열에 비례하여 한 일도 증가한다.

15 품공 문제 분석

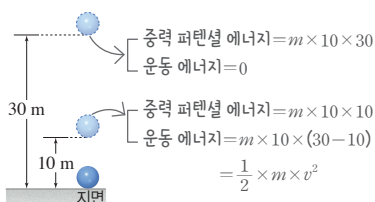


ㄱ. A → B, B → C 과정은 부피가 증가하였으므로 기체는 외부에 일을 한다.

ㄴ. C → D 과정은 등온 과정에서 부피가 감소하였으므로, 기체는 외부로부터 일을 받는다.

ㄷ. 한 순환 과정에서 기체가 외부에 한 일은 압력 - 부피 그래프에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이와 같다. 따라서 한 일은 색칠한 부분과 같다.

16 품공 문제 분석



역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량만큼 운동 에너지가 증가한다. 물체의 질량을 m 이라 하고, 10 m를 지날 때의 속력을 v 라고 하면 $m \times 10 \times (30 - 10) = \frac{1}{2} \times m \times v^2$ 에 의해 $v = 20(\text{m/s})$ 이다.

모범 답안 역학적 에너지는 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지의 감소량만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 $m \times 10 \times (30 - 10) = \frac{1}{2} \times m \times v^2$ 에서 속력 $v = 20(\text{m/s})$ 이다.

채점 기준	배점
물체의 속력을 역학적 에너지 보존 법칙을 적용하여 풀이 과정과 함께 올바르게 구한 경우	100 %
역학적 에너지 보존에 대한 언급이 없이 식만 세워 물체의 속력을 구한 경우	50 %

17 돌의 처음 운동 에너지가 최고점에서 모두 중력 퍼텐셜 에너지로 전환된다. 최고 높이를 h 라고 하면 $\frac{1}{2} \times m \times 30^2 = m \times 10 \times h$ 에서 $h = 45(\text{m})$ 이다.

모범 답안 $\frac{1}{2} \times m \times 30^2 = m \times 10 \times h$ 에서 최고 높이 $h = 45(\text{m})$ 이다.

채점 기준	배점
최고 높이를 단위까지 포함하여 풀이 과정과 함께 올바르게 구한 경우	100 %
최고 높이를 풀이 과정과 함께 올바르게 구했지만 단위를 쓰지 않은 경우	80 %
최고 높이만 올바르게 쓴 경우	50 %

18 등압 팽창 과정은 압력이 일정한 상태로 부피가 증가하는 열역학 과정이다. 압력이 일정할 때 부피는 온도에 비례하므로 등압 팽창 과정에서 기체의 온도가 상승하고 내부 에너지가 증가한다. 또 팽창하면서 외부에 $P\Delta V$ 만큼의 일을 한다. 이 과정에서 기체는 외부에 하는 일과 내부 에너지 증가량을 합한 만큼의 열을 흡수한다.

모범 답안 기체가 흡수한 열은 기체의 내부 에너지 증가와 외부에 일을 하는 데 사용된다. 부피가 증가하는데도 압력이 일정한 것은 기체의 분자 운동이 활발해진 것이므로 온도가 상승한다. 따라서 기체의 내부 에너지도 증가한다.

채점 기준	배점
세 가지 변화를 모두 올바르게 서술한 경우	100 %
두 가지 변화만 올바르게 서술한 경우	50 %
한 가지 변화만 올바르게 서술한 경우	30 %

19 자연에서 일어나는 대부분의 현상은 비가역 과정이므로 에너지 보존 법칙을 만족하더라도 열역학 제2법칙에 따라 어떤 변화가 일어나면 처음 상태로 되돌아가는 일은 스스로 일어나지 않는다.

모범 답안 석유가 연소하면서 발생한 열에너지를 활용하고 나면 이 열에너지는 저온의 주변 환경으로 흩어지게 되는데, 흩어진 열에너지가 다시 한 곳으로 모이는 것은 열역학 제2법칙에 따라 불가능하므로 흩어진 열에너지를 다시 유용하게 사용할 수는 없다. 에너지는 보존되지만 유용하게 사용할 수 있는 에너지는 한정되어 있으므로 에너지를 절약해야 한다.

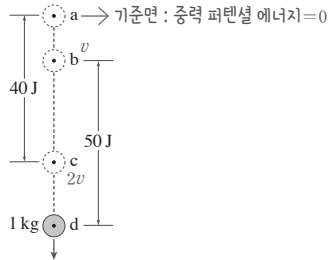
채점 기준	배점
적절한 사례를 들어 열역학 제2법칙의 관점에서 적절히 서술한 경우	100 %
적절한 사례를 제시하였으나, 열역학 제2법칙의 관점에서 서술하지 못한 경우	50 %
적절한 사례는 제시하지 못하였으나, 열역학 제2법칙의 개념을 서술한 경우	30 %

수능 실전 문제

107~109쪽

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

01 품공 문제 분석



구분	중력 퍼텐셜 에너지(J)	운동 에너지(J)	역학적 에너지(J)
a	0(기준면)	0	0
b	-10	$\frac{1}{2}mv^2 = 10$	0
c	-40	$\frac{1}{2}m(2v)^2 = 40$	0
d	-60	60	0

선택지 분석

- ✗ a점과 b점 사이의 거리는 1.5 m이다. 1 m
- ✗ c점과 d점 사이에서 중력이 물체에 한 일은 18 J이다. 20 J
- Ⓒ d에서 물체의 속력은 $2\sqrt{30}$ m/s이다.

전략적 풀이 ① 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 각 점에서의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지를 파악한다.

- a점을 기준면으로 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하면, a점에서 운동 에너지가 0이므로 역학적 에너지도 0이다.
- c점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 -40 J이고, 역학적 에너지가 보존되므로 운동 에너지는 40 J이다.
- c점에서의 속력은 b점에서의 2배이므로 c점에서 운동 에너지는 b점에서의 2²배=4배이다. 따라서 b점에서의 운동 에너지는 10 J이고, 역학적 에너지가 보존되므로 b점에서의 중력 퍼텐셜 에너지는 -10 J이다.
- d점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 -10 J-50 J=-60 J이고, 역학적 에너지가 보존되므로 d점에서의 운동 에너지는 60 J이다.
- ㄷ. d점에서 운동 에너지는 60 J이므로 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v_d^2 = 60 \text{ J}$ 에 의해 물체의 속력 $v_d = 2\sqrt{30}$ m/s이다.

② a점과 b점의 중력 퍼텐셜 에너지 차이를 이용하여 a점과 b점 사이의 거리를 구한다.

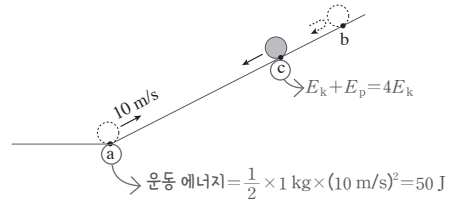
ㄱ. a점과 b점의 중력 퍼텐셜 에너지 차이 $mg\Delta h$ 가 10 J이므로 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times \Delta h = 10 \text{ J}$ 에서 a와 b 사이의 거리 Δh 는 1 m이다.

③ 일·운동 에너지 정리를 이용하여 중력이 물체에 한 일을 구한다.

일·운동 에너지 정리에 따라 증가한 물체의 운동 에너지는 중력이 물체에 한 일과 같다.

ㄴ. c점에서 d점까지 운동 에너지가 20 J만큼 증가하였으므로 중력이 물체에 한 일은 20 J이다.

02 품공 문제 분석



선택지 분석

- Ⓐ c점에서 물체의 속력은 5 m/s이다.
- Ⓒ b점에서 물체의 가속도의 크기는 5 m/s²이다.
- ✗ a점과 c점 사이의 거리는 7 m이다. 7.5 m

전략적 풀이 ① 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 c점에서의 속력을 구한다.

ㄱ. a에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (10 \text{ m/s})^2 = 50 \text{ J}$.

중력 퍼텐셜 에너지는 0이므로 역학적 에너지는 50 J이다. c에서 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 3배이므로 역학적 에너지

보존 법칙에 의해 c에서 $E_k + E_p = 4E_k = 4 \times \left(\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2 \right)$

=50 J이 된다. 따라서 c에서 물체의 속력 $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

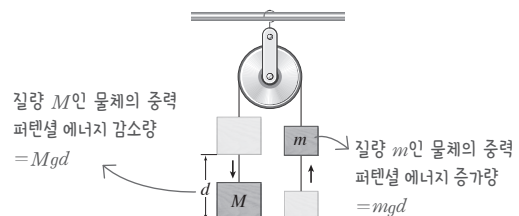
② 등가속도 운동 식을 활용하여 물체의 가속도와 거리를 구한다.

ㄴ. 물체는 빗면에서 등가속도 직선 운동을 하므로 $v = v_0 + at$ 에서 $-5 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s} + a \times 3 \text{ s}$ 에서 $a = -5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 b에서 가속도의 크기는 5 m/s²이다.

ㄷ. a, c 사이의 거리는 $2as = v^2 - v_0^2$ 에서

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(-5 \text{ m/s})^2 - (10 \text{ m/s})^2}{2 \times (-5 \text{ m/s}^2)} = 7.5 \text{ m} \text{이다.}$$

03 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 두 물체의 역학적 에너지는 보존된다.
 ✕ 질량 M 인 물체의 퍼텐셜 에너지 감소량은 질량 m 인 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.
 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 두 물체의 운동 에너지 증가량의 합
 ㉡ 거리 d 만큼 움직이는 순간 두 물체의 운동 에너지는 $(M-m)gd$ 이다.

전략적 풀이 ① 역학적 에너지가 보존되기 위한 조건을 파악한다.

마찰이나 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

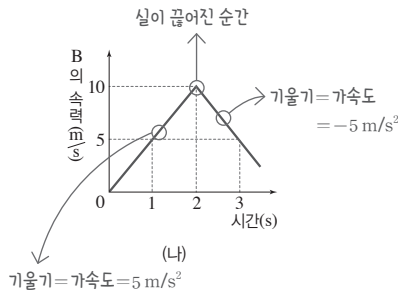
ㄱ. 마찰이나 공기 저항이 없으므로 거리 d 만큼 움직이는 동안 두 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

② 역학적 에너지가 보존될 때 물체의 운동 에너지 변화량과 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 관계를 파악한다.

ㄴ. 거리 d 만큼 움직이는 동안 질량 M 인 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 질량 m 인 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량과 두 물체의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄷ. 두 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 두 물체가 거리 d 만큼 움직이는 순간 두 물체의 운동 에너지는 두 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량과 크기가 같다. 두 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 $(M-m)gd$ 이다.

04 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ C의 질량은 m 이다.
 ㉡ A의 질량은 B의 4배이다.
 ✕ 2초 이후 C의 역학적 에너지는 일정하다. 증가한다.

전략적 풀이 ① 속력 - 시간 그래프에서 가속도를 구한다.

속력 - 시간 그래프의 기울기는 물체의 가속도 크기와 같다. 따라서 0~2초 동안 물체의 가속도는 5 m/s^2 이고, 2초 이후 물체의 가속도는 -5 m/s^2 이다.

② 실이 끊어지기 전과 후 물체의 운동을 파악하고, A, B, C의 질량 관계를 구한다.

ㄱ. 실이 끊어진 후 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다. 실이 끊어진 후 물체 B와 C는 함께 운동한다. C의 질량을 m_C 라고 할 때 B와 C에 작용하는 알짜힘은 C에 작용하는 중력의 크기인 $10m_C$ 와 같다. 따라서 $10m_C = (m + m_C) \times 5$ 에서 $m_C = m$ 이다.

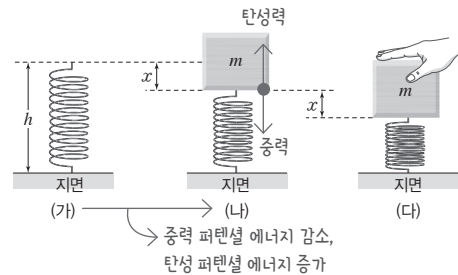
ㄴ. A의 질량을 m_A 라고 하면 실이 끊어지기 전 물체 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $10m_A - 10m_C$ 이고, 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다. 운동 방정식을 세워보면,

$10m_A - 10m_C = (m_A + m + m_C) \times 5$ 가 된다. $m_C = m$ 이므로 $m_A = 4m$ 이 된다.

③ 마찰이나 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지가 보존됨을 이해하고, C의 역학적 에너지를 구한다.

ㄷ. 모든 마찰과 공기 저항을 무시하므로 2초 이후 B와 C의 역학적 에너지가 보존된다. 2초 이후 C의 퍼텐셜 에너지 증가량만큼 B와 C의 운동 에너지가 감소한다. 즉, C의 퍼텐셜 에너지 증가량보다 C의 운동 에너지 감소량이 작으므로 2초 이후 C의 역학적 에너지는 증가한다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 용수철 상수는 $\frac{mg}{x}$ 이다.
 ✕ 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 (다)에서가 (나)에서의 2배이다. 4배
 ✕ (다)에서 물체를 가만히 놓았다면 물체의 높이가 h 일 때 운동 에너지가 최대이다. $h-x$

전략적 풀이 ① 힘의 평형 상태를 파악한다.

ㄱ. 용수철 상수를 k 라고 하면 (나)에서는 물체에 작용하는 중력과 탄성력이 힘의 평형을 이루고 있으므로 $mg = kx$ 이다. 따라서 $k = \frac{mg}{x}$ 이다.

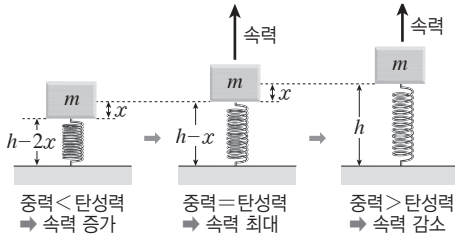
② 탄성 퍼텐셜 에너지 식을 적용한다.

ㄴ. 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철의 변형된 길이의 제곱에 비례하므로 (나)에서는 $\frac{1}{2}kx^2$ 이고 (다)에서는 $\frac{1}{2}k(2x)^2 = 2kx^2$ 이다. 따라서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 (다)에서가 (나)에서의 4배이다.

③ 알짜힘의 방향을 파악한다.

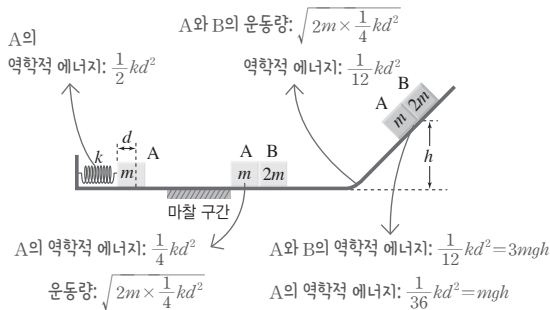
물체의 운동 방향과 알짜힘의 방향(가속도의 방향)이 같으면 속력이 증가하고, 운동 방향과 알짜힘의 방향이 반대이면 속력은 감소한다. (나)에서 물체에 작용하는 중력과 탄성력이 평형을 이루므로 이때의 위치가 알짜힘의 방향이 바뀌는 위치이다.

ㄷ. 그림은 (다)에서 물체를 가만히 놓았을 때 물체에 작용하는 힘의 크기를 비교한 것이다.



(다)에서 물체를 놓은 후 용수철의 길이가 $h-2x$ 에서 $h-x$ 까지 늘어나는 동안 탄성력의 크기가 중력의 크기보다 크므로 물체는 연직 위 방향으로 속력이 증가한다. 용수철의 길이가 $h-x$ 일 때 순간적으로 알짜힘이 0이 되며, $h-x$ 에서 h 까지 늘어나는 동안 중력의 크기가 탄성력의 크기보다 크므로 물체의 속력은 감소한다. 따라서 물체의 높이가 $h-x$ 일 때 운동 에너지가 최대이다.

06 **공공 문제 분석**



선택지 분석

- ☒ $\frac{kd^2}{2mg}$ ☒ $\frac{kd^2}{4mg}$ ☒ $\frac{kd^2}{6mg}$
- ☒ $\frac{kd^2}{12mg}$ ☒ $\frac{kd^2}{36mg}$

전략적 풀이 ① 마찰 구간을 지난 후 A의 에너지와 운동량을 구한다.

d 만큼 압축된 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kd^2$ 이다. 마찰 구간을 지나면서 역학적 에너지가 $\frac{1}{2}$ 배가 되므로 마찰 구간을 지난 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{4}kd^2$ 이다. 운동 에너지와 운동량의 관계 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 으로부터 B와 충돌 전 A의 운동량은 $p = \sqrt{\frac{mkd^2}{2}}$ 임을 알 수 있다.

② 충돌 전후 운동량의 합이 보존된다.

충돌 전 B는 정지해 있으므로 운동량의 합은 $p = \sqrt{\frac{mkd^2}{2}}$ 이고,

충돌 후 운동량의 합도 $p = \sqrt{\frac{mkd^2}{2}}$ 이 된다. 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의 질량은 $3m$ 이므로 충돌 후 한 덩어리가 된 물체의

운동 에너지는 $\frac{\frac{mkd^2}{2}}{2 \times 3m} = \frac{1}{12}kd^2$ 이다.

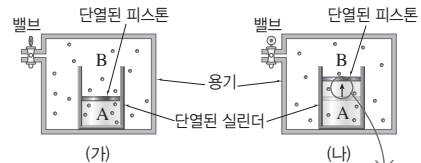
③ 빗면을 따라 올라가는 동안 역학적 에너지가 보존된다.

빗면을 오르기 전 한 덩어리가 된 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{12}kd^2$

이고, 높이 h 에서 중력 퍼텐셜 에너지는 $3mgh$ 이다. 따라서 $\frac{1}{12}kd^2 = 3mgh$ 이고, A의 역학적 에너지는 $mgh = \frac{1}{36}kd^2$

이다. 이를 정리하면 $h = \frac{kd^2}{36mg}$ 이다.

07 **공공 문제 분석**



열을 가하지 않고, A, B의 압력 차이에 의해 팽창하므로 단열 팽창 과정이다.
→ 부피가 팽창하므로 외부에 일을 한다.

선택지 분석

- ☒ 등압 과정에 해당한다. 단열 팽창 과정
- ☒ 외부에 일을 한다.
- ☒ 내부 에너지가 증가한다. 감소한다.

전략적 풀이 ① (가)에서 (나)로 변하는 동안 기체의 열역학 과정을 파악한다.

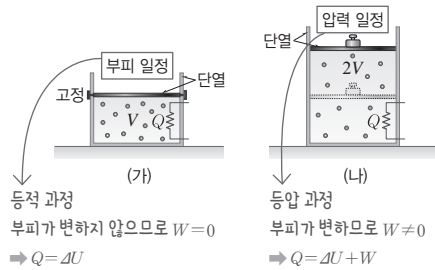
ㄱ. 기체에 열을 가하지 않고 A, B의 압력 차이에 의해 팽창하였으므로 단열 팽창 과정에 해당한다.

② 열역학 제1법칙을 이해하고, 열역학 과정에서 기체가 한 일, 내부 에너지, 열의 관계를 파악한다.

ㄴ. 기체 A의 부피가 팽창하였으므로 기체는 외부에 일을 한 것이다.

ㄷ. 단열 팽창 과정은 외부와 열 출입 없이 외부에 일을 하는 과정이다. ($Q=0, W>0$) 따라서 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 내부 에너지 $\Delta U = Q - W = -W < 0$ 이므로 외부에 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소한다.

08 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 기체의 압력은 (가) > (나)이다.
- ㉡ 기체의 내부 에너지는 (가) > (나)이다.
- ㉢ (가)에서 기체의 내부 에너지 증가량은 PV 이다.
PV보다 크다.

전략적 풀이 ① 열역학 제1법칙을 이해하고 (가), (나)에서 기체의 열역학 과정을 파악한다.

열역학 제1법칙은 물체에 전달된 열이 내부 에너지의 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다는 것($Q=\Delta U+W$)으로, 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙이다.

ㄴ. (가)는 등적 과정이므로 받은 열 Q 가 모두 내부 에너지 증가에 쓰이지만 (나)에서는 받은 열 중 일부는 일을 하는 데 쓰이고 일부는 내부 에너지 증가로 나타난다. 따라서 가열 후 기체의 내부 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

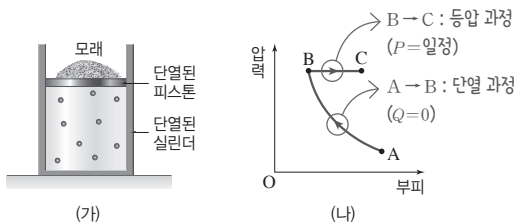
ㄷ. (가)에서 내부 에너지 증가량은 열 Q 이고 (나)에서 가열 후 기체의 내부 에너지 증가량은 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에서 $\Delta U=Q-W=Q-PV$ 이므로 $Q>PV$ 이다. 따라서 (가)에서 내부 에너지 증가량은 PV 보다 크다.

② 등적 과정과 등압 과정에서 기체의 압력 변화를 파악한다.

ㄱ. (가)는 등적 과정이므로 외부에 일을 하지 않는다. 따라서 받은 열량 Q 가 모두 내부 에너지 증가에 사용되므로 기체의 온도가 높아진다. 부피가 일정하므로 $PV \propto T$ 에서 압력이 증가한다. (나)는 등압 과정이므로 가열 후 기체의 압력은 가열 전과 같다.

09 품공 문제 분석

열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙으로 $Q=\Delta U+W$ 이다.



선택지 분석

- ㉠ A → B 과정에서 모래의 양을 감소시켰다. 증가
- ㉡ A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 증가한다.
- ㉢ B → C 과정에서 흡수한 열은 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일과 내부 에너지 증가량의 합

전략적 풀이 ① 단열 과정에서 압력과 부피의 관계를 파악한다.

ㄱ. A → B 과정은 부피가 감소하고 압력이 증가하였으므로 단열 압축 과정이고, 따라서 모래의 양을 증가시켰다.

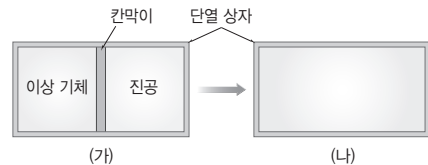
② 열역학 제1법칙을 이용하여 열역학 과정에서 기체의 내부 에너지 변화를 파악한다.

ㄴ. A → B 과정은 단열 압축 과정이므로 기체가 외부에서 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.

ㄷ. B → C 과정에서 흡수한 열의 일부는 외부에 일을 하는 데 사용되고 나머지가 내부 에너지 증가에 사용된다.

10 품공 문제 분석

- 이상 기체가 팽창하면서 외부 물체를 밀어낼 때는 기체가 외부에 일을 하지만, 외부 물체를 밀어내지 않으면 기체는 외부에 일을 하지 않는다.
- 평균 속력이 같을 때 기체가 좁은 곳에 모여 있을수록 엔트로피는 감소한다.



선택지 분석

- ㉠ 기체의 내부 에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
- ㉡ (가)에서 (나)로의 변화는 비가역 과정이다.
- ㉢ (가)에서 (나)로 변하는 동안 기체는 일을 하지 않는다.

전략적 풀이 ① 기체의 부피 변화를 파악하고, 내부 에너지의 변화를 이해한다.

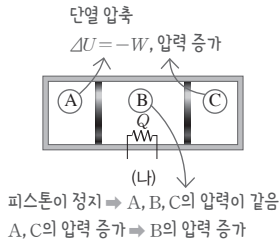
ㄱ. 이상 기체가 진공 속으로 퍼져 나가는 동안 일을 하지 않고, 외부로부터 열을 흡수하거나 방출하지도 않으므로 내부 에너지는 변하지 않는다.

ㄷ. 이상 기체가 팽창하면서 외부 물체를 밀어낼 때는 기체가 외부에 일을 하지만 진공 속으로 퍼져 나가는 동안에는 밀어내는 대상이 없어 일을 하지 않는다.

② 열역학 제2법칙에서 비가역 현상의 방향성을 이해한다.

ㄴ. (가)에서 (나)로 변하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다. 열역학 제2법칙에 의해 (가)에서 (나)로의 변화는 스스로 일어날 수 있지만, (나)에서 (가)로는 스스로 일어날 수 없기 때문에 (가)에서 (나)로의 변화는 비가역 과정이다.

11 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ B가 한 일은 $\Delta U_A + \Delta U_C$ 와 같다.
- ㉡ $Q = \Delta U_A + \Delta U_B + \Delta U_C$ 이다.
- ㉢ B의 압력은 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ① A와 C의 변화는 단열 압축 과정이다.

ㄱ. A와 C는 단열 압축 과정이므로 $0 = \Delta U + W$ 에서 기체가 받은 일($W < 0$)은 모두 내부 에너지로 전환($\Delta U > 0$)된다. 따라서 B가 A에 한 일은 ΔU_A 와 같고 B가 C에 한 일은 ΔU_C 와 같으므로 B가 한 일은 $\Delta U_A + \Delta U_C$ 와 같다.

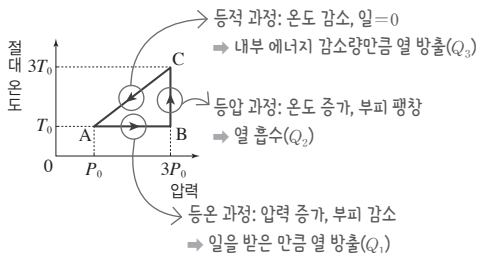
② B에 열역학 제1법칙을 적용한다.

ㄴ. 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U_B + W$ 이다. B가 한 일은 $\Delta U_A + \Delta U_C$ 이므로 $Q = \Delta U_A + \Delta U_B + \Delta U_C$ 이다.

③ 피스톤이 정지한 상태에서 A, B, C의 압력은 서로 같다.

ㄷ. A와 C는 단열 압축되므로 압력이 증가하는데, 피스톤이 정지한 상태에서는 A, B, C의 압력이 서로 같으므로 B의 압력도 증가하였음을 알 수 있다. 따라서 B의 압력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

12 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ A → B 과정에서 기체는 외부에 일을 한다. 외부로부터 일을 받는다.
- ㉡ 열기관의 열효율은 $\frac{Q_2 + Q_3}{Q_1}$ 이다. $\frac{Q_2 - Q_1 - Q_3}{Q_2}$
- ㉢ C → A 과정에서 감소한 내부 에너지는 Q_3 과 같다.

전략적 풀이 ① 각 열역학 과정에서 무엇이 일정인지 파악한다.

일반적으로 열역학 과정을 그래프로 나타낼 때는 압력-부피의 관계로 나타낸다. 이외에 다른 형태의 그래프가 제시되었을 때는 각 과정에서 변하지 않는 물리량이 무엇인지 먼저 파악하고 그래프를 분석한다.

② A → B 과정이 등온 과정임을 이해한다.

ㄱ. A → B 과정은 온도가 T_0 로 일정하므로 등온 과정이며, 압력이 증가하므로 $PV \propto T$ 에서 부피는 감소하였음을 알 수 있다. 따라서 A → B 과정은 등온 압축 과정이며, 기체는 외부로부터 일을 받는다.

③ 흡수한 열과 방출한 열을 구한다.

ㄴ. 열효율은 $\frac{\text{흡수한 열} - \text{방출한 열}}{\text{흡수한 열}}$ 이므로 각 과정에 열역학 제

1법칙 $Q = \Delta U + W$ 를 적용해서 열을 흡수하는지 방출하는지를 먼저 알아야 한다.

A → B 과정은 등온 압축 과정이므로 내부 에너지의 변화는 없고($\Delta U = 0$) 외부로부터 일을 받으므로($W < 0$) 열을 방출한다.($Q < 0$)

B → C 과정은 압력이 일정한 상태에서 온도가 증가하므로 등압 팽창 과정이며, 내부 에너지가 증가($\Delta U > 0$)하고 외부에 일을 하므로($W > 0$) 열을 흡수한다.($Q > 0$)

C → A 과정은 부피가 일정하므로 기체는 일을 하지 않고($W = 0$), 내부 에너지가 감소하므로($\Delta U < 0$) 열을 방출한다.($Q < 0$)

따라서 기체는 Q_2 의 열을 흡수하고, $Q_1 + Q_3$ 의 열을 방출하므로 열효율은 $\frac{Q_2 - (Q_1 + Q_3)}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1 - Q_3}{Q_2}$ 이다.

④ C → A 과정이 등적 과정임을 이해한다.

ㄷ. C → A 과정에서 기체의 부피가 일정하므로 기체가 한 일은 0이다. 따라서 감소한 내부 에너지만큼 열을 방출하므로 감소한 내부 에너지는 Q_3 과 같다.



3 시간과 공간

1 특수 상대성 이론

개념 확인 문제

114쪽

- ① 상대 속도 ② 관찰자 ③ 에테르 ④ 상대성
⑤ 광속 불변 원리 ⑥ 특수 상대성 이론

- 1 (1) 서쪽으로 17 m/s (2) 동쪽으로 17 m/s 2 (1) ○ (2) ×
(3) ○ (4) ○ 3 관성계(관성 좌표계) 4 (1) 오른쪽으로 일정한 속도 v 로 운동 (2) 뒤로 일정한 속도 v 로 운동 5 상대성 원리, 광속 불변 원리 6 (1) c (2) c

1 동쪽을 (+), 서쪽을 (-)로 정한다.

- (1) A에 대한 B의 상대 속도는 $v_{AB} = v_B - v_A = (-7 \text{ m/s}) - 10 \text{ m/s} = -17 \text{ m/s}$ 이므로 서쪽으로 17 m/s이다.
(2) B에 대한 A의 상대 속도는 $v_{BA} = v_A - v_B = 10 \text{ m/s} - (-7 \text{ m/s}) = 17 \text{ m/s}$ 이므로 동쪽으로 17 m/s이다.

- 2 (1) 마이컬슨과 몰리는 빛이 에테르를 통해 전달되면 에테르 바람의 방향이 빛의 전달에 영향을 미칠 것이라고 생각하였다.
(2) 마이컬슨·몰리 실험 결과 에테르가 존재하지 않는다는 결론을 얻었다.
(3), (4) 아인슈타인은 빛이 매질이 없어도 전파되며, 빛의 속력이 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다는 것을 알게 되었다.

3 정지해 있거나 등속도로 움직이는 관찰자를 기준으로 한 좌표계를 관성계(관성 좌표계)라고 한다.

- 4 (1) S를 기준으로 하면 S'은 오른쪽으로 일정한 속도 v 로 운동한다.
(2) S'을 기준으로 하면 S는 뒤로 일정한 속도 v 로 운동한다.

5 아인슈타인이 특수 상대성 이론을 펼칠 수 있었던 근거는 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다는 상대성 원리와 모든 관성계에서 보았을 때 진공 중에서 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다는 광속 불변 원리이다.

- 6 (1), (2) 관성계에서는 광원이나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 빛의 속력은 c 로 일정하다.

개념 확인 문제

118쪽

- ① 동시성의 상대성 ② 고유 시간 ③ 시간 지연 ④ 느리게
⑤ 고유 길이 ⑥ 길이 수축 ⑦ 운동

- 1 (1) 동시에 (2) A 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 (1) × (2) ○
(3) ○ 4 (1) 짧다 (2) 크다 (3) 짧다

- 1 (1) 우주선 안의 S'에게는 어느 방향으로나 빛의 속력이 같고, 지구에서 두 검출기까지의 거리가 같으므로 빛은 A, B에 동시에 도달한다. 즉, 두 사건은 동시에 일어난다.
(2) 우주선 밖에 있는 S에게도 빛의 속력은 어느 방향으로나 같은데 빛이 이동하는 동안 우주선도 오른쪽으로 이동하므로 빛이 A에 먼저 도달한다. 즉, 사건 A가 먼저 일어난다.

- 2 (1) 자신의 관성계에 있는 시계로 측정한 시간이 고유 시간이다.
(2) 자신의 관성계에 있는 물체의 길이를 측정한 값이 물체의 고유 길이이다.
(3) 다른 관성계에서 상대방의 물체의 길이를 측정하면 고유 길이보다 짧다.

- 3 (1) 한 관성계에서 동시에 일어난 사건도 다른 관성계에서는 동시가 아닐 수 있다.
(2) 두 관성계 사이에서 서로 상대방의 시간이 천천히 흐르는 것으로 관측된다.
(3) 상대 속도 v 의 크기가 클수록 상대방에 있는 물체의 길이 수축 정도가 커진다.

- 4 (1) 민수는 다른 관성계에 있으므로 민수가 측정한 지구에서 목성까지의 거리는 고유 길이보다 짧다.
(2) 지구는 우주선과 다른 관성계이므로 우주선이 지구에서 목성까지 가는 데 걸린 시간을 지구에서 관찰하면 고유 시간보다 크다.
(3) 우주선과 다른 관성계인 지구에서 관찰하면 우주선의 길이는 민수가 측정한 고유 길이보다 짧게 관측된다.

119쪽

완자샘
비법 특강 Q1 고유 길이
Q2 길이

Q1 고유 길이는 관찰자가 측정했을 때 정지 상태에 있는 물체의 길이 또는 한 관성계에 대해 고정된 두 지점 사이의 길이이다.

Q2 길이 수축은 운동 방향으로만 일어나므로 기차의 길이가 줄어든다. 운동 방향에 수직인 기차의 높이는 줄어들지 않는다.

대표 자료 분석

120~121쪽

자료 1 1 q 2 동시에 도달한다. 3 p, r 4 (1) ○
(2) ○ (3) ×

자료 2 1 $\Delta t_1 > \Delta t_2$ 2 $\Delta t_3 < \Delta t_4$ 3 $\Delta t_1 + \Delta t_3$,
 $\Delta t_1 + \Delta t_3 < \Delta t_2 + \Delta t_4$ 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○

자료 3 1 두 경우 모두 c이다. 2 우주선 안에 있는 빛 시계
3 더 커진다. 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

자료 4 1 $L = v \Delta t_{\text{고유}}$ 2 $L_{\text{고유}} = v \Delta t$ 3 $\Delta t > \Delta t_{\text{고유}}$, $L < L_{\text{고유}}$
4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×

1-1 A의 관성계에서 광원과 검출기 사이의 거리는 모두 같고, q에서 빛이 가장 먼저 방출되므로 q에서 방출된 빛이 검출기에 가장 먼저 도달한다.

1-2 A의 관성계에서는 q에서 방출된 빛이 검출기에 가장 먼저 도달하고, 그 후에 p, r에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달한다. p, r에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달하는 것은 하나의 사건이므로 B의 관성계에서도 똑같이 일어난다. 따라서 B의 관성계에서도 p, r에서 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다.

1-3 B가 관찰할 때 p, r에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달하는데, 검출기는 r 쪽을 향해 운동하므로 빛이 p에서 먼저 방출되고 r에서 나중에 방출되어야 검출기에 동시에 도달할 수 있다.

1-4 (1) A의 관성계에서 광원과 검출기 사이의 거리는 모두 같고, p, r에서 빛이 동시에 방출되므로 p, r에서 방출된 빛은 검출기에 동시에 도달한다.

(2) 광속 불변 원리에 따라 관찰자나 광원의 속력에 관계없이 빛의 속력은 일정하다.

(3) A의 관성계에서 p와 검출기 사이의 거리와 r와 검출기 사이의 거리는 서로 같고, B의 관성계에서도 두 거리가 같은 비율로 수축하므로 두 거리는 같다.

2-1 지면의 관성계에서 거울은 정지해 있고, 우주선의 관성계에서 거울은 광원을 향해 운동하므로 우주선의 관성계에서 빛이 거울에 더 빨리 도달한다. 따라서 $\Delta t_1 > \Delta t_2$ 이다.

2-2 지면의 관성계에서 광원은 정지해 있고, 우주선의 관성계에서 광원은 거울에서 멀어지는 방향으로 운동하므로 지면의 관성계에서 빛이 광원에 더 빨리 도달한다. 따라서 $\Delta t_3 < \Delta t_4$ 이다.

2-3 $\Delta t_1 > \Delta t_2$ 이고 $\Delta t_3 < \Delta t_4$ 이므로 이 관계만으로 $\Delta t_1 + \Delta t_3$ 과 $\Delta t_2 + \Delta t_4$ 의 대소 관계를 비교할 수는 없다. 지면의 관성계에서 빛이 광원에서 방출되어 다시 광원으로 돌아올 때까지의 시간 $\Delta t_1 + \Delta t_3$ 은 동일한 위치에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격이므로 고유 시간이다. 따라서 우주선의 관성계에서 보면 지면에서 일어나는 사건에 시간 지연이 일어나므로 $\Delta t_1 + \Delta t_3 < \Delta t_2 + \Delta t_4$ 이다.

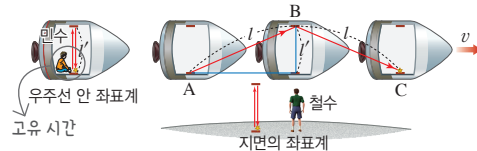
2-4 (1) 우주선의 관성계에서 우주선은 정지해 있고 지면의 관성계가 $-x$ 방향으로 운동하므로 거울은 빛을 향해 운동한다.

(2) 고유 길이는 관찰자가 측정했을 때 정지 상태에 있는 물체의 길이를 뜻하는데, 우주선의 관성계에서 광원과 거울은 $-x$ 방향으로 운동하므로 우주선의 관성계에서 광원과 거울 사이의 거리를 측정한 것은 고유 길이가 아니다.

(3) 고유 시간은 동일한 위치에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격을 뜻하는데, 광원과 거울은 동일한 위치가 아니므로 빛이 광원에서 거울까지 진행하는 데 걸린 시간을 측정한 값은 고유 시간이 아니다.

(4) 지면의 관성계에서 광원은 정지해 있으므로 광원에서 빛이 방출되는 사건과 빛이 광원으로 돌아오는 사건은 동일한 위치에서 일어난 두 사건이다. 따라서 지면의 관성계에서 빛이 광원에서 방출되어 다시 광원으로 돌아올 때까지의 시간 간격은 고유 시간이다.

3-1 곱셈 문제 분석



	민수가 보았을 때	철수가 보았을 때
빛의 속력	c	c
빛의 이동 거리	$2l'$	$2l$
빛의 주기	$T' = \frac{2l'}{c}$	$T = \frac{2l}{c}$
결론	$l > l'$ 이므로 $T > T'$	

모든 관성 좌표계에서 빛의 속력은 c 로 일정하다.

3-2 철수가 관찰할 때 우주선이 광속에 가까운 속력으로 움직이므로 빛이 거울 사이를 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 우주선 안에 있는 시계가 더 천천히 간다.

3-3 시간 지연은 속력이 빠를수록 더 크게 일어나므로, 시간의 차이는 우주선의 속력이 빠를수록 더 커진다.

3-4 (1) 민수와 철수의 좌표계는 상대적으로 움직이는 다른 관성 좌표계이다.

(2) 자신의 좌표계에 있는 시계로 측정한 시간은 고유 시간이다.

(3) 고유 시간보다 다른 좌표계의 시간이 더 느리게 간다.

4-1 철수가 계산한 지구에서 목성까지의 거리 L 은 자신의 속력인 우주선의 속력 v 에 자신이 측정한 시간을 곱한 값이므로 $L=v\Delta t_{\text{고유}}$ 가 된다.

4-2 영희가 계산한 지구에서 목성까지 거리 $L_{\text{고유}}$ 는 우주선의 속력에 자신이 측정한 시간을 곱한 값인 $L_{\text{고유}}=v\Delta t$ 이다.

4-3 Δt 는 고유 시간 $\Delta t_{\text{고유}}$ 보다 크다. $L=v\Delta t_{\text{고유}}$ 이고 $L_{\text{고유}}=v\Delta t$ 인데 $\Delta t > \Delta t_{\text{고유}}$ 이므로 $L < L_{\text{고유}}$ 가 된다. 즉, 다른 좌표계에서 측정한 거리 L 은 고유 길이 $L_{\text{고유}}$ 보다 짧다.

4-4 (1) 철수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이므로 영희가 측정한 우주선의 길이보다 길다.

(2) 철수가 측정한 지구에서 목성까지 거리는 우주선의 속력이 빠를수록 짧아진다.

(3) 영희가 측정한 우주선의 길이는 우주선의 속력이 빠를수록 짧아진다.

(4) 영희가 우주선을 관찰하면 운동 방향에 나란한 우주선의 길이만 짧아진다.

동쪽(+)방향으로 정하면, 서쪽(-)방향이다. 이때 자동차 A의 속도 $v_A=+80 \text{ km/h}$, 자동차 B의 속도 $v_B=-80 \text{ km/h}$, 자동차 C의 속도 $v_C=+100 \text{ km/h}$ 가 된다.

ㄱ. A에 대한 B의 상대 속도는 $v_{AB}=v_B-v_A=-80-80=-160(\text{km/h})$ 이므로 서쪽으로 160 km/h 이다.

바로알기 ㄴ. A에 대한 C의 상대 속도는 $v_{AC}=v_C-v_A=100-80=20(\text{km/h})$ 이므로 동쪽으로 20 km/h 이다.

ㄷ. 앞서가는 C의 속도의 크기가 A보다 크므로 A와 C 사이의 거리는 점점 멀어진다.

03 흐르는 강물 위에서 배가 움직이면 지면에 대한 배의 속도는 강물의 속도에 배의 속도를 더한 값이 된다. 강물이 내려가는 방향을 (+)로 하면 지면에 대한 배의 속도는 다음과 같다.

• 내려갈 때: $7 \text{ m/s}+3 \text{ m/s}=10 \text{ m/s}$

• 올라갈 때: $-7 \text{ m/s}+3 \text{ m/s}=-4 \text{ m/s}$

따라서 배가 왕복하는 데 걸리는 시간은 내려가는 시간+올라가는 시간

$$\text{는 시간} = \frac{100 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} + \frac{100 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 35 \text{ s이다.}$$

04 ① 마이컬슨과 몰리는 지구 표면의 에테르 바람 속에서 빛의 진행 방향에 따라 빛의 속력에 차이가 있을 것이라고 생각하였다.

②, ④ 광원을 나온 빛이 반거울을 통해 수직으로 나뉘어 진행한 후 빛 검출기에 동시에 도착한다. 따라서 빛의 속력은 일정하고, 에테르는 존재하지 않음을 알 수 있다.

바로알기 ③ 빛의 속력은 방향에 따라 다르지 않고 일정하다.

⑤ 에테르는 존재하지 않으며, 빛은 매질 없이 전달된다.

05 ㄱ. 정지 또는 등속도로 운동을 하는 좌표계는 관성계이므로 등속도 운동을 하는 엘리베이터 안의 A의 좌표계는 관성계이다. ㄴ. A는 자신과 엘리베이터, 그 안에서 함께 운동하는 모든 물체가 정지해 있다고 생각한다. 따라서 물체를 들고 있다가 가만히 놓으면 물체가 자유 낙하 운동을 하는 것으로 관찰한다.

바로알기 ㄷ. 상대성 원리에 따르면 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다. A와 B의 좌표계는 모두 관성계이므로 B가 관찰할 때에도 물체의 운동은 뉴턴 운동 법칙이 적용된다.

06 광속 불변 원리에 따라 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 빛의 속력은 항상 일정하다.

07 **모범 답안** • 상대성 원리: 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

• 광속 불변 원리: 모든 관성계에서 보았을 때, 진공 중에서 진행하는 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다.

채점 기준	배점
상대성 원리와 광속 불변 원리를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
상대성 원리와 광속 불변 원리라고만 쓴 경우	50 %

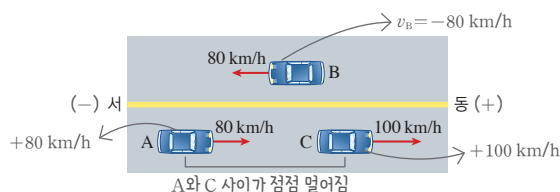
나신 안정 문제

122~126쪽

- 01 ② 02 ① 03 35초 04 ③, ⑤ 05 ③ 06 ④
 07 해설 참조 08 ③ 09 ③ 10 ⑤ 11 ③ 12 ③
 13 ① 14 ① 15 ③ 16 ⑤ 17 ③ 18 ⑤ 19 ③
 20 해설 참조 21 ② 22 ⑤

01 A와 B는 같은 방향으로 운동하므로 A에서 본 B의 상대 속도의 크기는 두 속도의 크기의 차이이다. 따라서 B의 속도-A의 속도= $25 \text{ m/s}-10 \text{ m/s}=15 \text{ m/s}$ 이다.

02 꿈 문제 분석



08 학생 A: 특수 상대성 이론의 두 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다. 광속 불변 원리에 따르면 모든 관성계에서 관찰할 때 진공에서 진행하는 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속력과 관계없이 일정하다.

학생 B: 특수 상대성 이론에서는 빛의 속력이 일정하므로 관성계의 운동 상태(속도)에 따라 시간과 공간이 상대적으로 변할 수 있다고 설명한다.

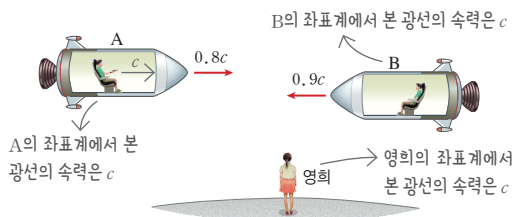
바로알기 학생 C: 한 좌표계에서 일어난 사건은 반드시 다른 좌표계에서도 일어난다. 예를 들어 좌표계 S에서 빛이 광원으로부터 방출되었다면 S'에서도 빛이 광원으로부터 방출된다. 차이가 있다면 각 좌표계에서 사건이 일어난 시각과 위치는 다르게 관찰될 수 있다는 것이다.

09 ㄱ. (가)에서는 트럭이 일정한 속도로 운동을 하고 있고, (나)에서는 사람이 지면에 정지해 있으므로 (가)와 (나) 모두 관성계이다.

ㄴ. (가)에서 공의 운동은 연직 위로 던진 물체의 운동과 같으므로 속도의 방향은 연직 방향이며 직선상에서 운동을 하는 것으로 관찰된다. 그러나 (나)에서 공은 포물선 운동을 하는 것으로 관찰되어 속도의 크기와 방향이 계속 변하는 것으로 측정된다. 따라서 최고점에서 공의 속력은 다르다.

바로알기 ㄷ. (가)와 (나) 모두 공의 질량 m 이 같고, 공의 가속도가 중력 가속도 g 로 같으므로 $F=mg$ 로 공의 운동을 설명할 수 있다.

10 꼼꼼 문제 분석



ㄱ, ㄴ, ㄷ. 모든 관성계에서 빛의 속력은 일정하게 측정되므로 레이저 광선의 속력은 c 로 측정된다.

바로알기 ㄹ. 물체의 속력은 빛의 속력보다 빠를 수 없다. 속력이 빛의 속력에 비해 매우 느릴 때에는 상대방의 속도에서 자신의 속도를 뺀 상대 속도의 개념이 성립되지만 빛의 속력에 근접한 속도에서는 단순한 상대 속도의 개념이 성립하지 않는다.

11 ㄱ. 우리 주변에서 볼 수 있는 물체의 속도는 빛의 속력에 비해 아주 작기 때문에 속도의 덧셈이 이루어진다. 따라서 관찰자가 본 화살의 속도는 기차의 속도 + 기차에 대한 화살의 속도 $= 100 \text{ km/h} + 100 \text{ km/h} = 200 \text{ km/h}$ 이다.

ㄷ. 빛은 광원의 속도나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 속력이 일정하다.

바로알기 ㄴ. (나)에서는 관찰자에게도 빛의 속력은 30만 km/s 로 관측된다.

12 • 기차 안에 있는 철수가 보면 레이저 빛은 A, B까지 같은 거리를 진행하므로 A, B에 레이저 빛이 동시에 도착한다.

• 기차 밖에 있는 영희가 보면 빛의 속력은 30만 km/s 로 일정한데 기차가 오른쪽으로 진행하므로 A는 처음 레이저 빛이 출발한 지점으로 접근하고, B는 멀어진다. 따라서 A에 레이저 빛이 먼저 도착한다.

13 ㄱ. 우주선의 관성계에서 관찰할 때 p, q에서 빛이 동시에 방출되었고, 검출기와 p, q 사이의 거리는 서로 같으므로 p, q에서 방출된 빛은 동시에 검출기에 도달한다.

바로알기 ㄴ. 동시성의 상대성이란 한 관성 좌표계에서 동시에 일어난 두 사건이 다른 관성 좌표계에서 측정하면 동시가 아닐 수 있다는 것이다. p, q에서 방출된 빛이 검출기에 동시에 도달하는 것은 하나의 사건이므로 다른 관성계에서도 똑같이 일어난다. 따라서 관찰자가 측정할 때에도 두 빛은 검출기에 동시에 도달한다. '동시에'라는 단어 때문에 동시성의 상대성을 잘못 적용해서는 안 된다.

ㄷ. 우주선의 관성계에서 측정한 검출기와 p, q 사이의 거리는 고유 길이이고, 길이가 서로 같다. 관찰자에게는 길이 수축이 같은 비율로 일어나므로 검출기와 p, q 사이의 거리는 서로 같다.

14 ㄱ. 관찰자가 측정했을 때 정지 상태에 있는 두 지점 사이의 길이를 고유 길이라고 한다. 우주선 내부의 모든 물체와 관찰자 A는 같은 속도로 운동하므로 A의 입장에서 광원과 거울은 정지 상태이다. 따라서 A가 관찰할 때 광원과 거울 사이의 거리는 고유 길이이다.

바로알기 ㄴ. 관찰자가 보았을 때 동일한 위치에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라고 한다. 빛이 광원에서 방출된 사건과 빛이 거울에 도달한 사건은 발생한 위치가 서로 다르므로 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간이 아니다. (가)와 (다)에서 빛이 광원으로 방출되었다가 다시 광원으로 돌아올 때까지의 시간 간격이 고유 시간이다.

ㄷ. 길이 수축은 운동하는 물체의 길이를 측정할 때 운동 방향으로 길이가 짧아진 것으로 관측되는 현상이므로 운동 방향과 수직인 광원과 거울 사이의 거리는 짧아지지 않는다.

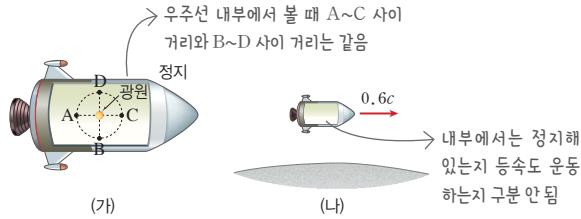
15 ㄷ. 우주선에 타고 있는 철수에게는 우주선이 정지해 있으므로 철수가 측정한 우주선의 길이가 고유 길이이다.

바로알기 ㄱ. 영희가 보았을 때 A, B는 정지해 있으므로 A, B 사이의 고유 길이는 같은 좌표계에 있는 영희가 측정한 값이다.

ㄴ. 영희의 관성계에서 우주선이 A를 출발해 B에 도착하는 두 사건은 서로 다른 위치에서 일어난 사건이므로 고유 시간이 아니다.

16 꼼꼼 문제 분석

아무리 빠른 속력이라도 일정한 속력으로 운동하는 관성계 내부에서는 자신이 정지해 있는 것인지 등속도 운동을 하는지 구분할 수 없다. 따라서 정지해 있을 때와 모든 물리량이 똑같이 측정된다.



ㄱ. 광원에서 A로 진행하는 빛과 C로 진행하는 빛의 속력은 c 로 같다.

ㄴ. 광원에서 동시에 방출된 빛은 같은 거리에 있는 A, C에 동시에 도달한다.

ㄷ. 우주선에 타고 있는 사람에게는 우주선이 정지해 있는 것처럼 보이므로 A, C 사이의 거리는 B, D 사이의 거리와 같다.

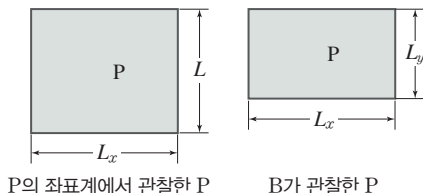
17 ㄷ. 우주선에 타고 있는 철수가 측정한 빛의 왕복 시간이 고유 시간이고, 다른 좌표계에 있는 민수가 측정한 빛의 왕복 시간은 고유 시간보다 길다.

바로알기 ㄱ. 빛의 속력은 모든 관성계에서 똑같이 측정된다.

ㄴ. 철수가 측정한 우주선의 길이가 고유 길이이다. 민수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧다.

18 ㄱ. A가 관찰할 때 P는 x 축 방향으로 길이 수축이 일어났는데 정사각형으로 측정되었으므로 P의 좌표계에서 측정한 고유 길이는 x 축 방향 변의 길이가 y 축 방향 변의 길이보다 길다. ($L_x > L$)

ㄴ. A가 관찰할 때 운동 방향에 수직인 y 축 방향으로 길이는 수축이 일어나지 않으므로 P의 y 축 방향 고유 길이는 L 이다. B가 관찰할 때 운동 방향에 수직인 x 축 방향 길이는 고유 길이와 같은 L_x 이고, y 축 방향으로 길이는 수축이 일어나 L 보다 작게 관찰된다. 따라서 B가 관찰할 때 P는 정사각형이 아니다. ($L_y < L$)



ㄷ. P의 좌표계에서 관찰할 때 우주선의 앞쪽 끝부분이 P를 통과하기 위해서는 A는 $0.8c$ 의 속력으로 L_x 를 이동해야 하고, B는 $0.9c$ 의 속력으로 L 을 이동해야 하는데, $L_x > L$ 이므로 걸린 시간은 A가 B보다 크다.

19 ㄱ. 빛의 속력은 모든 관성계에서 동일하게 측정되므로 $c_1 = c_2$ 이다.

ㄷ. 다른 좌표계에서 측정한 시간은 고유 시간보다 길다. 철수의 측정값이 다른 좌표계에서 측정한 시간이고, 영희의 측정값이 고유 시간이므로 $T_1 > T_2$ 이다.

바로알기 ㄴ. 다른 좌표계에서 측정한 길이는 고유 길이보다 짧다. 영희의 측정값이 다른 좌표계에서 측정한 길이이고, 철수의 측정값이 고유 길이이므로 $L_1 > L_2$ 이다.

20 특수 상대성 이론의 길이 수축에 의해 정지한 영희가 본 상대적으로 빠르게 움직이는 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧아 보인다.

모범 답안 $L_0 > L_B > L_A$, 영희가 볼 때 빠르게 움직이는 두 우주선의 길이는 고유 길이 L_0 보다 짧아 보인다. 이때 속도가 빠를수록 길이 수축이 크기 때문에 $L_B > L_A$ 이다.

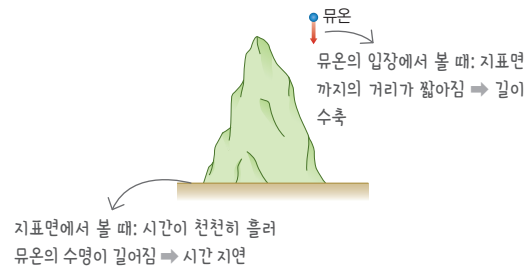
채점 기준	배점
우주선의 길이를 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
우주선의 길이만 옳게 비교한 경우	50 %

21 ㄴ. 뮤온의 ㉠수명이란 뮤온이 생성된 사건과 뮤온이 소멸한 사건 사이의 시간 간격을 말하며, '뮤온의 수명이 지상에서 발견될 수 없을 정도로 짧다'고 할 때의 수명은 뮤온의 좌표계에서 측정한 고유 시간을 의미한다.

바로알기 ㄱ. 지표면에서 관찰할 때 뮤온은 광속에 가까운 속력으로 운동하므로 시간 지연에 의해 뮤온의 ㉠수명이 고유 시간(고유 ㉠수명)보다 길게 측정된다.

ㄷ. 지표면의 관찰자가 볼 때 뮤온이 발생한 위치와 지표면 사이의 거리는 고유 길이이므로, 뮤온의 입장에서 길이 수축에 의해 짧아진 ㉡거리보다 길다.

22 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 뮤온의 입장에서는 상대적으로 지구가 움직인다. 따라서 지표면까지의 거리가 수축되어 짧아졌기 때문에 뮤온이 지표면에 도달할 수 있다.

ㄷ. 지표면에서 보았을 때는 뮤온이 움직인다. 따라서 뮤온의 시간이 천천히 흘러 수명이 길어지기 때문에 뮤온이 지표면에 도달할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 뮤온의 입장에서 시간은 지연이 일어나지 않는다. 시간 지연은 빠르게 움직이는 물체를 외부의 관성계에서 보았을 때 물체의 시간이 천천히 흘러가는 것이다.

바로알기 ㄴ. B의 관성계에서 빛이 광원에서 방출된 후 거울에 반사하여 다시 광원으로 돌아오는 데 걸리는 시간 t_3, t_4 는 고유 시간이다. A의 관성계에서 B의 관성계의 시간은 지연되고, 시간 지연은 빛의 경로와 관계없이 똑같이 일어나므로 $t_3=t_4$ 일 때 $t_1=t_2$ 이다.

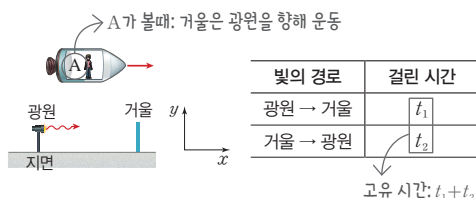
ㄷ. A의 관성계에서 $t_1=t_2$ 이므로 빛이 각 경로를 따라 진행한 거리는 서로 같다.

실력 UP 문제

127쪽

01 ③ 02 ① 03 ⑤ 04 ④

01 꼼꼼 문제 분석

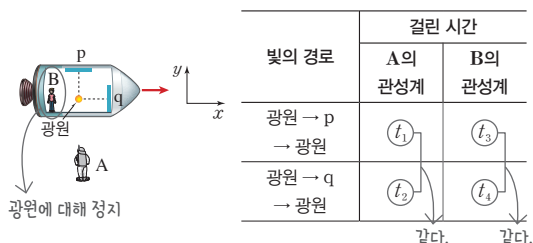


ㄷ. 지면의 좌표계에서 빛이 광원에서 방출되어 다시 광원으로 돌아오는 데 걸린 시간은 고유 시간이고, 이는 t_1+t_2 와 같다. A의 관성계에서는 시간 지연이 일어나므로 빛이 광원에서 방출되어 다시 광원으로 돌아오는 데 걸린 시간은 t_1+t_2 보다 크다.

바로알기 ㄱ. 한 관성계의 동일한 위치에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격을 고유 시간이라고 한다. 빛이 광원에서 방출된 사건과 빛이 거울에 도달한 사건은 발생한 위치가 서로 다르므로 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간이 아니다.

ㄴ. A의 관성계에서 거울은 광원을 향해 운동하므로 빛이 거울에 도달하기까지 진행한 시간은 t_1 보다 작다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. B의 관성계에서 광원과 p, 광원과 q 사이의 거리는 서로 같고, 빛의 진행 방향에 관계없이 빛의 속력은 같으므로 각 경로로 진행하는 데 걸린 시간도 서로 같다. 따라서 B의 관성계에서 $t_3=t_4$ 이다.

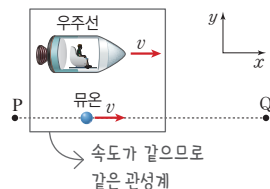
03 ㄱ. A와 B 사이의 거리는 L 이고 빛의 속력은 c 이므로 빛이 A에서 B까지 가는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{c}$ 이다. 우주선의 속력은 $0.8c$ 이므로 우주선이 A에서 B까지 가는 데 걸린 시간은 $\frac{L}{0.8c}$ 이다. 따라서 빛과 우주선이 각각 B에 도달하는 두 사건 사이의 시간 간격은 $\frac{L}{0.8c} - \frac{L}{c} = \frac{L}{4c}$ 이다.

ㄴ. A의 관성계에서 B에 빛과 우주선이 각각 도착하는 시간 간격은 고유 시간이다. 따라서 운동하는 관찰자의 관성계에서 시간 지연이 일어나므로 관찰자의 관성계에서 빛이 B에 도달한 시간과 B가 우주선에 도달한 시간 간격은 $\frac{L}{4c}$ 보다 크다.

ㄷ. 관찰자의 관성계에서 A, B는 운동하는 것으로 관찰된다. 따라서 A, B 사이의 거리는 길이 수축이 일어나므로 고유 길이 L 보다 작다.

04 꼼꼼 문제 분석

- 우주선에서 측정한 뮤온의 수명 $T \rightarrow$ 고유 시간
- P의 관성계에서 측정한 P, Q 사이의 거리 $\rightarrow$ 고유 길이



ㄴ. 우주선과 뮤온의 속도가 같으므로 우주선의 좌표계와 뮤온의 좌표계는 같은 관성계이다. 따라서 우주선에서 측정한 뮤온의 수명 T 는 뮤온의 고유 수명과 같다.

ㄷ. P에 정지해 있는 관성계에서는 뮤온의 시간이 느리게 가므로 뮤온이 P에서 Q까지 이동하는 데 걸린 시간은 뮤온의 고유 수명 T 보다 크다.

바로알기 ㄱ. 우주선의 관성계에서 P와 Q 사이의 거리는 vT 이고, 이것은 길이 수축에 의해 고유 길이보다 짧아진 거리이므로 P와 Q 사이의 고유 길이는 vT 보다 크다.

개념 확인 문제

130쪽

- ① 질량 에너지 동등성 ② 정지 ③ 커진다 ④ 질량 결손
⑤ Δmc^2 ⑥ 핵분열 ⑦ 핵융합

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × 2 질량 결손 3 $E = \Delta mc^2$
4 L, D 5 (1) × (2) × (3) ○ 6 ㉠ 수소, ㉡ 헬륨,
㉢ 삼중수소

1 (1) 똑같은 물체라도 정지해 있을 때보다 운동할 때의 질량이 더 크다. 다만 속력이 느릴 때는 질량 변화가 매우 작기 때문에 사람이 느끼기는 힘들고, 물체의 속력이 빛의 속력에 가까워질수록 질량 증가가 커진다.

(2) 질량 에너지 동등성에 의해 질량이 에너지로, 에너지가 질량으로 전환될 수 있다.

(3) 에너지도 질량으로 전환될 수 있다.

(4), (5) 핵분열 반응뿐만 아니라 핵융합 반응에서도 질량 결손이 발생하고, 이때 감소한 질량이 에너지로 방출된다.

2 핵반응 후의 질량의 합이 핵반응 전의 질량의 합보다 줄어든 고 줄어든 질량의 합은 에너지로 변하는데, 이때 줄어든 질량의 합을 질량 결손이라고 한다.

3 핵반응 과정에서 생기는 질량 결손 Δm 은 아인슈타인의 질량 에너지 동등성에 따라 에너지 E 로 전환된다.

$$E = \Delta mc^2 \quad (c : \text{빛의 속도})$$

4 ㄱ. 핵반응이 일어나면 질량 결손이 발생하여 핵반응 전후의 질량의 합은 보존되지 않는다.

ㄴ, ㄷ. 핵반응 전후에 전하량과 질량수는 보존된다.

5 (1) $^{235}_{92}\text{U}$ 는 저속 중성자를 흡수한 후 크립톤, 바륨, 스트론튬, 세논 등과 같은 가벼운 원자핵으로 분열한다.

(2), (3) 핵분열 후 질량 결손에 의해 질량의 합이 줄어들고 에너지가 발생한다.

6 • 태양 중심부에서는 ㉠수소 원자핵들이 융합하여 ㉡헬륨 원자핵으로 변한다.

• 핵융합로에서는 중수소 원자핵과 ㉢삼중수소 원자핵을 충돌시켜 헬륨 원자핵으로 융합한다.

대표 자료 분석

131쪽

자료 ① 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 ^1_0n 3 (1) ○ (2) × (3) ○
(4) ○

자료 ② 1 질량 결손 2 (1) ○ (2) × (3) × 3 (1) × (2) ○
(3) ○

1-1 (1) $^{235}_{92}\text{U}$ 는 속도가 느린 중성자를 흡수하여 핵분열한 후 고속 중성자를 방출한다.

(2) 핵분열할 때 방출되는 2개~3개의 중성자가 다른 우라늄에 계속 흡수되어 연쇄 반응이 일어난다.

(3) 핵반응에서 발생하는 에너지는 아인슈타인의 질량 에너지 동등성에 의해 질량 결손이 에너지로 전환된 것이다.

1-2 $^{235}_{92}\text{U}$ 는 중성자를 흡수하여 2개의 원자핵으로 분열하므로 ㉠에 들어갈 입자는 중성자(^1_0n)이다.

1-3 (1) 핵분열 반응에서 반응 전보다 반응 후의 질량의 합이 작아지는 질량 결손이 발생한다.

(2) 핵반응에서 발생한 질량 결손은 $E = \Delta mc^2$ 에 의한 에너지로 전환된다.

(3) $^{235}_{92}\text{U}$ 는 고속의 중성자보다 저속의 중성자를 흡수하였을 때 핵분열을 잘 일으킨다.

(4) 핵분열 반응 식에서 전하량과 질량수는 보존되지만 질량의 합은 보존되지 않는다.

2-1 핵반응 전 질량의 합보다 핵반응 후 질량의 합이 줄어드는 질량 결손 때문에 17.6 MeV의 에너지가 발생한다.

2-2 (1) 가벼운 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 무거운 헬륨 원자핵이 되는 핵융합 반응이다.

(2) 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵과 중성자가 되므로 ㉠은 중성자(^1_0n)이다.

(3) 질량 결손에 의해 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어든다.

2-3 (1) 핵융합 반응은 가벼운 원자핵들이 융합하여 무거운 원자핵으로 변하는 반응이다.

(2) 태양에서는 수소 원자핵들이 융합하여 여러 단계를 거친 후 최종적으로 헬륨 원자핵이 생성되면서 이때 발생하는 질량 결손에 의한 에너지가 방출된다.

(3) 태양 에너지의 근원은 핵융합 반응에서 발생하는 질량 결손에 의한 것이다.

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

01 ㄱ. 핵융합 과정에서 감소한 질량의 합을 Δm 이라고 하면, $E = \Delta mc^2$ 만큼의 에너지가 생성된다.

ㄴ. 전자와 양전자가 만나 쌍소멸하면 큰 에너지의 전자기파가 생성된다. 이 전자기파의 에너지는 소멸한 전자와 양전자의 질량이 전환된 것이다.

ㄷ. 질량 에너지 동등성은 질량과 에너지가 $E = mc^2$ 의 관계로 상호 전환될 수 있다는 것이다. 쌍생성 현상은 에너지가 질량으로 전환되는 예이다.

02 ㄱ. B의 맥박이 뛰는 시간 간격은 B의 관성계에서 고유 시간이므로 A가 측정할 때 시간 지연이 일어난다. 따라서 A가 측정한 값이 B가 측정한 값보다 크다.

ㄷ. 물체가 움직일 때의 질량은 정지해 있을 때 질량보다 크다. A의 관성계에서 우주선은 운동하고 있으며, B의 관성계에서 우주선은 정지해 있으므로 우주선의 질량은 A가 측정한 값이 B가 측정한 값보다 크다.

바로알기 ㄴ. A의 관성계에서 우주선은 운동하고 있으므로 우주선의 길이는 길이 수축이 일어난다. 따라서 A가 측정한 값이 B가 측정한 값보다 작다.

03 질량 결손이 m 일 때 방출되는 에너지는 $E = mc^2$ 이다.

04 ㄴ. 양전자와 전자가 소멸하면서 소멸하기 전 두 입자의 질량이 모두 전자기파의 에너지로 전환된다.

ㄷ. 특수 상대성 이론에 따른 질량 에너지 동등성으로 설명할 수 있는 현상이다.

바로알기 ㄱ. 핵융합은 가벼운 원자핵들이 융합하여 무거운 원자핵으로 변하는 반응이다. 양전자와 전자는 원자핵이 아니고, 양전자와 전자가 만나 아무 입자도 남지 않았으므로 쌍소멸은 핵융합 과정이 아니다.

05 ㄷ. 물체의 속력이 빛의 속력에 가까워질수록 상대론적 질량이 무한대에 접근한다.

바로알기 ㄱ. 정지해 있는 물체의 에너지는 정지 질량(m_0)에 의한 에너지 $E = m_0c^2$ 을 갖는다.

ㄴ. 속력이 $0.6c$ 일 때 상대론적 질량이 m_0 보다 크므로 에너지는 $0.6m_0c^2$ 보다 크다.

06 질량과 에너지는 $E = mc^2$ 의 관계로 전환된다.

모범 답안 질량 결손에 의한 에너지는 $E = \Delta mc^2 = 2.58 \times 10^{-29} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 2.322 \times 10^{-12} \text{ J}$ 이다.

채점 기준

배점

풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우

100 %

답만 맞은 경우

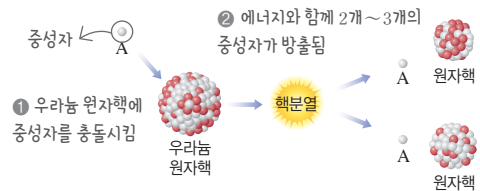
50 %

07 ㄴ. 핵분열이 일어나면 질량의 합이 감소하고, 감소한 질량의 합은 질량 에너지 동등성에 따라 에너지로 전환된다.

ㄷ. 원자핵 A가 저속의 중성자를 흡수하면 핵분열이 일어나고, 핵분열의 결과로 고속의 중성자가 방출되므로 이 중성자의 속력을 느리게 조절하면 연쇄 반응을 일으킬 수 있다.

바로알기 ㄱ. 무거운 원자핵이 가벼운 원자핵 여러 개로 나누어지므로 핵분열 과정이다.

08 품공 문제 분석



ㄱ. 우라늄($^{235}_{92}\text{U}$) 원자핵에 충돌하여 핵분열을 일으키는 입자는 중성자이다.

ㄷ. 핵분열 전 질량의 합보다 핵분열 후 질량의 합이 줄어들어 질량 결손이 발생한다.

바로알기 ㄴ. 태양 중심부와 같이 수십 억 도의 초고온 상태에서 일어나는 것은 핵융합 반응이다.

09 ㄱ. 질량 결손에 의해 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어든다.

ㄴ. 핵분열은 원자핵이 2개 이상의 가벼운 원자핵으로 나누어지는 반응이므로, 핵반응 후 생긴 원자핵은 반응 전 원자핵보다 가볍다.

ㄷ. 핵반응에서 방출되는 에너지는 아인슈타인의 질량 에너지 동등성에 의해 핵반응 후에 감소하는 질량이 에너지로 전환된 것이다.

10 ㄴ. (가)에서는 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵과 중성자가 되고, (나)에서는 우라늄이 중성자를 흡수하여 2개의 원자핵으로 분열하면서 고속 중성자를 방출한다.

ㄷ. 핵융합과 핵분열 과정은 모두 질량 결손에 의해 에너지를 방출한다.

바로알기 ㄱ. (가)는 핵융합 반응, (나)는 핵분열 반응을 나타낸 것이다.

11 ㄴ. 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵으로 변하는 과정에서 질량 결손이 발생하고 질량 결손에 의한 에너지는 태양 에너지의 근원이 된다.

바로알기 ㄱ. 핵융합 반응은 초고온 상태에서 일어난다.

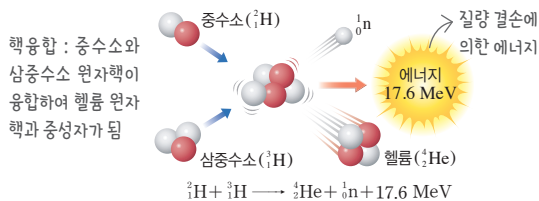
ㄴ. 수소 원자핵 4개의 질량의 합이 헬륨 원자핵 1개의 질량보다 크다. 즉, 반응 과정에서 질량 결손이 발생하고 이 질량이 에너지로 방출된다.

12 ㄴ. (+)전하를 띤 두 원자핵들이 전기적인 반발력을 이기고 접근하여 핵융합 반응을 일으키기 위해서는 서로 고속으로 충돌해야 하므로 큰 운동 에너지를 가져야 한다. 이러한 에너지를 갖기 위해 1억 °C가 넘는 초고온의 플라스마 상태에서 중수소와 삼중수소를 융합시켜야 한다.

ㄷ. 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어들게 되고, 이때 줄어든 질량만큼 에너지로 전환되므로 질량 결손에 의해 많은 양의 에너지를 얻는다.

바로알기 ㄱ. 핵융합로에서는 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 충돌하여 헬륨(${}^4_2\text{He}$) 원자핵이 생성된다.

13 **꼼꼼 문제 분석**



ㄱ. 가벼운 원자핵들이 충돌하여 더 무거운 원자핵으로 변환되므로 핵융합 반응이다.

ㄴ. 핵융합 반응에서 발생한 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

바로알기 ㄷ. 핵반응 전의 질량의 합이 핵반응 후의 질량의 합보다 크다.

14 ㄱ. 핵반응 전후 질량수와 양성자수는 보존되므로 ㉠은 ${}^4_2\text{He}$ 이다. 따라서 ㉠의 질량수는 4이다.

ㄴ. 핵반응 과정에서 감소한 질량이 클수록 방출하는 에너지도 크므로 감소한 질량은 방출한 에너지가 더 큰 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

바로알기 ㄴ. ㉡은 ${}^4_2\text{He}$ 이므로 양성자수는 2이다.

15 핵융합이나 핵분열 반응에서 반응 전 질량의 합보다 반응 후 질량의 합이 줄어드는 질량 결손(Δm)이 발생하고, 이 질량 결손이 $E = \Delta mc^2$ 에 의하여 에너지로 방출된다.

모범 답안 반응 후 질량의 합이 줄어드는 질량 결손이 발생하고, 줄어든 질량의 합이 $E = \Delta mc^2$ 에 의하여 에너지로 방출된다.

채점 기준	배점
질량의 합이 차이와 전환 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
질량 결손이 발생 또는 질량의 합이 에너지로 전환된다고만 서술한 경우	50 %

16 ㄱ. 핵반응 후에 헬륨 원자핵과 중성자가 만들어진다.

ㄴ. 핵융합 반응에서 발생하는 질량 결손이 에너지로 방출된다.

ㄷ. 질량수는 '양성자수 + 중성자수'이다. 핵반응에서 반응 전후 질량의 합은 보존되지 않지만 질량수의 합은 보존된다.

17 ㄱ. 핵분열 반응과 핵융합 반응에서 공통으로 나타나는 X는 중성자(${}^1_0\text{n}$)이다.

ㄴ. (나)의 핵융합 반응에서는 중성자와 헬륨 원자핵이 생성되는데, X가 중성자(${}^1_0\text{n}$)이므로 Y는 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$)이다.

바로알기 ㄷ. 핵반응에서 질량의 합은 반응 전이 반응 후보다 크다.

실력 UP 문제

135쪽

01 ② 02 ③

01 **꼼꼼 문제 분석**

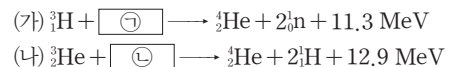
$2m_1 + 2m_2 > m_3$									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>입자</th><th>정지 질량</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>${}^2_1\text{H}$</td><td>m_1</td></tr> <tr> <td>${}^3_1\text{H}$</td><td>m_2</td></tr> <tr> <td>${}^4_2\text{He}$</td><td>m_3</td></tr> </tbody> </table>	입자	정지 질량	${}^2_1\text{H}$	m_1	${}^3_1\text{H}$	m_2	${}^4_2\text{He}$	m_3
입자	정지 질량								
${}^2_1\text{H}$	m_1								
${}^3_1\text{H}$	m_2								
${}^4_2\text{He}$	m_3								
양성자 (가)	헬륨 원자핵 (나)								

ㄴ. 양성자(${}^1_1\text{H}$)와 중성자(${}^1_0\text{n}$)의 질량수는 1로 서로 같다.

바로알기 ㄱ. (가)의 입자들이 결합하여 (나)의 입자를 만들 때 질량의 합이 감소하므로 $2m_1 + 2m_2 > m_3$ 이다.

ㄷ. 질량 에너지 동등성에 따라 감소한 질량에 비례하여 에너지를 방출한다.

02 **꼼꼼 문제 분석**



(가) 질량수 보존: $3 + (3) = 4 + 2 \Rightarrow$ ㉠의 질량수: 3

전하량 보존: $1 + (1) = 2 + 0 \Rightarrow$ ㉠의 전하량: 1

(나) 질량수 보존: $3 + (3) = 4 + 2 \Rightarrow$ ㉡의 질량수: 3

전하량 보존: $2 + (2) = 2 + 2 \Rightarrow$ ㉡의 전하량: 2

ㄱ. 핵반응 전후 질량수와 전하량(양성자수)은 보존되므로 ㉠은 삼중수소(${}^3_1\text{H}$), ㉡은 헬륨-3(${}^3_2\text{He}$)이다. 두 입자의 질량수는 3으로 서로 같다.

ㄴ. 핵반응 시 방출되는 에너지는 질량 결손과 비례($E = \Delta mc^2$)하므로 질량 결손은 방출되는 에너지가 큰 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

바로알기 ㄴ. ㉠은 삼중수소(${}^3_1\text{H}$)이다. 중수소(${}^2_1\text{H}$)는 질량수가 2, 양성자수가 1이다.

중단원 핵심 정리

136~137쪽

- ① 상대 ② 에테르 ③ 정지 ④ 상대성 ⑤ 일정 ⑥ 동시성
⑦ A ⑧ 느리게 ⑨ c ⑩ $>$ ⑪ 수축 ⑫ 고유 길이 ⑬ $<$
⑭ 수축 ⑮ 질량 에너지 동등성 ⑯ 질량 결손 ⑰ 에너지
⑱ 에너지 ⑳ 태양 ㉑ 헬륨

중단원 마무리 문제

138~141쪽

- 01 ③ 02 ③ 03 ④ 04 ① 05 ④ 06 ③
07 ① 08 ② 09 ④ 10 ④ 11 ⑤ 12 ① 13 ⑤
14 ③ 15 해설 참조 16 해설 참조 17 해설 참조

01 동쪽을 (+)방향으로 하고 기차의 속도를 $v_{\text{기차}}=60 \text{ km/h}$, 자동차의 속도를 $v_{\text{자동차}}$ 라고 하면, 기차에 타고 있던 태희가 본 맞은편 도로의 자동차의 속도가 서쪽으로 140 km/h 이므로 $v_{\text{자동차}} - v_{\text{기차}} = v_{\text{자동차}} - 60 \text{ km/h} = -140 \text{ km/h}$ 이다. 따라서 $v_{\text{자동차}} = -80 \text{ km/h}$ 이므로 지면에 대한 자동차의 속도는 서쪽으로 80 km/h 이다.

02 ㄱ. 마이컬슨과 몰리의 실험은 에테르의 존재를 확인하기 위한 실험이었지만, 실험 결과 에테르의 존재를 확인할 수 없었다.

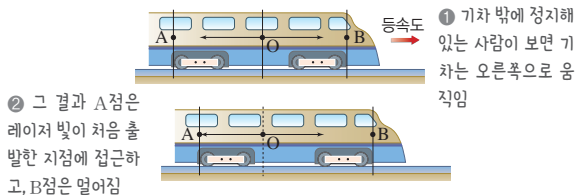
ㄷ. 마이컬슨과 몰리의 실험 결과 빛의 속도 차이가 없다는 것을 확인하였는데 이것은 광속 불변 원리와 관련이 있다.

바로알기 ㄴ. 마이컬슨과 몰리의 실험에서 빛의 속력이 관찰자의 속도에 따라 상대적으로 차이가 없음을 알게 되었다.

03 ㄱ, ㄴ. 모든 관성계에서 보았을 때 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다. 따라서 등속도 운동을 하는 버스 안이나 밖의 사람이 볼 때 빛의 속력은 30 만 km/s 로 관측된다.

바로알기 ㄷ. 광원의 속도에 관계없이 등속도 운동을 하는 관성계에서 빛의 속력은 30 만 km/s 로 일정하다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 기차 안에서 보면 레이저 빛의 속력은 어느 방향으로나 같고, O점에서 A점과 B점까지의 거리가 같으므로 레이저 빛은 A점과 B점에 동시에 도착한다.

바로알기 ㄴ. 기차 밖에 정지해 있는 사람이 보았을 때도 레이저 빛의 속력은 어느 방향으로나 같지만, 기차가 오른쪽으로 움직이므로 A점은 처음 레이저 빛이 출발한 지점에 가까워지고 B점은 멀어진다. 따라서 B점에 비해 더 가까운 A점에 레이저 빛이 먼저 도착하는 것으로 보인다.

ㄷ. 관성계에서 레이저 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 항상 같다.

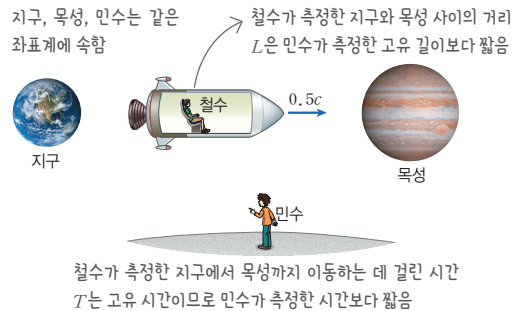
05 특수 상대성 이론의 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다.

ㄴ. 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다는 것은 상대성 원리이다.

ㄷ. 진공에서 빛의 속력은 모든 관성계에서 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 일정하다는 것은 광속 불변 원리이다.

바로알기 ㄱ. 서로 다른 관성계 사이에서 시간은 관찰자에 따라 다르게 흐른다. 다른 관성계의 시간이 관찰자의 관성계의 시간보다 천천히 흐른다.

06 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 철수는 지구가 자신의 운동 반대 방향으로 $0.5c$ 의 속력으로 멀어지는 것으로 관측한다.

ㄴ. 민수가 측정한 지구와 목성 사이의 거리는 고유 길이이므로 다른 관성 좌표계의 철수가 측정한 L 보다 크다.

바로알기 ㄷ. 민수가 측정한 우주선이 지구에서 목성까지 가는 데 걸린 시간은 고유 시간 T 보다 길다.

07 ㄱ. 철수는 자신의 운동 방향과 반대 방향으로 영희가 속력 v 로 운동하는 것으로 관측한다. 철수는 자신이 정지해 있는지 등속도 운동을 하는지 구별할 수 없다.

바로알기 ㄴ. 모든 관성계에서 빛의 속력은 동일하게 관측된다. 따라서 철수와 영희가 관측한 빛의 속력은 같다.

ㄷ. 철수의 좌표계에서 관찰할 때 영희가 왼쪽으로 운동하므로 처음 광원 위치에 대해 A는 멀어지고 B는 가까워진다. 따라서 철수는 광원에서 발생한 빛이 A보다 B에 먼저 도달하는 것으로 관측한다.

08 ㄴ. 속력은 B가 A보다 크고, B가 A의 앞에서 운동하므로 A와 B 사이의 거리는 점점 멀어진다. 관성계에 따라 멀어지는 정도는 다를 수 있어도, 멀어지는 사실 자체는 어느 관성계에서나 똑같이 관찰된다.

바로알기 ㄱ. 관찰자의 관성계에서 A와 B는 길이 수축이 일어나는데, 속력이 큰 B가 A보다 많이 수축된다. 관찰자가 측정했을 때 길이 수축이 일어난 두 우주선의 길이가 서로 같으므로 고유 길이는 B가 A보다 크다.

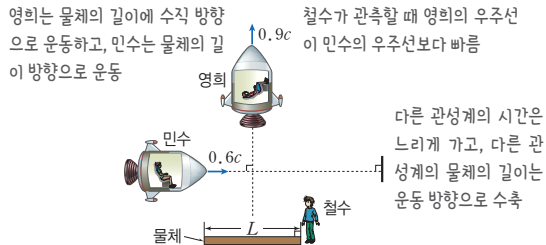
ㄷ. 관찰자의 관성계에서 A와 B는 서로 같은 방향으로 운동하고 있으므로 B의 속력은 관찰자의 관성계에서 A의 관성계에서보다 크다. 속력이 클수록 길이가 더 많이 수축되므로 B의 길이는 관찰자의 관성계에서 A의 관성계에서보다 짧다.

09 ㄱ. 철수가 관찰한 A에서 B까지의 거리는 영희가 관측한 고유 길이보다 짧다.

ㄷ. A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간은 철수가 측정한 값이 고유 시간이므로 다른 관성계의 영희가 측정한 시간보다 짧다.

바로알기 ㄴ. 철수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이므로 다른 관성계의 영희가 측정한 우주선의 길이가 더 짧다.

10 품공 문제 분석



ㄱ. 영희는 물체의 길이에 수직으로 운동하므로 길이 수축을 관측할 수 없다. 따라서 영희가 측정한 물체의 길이는 고유 길이와 같은 L 이다.

ㄷ. 상대 속도가 빠를수록 시간 지연이 크게 일어나므로 철수가 측정할 때 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

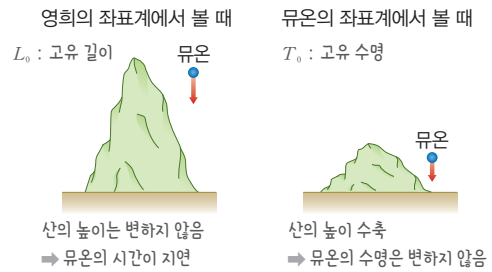
바로알기 ㄴ. 물체의 길이 방향과 나란하게 운동하는 민수가 측정한 물체의 길이는 고유 길이인 L 보다 짧다.

11 B: 고유 시간은 동일한 위치에서 일어난 두 사건 사이의 시간 간격을 말한다. 검출기에 빛이 도달하는 사건은 항상 같은 위치에서 일어나므로 검출기에 빛이 도달하는 시간 간격은 고유 시간이다.

C: 광원과 검출기 사이의 거리는 정지 상태에 있는 두 물체 사이의 거리이므로 고유 길이이다.

바로알기 A: 빛이 광원에서 방출된 사건과 검출기에 도달한 사건은 서로 다른 위치에서 일어난 사건이므로 이 두 사건 사이의 시간 간격은 고유 시간이 아니다.

12 품공 문제 분석



ㄱ. 영희의 좌표계에서 본 뮤온의 수명 T 는 시간 지연에 의해 고유 수명 T_0 보다 길다. 따라서 $T > T_0$ 이다.

바로알기 ㄴ. 영희와 산은 같은 좌표계에 속하므로 영희가 관측한 산의 높이 L_0 이 고유 길이이다. 뮤온의 좌표계에서 관측한 산의 높이 L 은 길이 수축에 의해 수축되어 보이므로 $L < L_0$ 이다.

ㄷ. 뮤온이 지면에 도달하였으므로 뮤온의 속력에 뮤온의 고유 수명을 곱한 값은 뮤온이 관측한 산의 높이와 같다. 따라서 $0.99c \times T_0 = L$ 이 된다.

13 ㄴ. 상대적으로 움직이고 있는 두 관성 좌표계가 있을 때 서로 상대방의 운동 방향으로의 길이가 수축되어 보인다. 따라서 우주 정거장에서 본 우주선 A의 길이는 고유 길이인 L_0 보다 짧게 관측된다.

ㄷ. 우주 정거장에서 관측했을 때 빠르게 움직이는 우주선 A, B의 질량은 증가한다. 속력이 빠를수록 질량이 커지므로 속력이 A보다 빠른 B의 질량이 A의 질량보다 크게 관측된다.

바로알기 ㄱ. 우주선 A와 B는 속도가 다르므로 서로 다른 관성 좌표계이다. 따라서 A에서 관측한 B의 길이는 고유 길이인 L_0 보다 짧다.

14 ㄱ. 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵과 중성자가 되므로 ⑦은 전하를 띠지 않는 중성자이다.

ㄴ. 발생하는 에너지는 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어들게 되는 질량 결손에 의한 것이다.

바로알기 ㄷ. 핵발전은 우라늄 원자핵이 핵분열할 때 발생하는 에너지를 이용한다.

15 특수 상대성 이론에 의한 현상으로는 시간 지연, 길이 수축 등이 있다.

모범 답안 시간 지연은 정지한 관찰자가 빠르게 운동하는 관찰자를 보면 상대방의 시간이 느리게 가는 것이고, 길이 수축은 한 관성계의 관찰자가 상대적으로 운동하는 물체를 보면 길이가 수축되어 보이는 것이다.

채점 기준	배점
두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

16 특수 상대성 이론에 따르면 정지한 철수가 우주선과 함께 운동하는 영희를 관찰했을 때 운동하는 영희의 시간이 느리게 간다. 영희가 볼 때 물체는 빠르게 뒤쪽으로 운동하므로 물체의 길이는 고유 길이보다 짧다.

모범 답안 영희가 측정한 물체의 길이는 L_0 보다 짧고, 철수가 측정할 때 영희의 시간이 철수보다 느리게 간다.

채점 기준	배점
두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

17 뮤온과 함께 움직이는 좌표계에서는 산의 높이가 낮아진다. 지표면의 정지 좌표계에서는 뮤온의 수명이 길어진다.

모범 답안 (가)에서는 산의 높이가 낮아지고, (나)에서는 뮤온의 수명이 길어진다.

채점 기준	배점
두 가지를 모두 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %

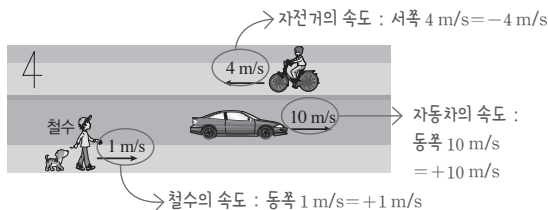
수능 실전 문제

143~145쪽

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

01 꼼꼼 문제 분석

동쪽을 (+)방향으로 하면, 서쪽은 (-)방향이 된다.



선택지 분석

- ㄱ 철수가 본 자동차의 속도는 동쪽으로 9 m/s 이다.
- ✗ 자전거에서 본 자동차의 속도는 동쪽으로 6 m/s 이다. 14 m/s
- ✗ 자동차에서 보면 걸어가는 철수가 자전거보다 빠르게 보인다. 느리게

전략적 풀이 ① 방향의 부호를 정하고, 상대 속도 식을 이용하여 상대 속도를 계산한다.

ㄱ. 상대 속도는 상대방의 속도에서 관찰자의 속도를 뺀 값이다. 동쪽을 (+)방향으로 하면 철수가 관찰한 자동차의 속도 = 자동차의 속도 - 철수의 속도 = $10 \text{ m/s} - 1 \text{ m/s} = 9 \text{ m/s}$ 가 된다.

ㄴ. 동쪽을 (+)방향으로 하면 자전거에서 관찰한 자동차의 속도 = 자동차의 속도 - 자전거의 속도 = $10 \text{ m/s} - (-4 \text{ m/s}) = 14 \text{ m/s}$ 이므로 동쪽으로 14 m/s 가 된다.

② 상대 속도의 크기를 비교해서 빠르게 보이는 것을 찾는다.

ㄷ. 자동차에서 관찰한 철수의 상대 속도 = 철수의 속도 - 자동차의 속도 = $1 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s} = -9 \text{ m/s}$ 이다.

자동차에서 관찰한 자전거의 상대 속도 = 자전거의 속도 - 자동차의 속도 = $-4 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s} = -14 \text{ m/s}$ 이다.

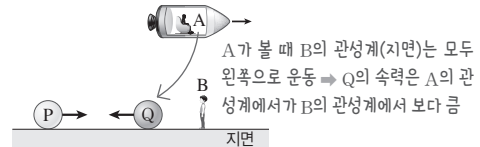
따라서 상대 속도의 크기는 자동차에서 본 자전거의 경우가 더 크므로 자동차에서 볼 때 더 빠르게 보이는 것은 자전거이다.

02 꼼꼼 문제 분석

상대성 원리: 물리 법칙은 모든 관성계에서 동일하게 성립

⇒ 측정되는 물리량 자체는 다를 수 있음

⇒ 운동량 보존 법칙은 성립하지만 운동량의 합은 다르게 측정됨



선택지 분석

- ㄱ 충돌 전 Q의 질량은 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.
- ㄴ A의 관성계에서 충돌 전후 두 물체의 운동량의 합이 보존된다.
- ✗ 두 물체의 운동량의 합은 A의 관성계에서 측정한 값과 B의 관성계에서 측정한 값이 서로 같다. 다르다.

전략적 풀이 ① 각 관성계에서 관찰한 물체의 속력을 파악한다.

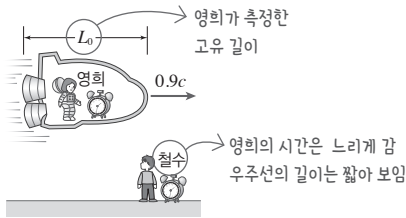
ㄱ. A는 자신이 정지해 있고, B의 관성계(즉, 지면과 그 위의 모든 물체)가 왼쪽으로 운동하는 것으로 관측하므로 Q의 속력은 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다. 운동하는 물체의 질량은 속력이 클수록 크게 측정되므로 충돌 전 Q의 질량은 A의 관성계에서 B의 관성계에서보다 크다.

② 상대성 원리를 이해한다.

ㄴ. 상대성 원리에 따르면 모든 관성계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다. B의 관성계에서 두 물체의 충돌 상황은 운동량 보존 법칙이 성립하는 상황이므로 A의 관성계에서도 똑같이 운동량 보존 법칙이 성립한다. 따라서 A의 관성계에서 충돌 전후 두 물체의 운동량의 합이 보존된다.

ㄷ. 관성계 사이의 상대 속도에 따라 측정되는 물리량은 다를 수 있고, A와 B의 관성계는 상대적으로 운동하므로 각 관성계에서 측정한 두 물체의 운동량의 합은 서로 다르다.

03 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 철수가 관측한 영희가 탄 우주선의 길이는 L_0 보다 짧다.
- ㉡ 철수는 영희의 시간이 자신의 시간보다 빠르게 가는 것으로 관측한다. 느리게
- ㉢ 영희가 우주선의 운동 방향으로 보낸 빛의 속력을 철수가 관측하면 c 보다 빠르다. c 이다.

전략적 풀이 ① 길이 수축 현상을 이해하고 우주선의 길이를 고유 길이와 비교한다.

ㄱ. 특수 상대성 이론의 길이 수축 현상에 의해 정지한 철수가 움직이는 우주선 길이를 관측하면 고유 길이 L_0 보다 짧아 보인다.

② 시간 지연 현상을 이해하고 상대방의 시간을 비교한다.

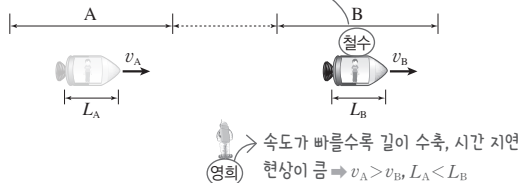
ㄴ. 특수 상대성 이론의 시간 지연 현상에 의해 정지한 철수가 움직이는 영희를 보면, 영희의 시간이 자신의 시간보다 느리게 가는 것으로 관측한다.

③ 광속 불변 원리를 파악하고 빛의 속력을 비교한다.

ㄷ. 특수 상대성 이론의 광속 불변 원리에 의하면 빛의 속력은 일정하다. 따라서 관성계에 있는 영희와 철수가 관측하는 빛의 속력은 모두 c 로 같다.

04 꼼꼼 문제 분석

철수가 본 영희의 상대 속도는 A에서 B에서보다 큼
 $\Rightarrow$ 속도가 빠를수록 영희의 시간이 더 느리게 감



선택지 분석

- ㉠ $v_A > v_B$ 이다.
- ㉡ $L_A < L_B$ 이다.
- ㉢ 철수가 측정할 때, 영희의 시간은 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 느리게 간다.

전략적 풀이 ① 시간 지연과 길이 수축 현상을 파악하고, 시간과 길이를 비교한다.

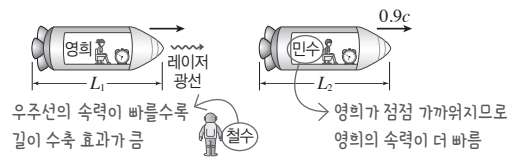
ㄱ. 영희가 측정할 때 속도가 빠를수록 시간이 느리게 가므로 $v_A > v_B$ 이다.

ㄴ. 영희가 측정할 때 속도가 빠를수록 길이가 많이 수축되므로 $L_A < L_B$ 이다.

② 철수가 본 영희의 상대 속도를 비교한다.

ㄷ. 철수가 본 영희의 상대 속도는 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 빠르다. 따라서 철수가 측정할 때 영희의 시간은 상대 속도가 더 빠른 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 느리게 간다.

05 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 민수가 측정할 레이저 광선의 속력은 영희가 측정할 레이저 광선의 속력보다 빠르다. c 같다.
- ㉡ 철수가 측정할 때 $L_1 = L_2$ 이다. $L_1 < L_2$
- ㉢ 철수가 측정할 때 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

전략적 풀이 ① 광속 불변 원리를 파악하고 빛의 속력을 비교한다.

ㄱ. 특수 상대성 이론의 광속 불변 원리에 의해 다른 관성계에 있는 민수와 영희가 측정할 레이저 광선의 속력은 똑같이 c 이다.

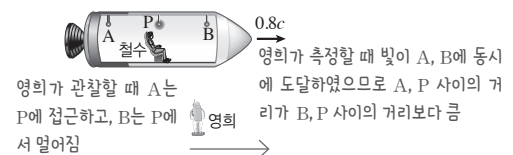
② 철수가 볼 때 영희와 민수의 상대 속도를 비교한다.

ㄴ. 철수가 우주선의 길이를 측정할 때 우주선의 속력이 빠를수록 길이가 더 수축되므로 $L_1 < L_2$ 이다.

③ 영희와 민수의 속력을 비교하고 속력이 빠를수록 시간이 느리게 간다는 것을 파악한다.

ㄷ. 민수가 볼 때 영희가 점점 자신에게 가까워지고 있으므로 영희의 속력은 민수의 속력 $0.9c$ 보다 빠르다. 속력이 빠를수록 시간이 더 느리게 가므로, 철수가 측정할 때 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

06 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 영희가 측정할 때, 철수의 시간은 영희의 시간보다 느리게 간다.
- ㉡ 철수가 측정할 때 P에서 발생한 빛은 A보다 B에 먼저 도달한다.
- ✗ 영희가 측정할 때, P에서 A까지의 거리는 P에서 B까지의 거리와 같다. **보다 크다.**

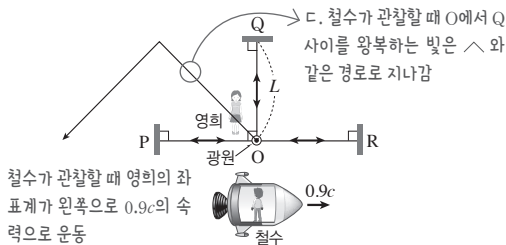
전략적 풀이 ① 시간 지연 현상을 파악하고, 시간을 비교한다.

㉠ 서로 다른 관성계 사이에서 서로 상대방의 시간이 느리게 가는 것으로 관측된다. 따라서 영희가 측정할 때, 철수의 시간은 영희의 시간보다 느리게 간다.

② 철수와 영희가 관찰할 때 빛이 도달한 시간을 비교한다.

㉡, ㉢ 영희가 측정할 때 오른쪽으로 운동하는 우주선의 P에서 발생한 빛이 A와 B에 동시에 도달하는 것은 A와 P 사이의 거리가 B와 P 사이의 거리보다 크기 때문이다. 따라서 철수가 측정할 때 P에서 발생한 빛은 A보다 B에 먼저 도달한다.

07 고품 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ P와 R 사이의 거리는 $2L$ 보다 짧다.
- ✗ O에서 P와 R를 향해 동시에 출발한 빛은 R보다 P에 먼저 도달한다. **P보다 R**
- ✗ O와 Q 사이를 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 $\frac{2L}{c}$ 이다. **$\frac{2L}{c}$ 보다 크다.**

전략적 풀이 ① 철수가 측정할 때 고유 길이를 파악한다.

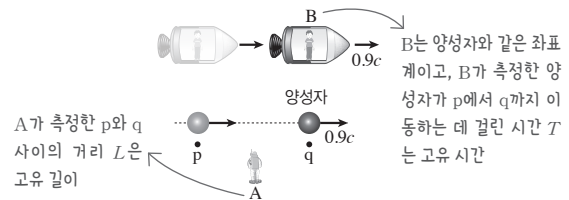
㉠ 철수가 측정할 때, P와 R 사이의 거리는 고유 길이인 $2L$ 보다 짧다.

② 철수가 측정할 때 빛의 경로와 걸린 시간을 파악하고 비교한다.

㉡ 철수가 측정할 때, P는 광원에서 멀어지고 R은 광원에 접근하므로 O에서 동시에 출발한 빛은 P보다 R에 먼저 도달한다.

㉢ 철수가 측정할 때 O와 Q 사이를 한 번 왕복하는 빛의 경로는 $2L$ 보다 길다. 따라서 왕복하는 데 걸린 시간은 영희가 측정한 고유 시간인 $\frac{2L}{c}$ 보다 크다.

08 고품 문제 분석



선택지 분석

- ✗ $L = 0.9cT$ 이다. **>**
- ㉠ A가 측정한 p에서 q까지 양성자가 이동하는 데 걸린 시간은 T 보다 크다.
- ㉡ B가 측정한 양성자의 에너지는 A가 측정한 양성자의 에너지보다 작다.

전략적 풀이 ① A와 양성자가 측정한 고유 시간과 고유 길이를 파악하고, 시간 지연과 길이 수축 현상을 파악한다.

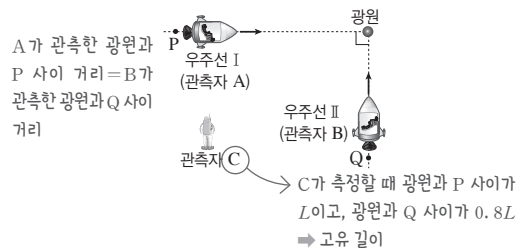
㉠ A가 측정한 양성자가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 T' 이라고 하면 $T' > T$ 이다. 따라서 고유 길이는 $L = 0.9cT'$ 이고 $L > 0.9cT$ 이다.

㉡ 양성자와 다른 좌표계에 있는 A가 측정한 p에서 q까지 양성자가 이동하는 데 걸린 시간은 고유 시간인 T 보다 크다.

② 속도가 클수록 에너지가 커진다는 것을 파악한다.

㉢ B가 측정한 양성자의 속도는 0이므로 B가 측정한 양성자의 에너지는 정지 질량에 의한 에너지이다. 반면 A가 측정한 양성자의 속도는 $0.9c$ 이므로 A가 측정한 양성자의 에너지는 정지 에너지보다 크다. 따라서 B가 측정한 양성자의 에너지는 A가 측정한 양성자의 에너지보다 작다.

09 고품 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 광원에서 나온 빛의 속력은 세 관측자 A, B, C에게 똑같이 측정된다.
- ㉡ A가 측정할 때, 광원과 P 사이의 거리는 L 보다 짧다.
- ✗ C가 측정할 때, A의 시간은 B의 시간보다 빠르게 간다. **느리게**

전략적 풀이 ① 광속 불변 원리를 파악하고, 빛의 속력을 비교한다.

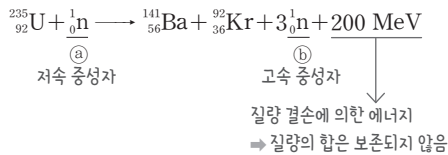
ㄱ. 빛의 속력은 모든 관성계에서 동일하게 관측되므로 세 관측자에게 똑같이 측정된다.

② 고유 길이를 비교하고, 길이 수축 현상과 시간 지연 현상을 파악한다.

ㄴ. 운동하는 A가 측정할 때, 광원과 P 사이의 거리는 고유 길이인 L 보다 짧다.

ㄷ. 고유 길이가 L 인 P와 광원 사이의 거리를 A가 측정한 거리와 고유 길이가 $0.8L$ 인 Q와 광원 사이의 거리를 B가 측정한 거리가 같다는 것은 B보다 A에게 길이 수축이 크게 일어난 것이다. 속력이 빠를수록 길이 수축이 크게 일어나므로 B의 속력보다 A의 속력이 더 빠르다. 따라서 C가 측정할 때, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

10 품공 문제 분석



선택지 분석

- ✗. 우라늄(${}_{92}^{235}\text{U}$) 원자핵의 질량만큼에 해당하는 에너지가 발생한다. 질량 결손에 해당하는 만큼
- ✗. (a)의 속도는 (b)의 속도보다 빠르다. 느리다.
- . 핵분열 후 입자들의 질량의 합은 핵분열 전보다 줄어든다.

전략적 풀이 ① 질량 에너지 동등성을 파악하고 핵반응 후 질량의 합이 보존되지 않는다는 것을 파악한다.

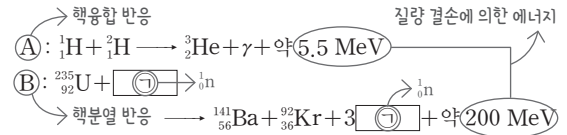
ㄱ. 핵반응 후 줄어든 질량의 합에 해당하는 만큼의 에너지가 발생한다.

ㄷ. 핵분열 반응에서 방출되는 에너지 200 MeV의 근원은 질량 결손에 의한 것이다. 따라서 핵분열 후 입자들의 질량의 합은 핵분열 전보다 줄어든다.

② 핵분열 과정을 이해하고, 그 과정에서 흡수하고 방출하는 중성자의 속도를 비교한다.

ㄴ. ${}_{92}^{235}\text{U}$ 는 속도가 느린 중성자를 잘 흡수하여 2개의 다른 원자핵으로 분열하면서 2개~3개의 고속 중성자를 발생시키므로, 핵분열이 연쇄적으로 일어나게 하려면 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 가 핵분열한 후 방출되는 고속 중성자의 속도를 느리게 하는 감속제를 사용해야 한다. 따라서 (a)의 속도는 (b)의 속도보다 느리다.

11 품공 문제 분석



선택지 분석

- ✗. A에서는 질량 결손이 일어나지 않는다. 일어난다.
- . B는 원자력 발전소에서 일어나는 반응이다.
- ✗. ㉠에 해당하는 입자는 헬륨(${}_2^4\text{He}$)이다. 중성자(${}_0^1\text{n}$)

전략적 풀이 ① 핵융합과 핵분열 과정을 반응식을 보고 구분하고, 그 과정에서 반응하는 입자를 유추해 낸다.

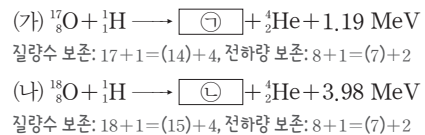
ㄴ. A는 가벼운 원자핵이 반응하여 더 무거운 원자핵으로 변하는 핵융합 반응으로 태양에서 일어나며, B는 입자의 충돌로 불안정해진 원자핵이 2개 이상의 가벼운 원자핵으로 변하는 핵분열 반응으로 원자력 발전소에서 일어난다.

ㄷ. ㉠에 해당하는 입자는 중성자(${}_0^1\text{n}$)이다.

② 핵반응 과정에서 질량 결손에 의한 에너지 발생을 파악한다.

ㄱ. A의 핵융합과 B의 핵분열에서 모두 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어드는 질량 결손이 일어난다.

12 품공 문제 분석



선택지 분석

- ✗. 질량수는 ㉠이 ㉡보다 크다. 작다.
- ✗. ㉠과 ㉡의 중성자수는 서로 같다. 다르다.
- . 질량 결손은 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

전략적 풀이 ① 핵반응식을 완성한다.

ㄱ. 질량수 보존과 전하량 보존을 적용하면 ㉠은 ${}_{7}^{14}\text{N}$ 이고 ㉡은 ${}_{7}^{15}\text{N}$ 이다. 따라서 ㉠의 질량수는 14이고 ㉡의 질량수는 15이므로 질량수는 ㉠이 ㉡보다 1만큼 작다.

② 질량수, 양성자수, 중성자수 사이의 관계를 이해한다.

ㄴ. '질량수=양성자수+중성자수'이고, 원자 번호는 양성자수와 같다. ${}_{7}^{14}\text{N}$ 의 질량수는 14, 양성자수는 7이므로 중성자수는 7이고, ${}_{7}^{15}\text{N}$ 의 질량수는 15, 양성자수는 7이므로 중성자수는 8이다.

③ 질량 에너지 동등성을 이해한다.

ㄷ. 질량 에너지 동등성에 따라 핵반응 과정에서 방출되는 에너지는 질량 결손에 비례한다. 방출되는 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작으므로 질량 결손도 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

물질과 전자기장

1 물질의 전기적 특성

1 원자와 전기력

개념 확인 문제

150쪽

- ① 전자 ② 알파 입자 ③ (+) ④ Ze ⑤ 원자핵
 ⑥ 척력 ⑦ 인력 ⑧ 비례 ⑨ 반비례 ⑩ 인력

- 1 (1) ① (2) ⑤ (3) ④ 2 ① (-), ④ 전자 3 원자핵
 4 (1) ① (2) × (3) × 5 $9F$ 6 (1) ① (2) × (3) ×

1 (1) 톰슨 원자 모형은 (+)전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포하고 있다.

(2) 러더퍼드 원자 모형은 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동을 한다.

(3) 보어 원자 모형은 전자가 원자핵을 중심으로 특정한 궤도에서 원운동을 한다.

2 톰슨의 음극선 실험을 통해 음극선은 $\ominus(-)$ 전하를 띤 입자의 흐름이라는 것이 밝혀졌다. 이 입자를 $\ominus$ 전자라고 한다.

3 러더퍼드는 알파(α) 입자 산란 실험을 해석하여 원자의 중심에 원자핵이 존재하며, 원자는 원자핵을 제외하면 거의 비어 있다는 것을 알아내었다.

4 (1) 알파 입자 산란 실험에서 알파 입자는 대부분 직진한다. 이는 원자 내부 공간이 대부분 비어 있다는 것을 의미한다.

(2) 원자 질량의 대부분은 원자핵의 질량이다.

(3) 알파 입자는 (+)전하를 띤 원자핵도 (+)전하를 띤므로 알파 입자가 원자핵에 접근하면 전기적인 척력이 작용한다.

5 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 거리가 $\frac{1}{3}$ 배가 되면 전기력의 크기는 9배가 된다. 따라서 (나)에서 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $9F$ 이다.

6 (1) 원자핵은 (+)전하를 띤고, 전자는 (-)전하를 띤므로 원자핵과 전자 사이에는 전기적인 인력이 작용한다.

(2) 전자는 전기력에 의해서 원자에 속박되어 있다. 중력은 전기력에 비해 매우 작으므로 무시할 수 있다.

(3) 전자는 원자핵에 가까울수록 에너지가 작아져 안정하다.

대표 자료 분석

151~152쪽

자료 ① 1 (1) 러더퍼드 (2) (+) (3) 척력 2 알파 입자(헬륨 원자핵) 3 (1) ① (2) ① (3) × (4) ① (5) ×

자료 ② 1 (1) $-x$ (2) $+x$ (3) $-x$ 2 $7F$ 3 $16:9$
 4 (1) ① (2) × (3) ① (4) ①

자료 ③ 1 (1) 다르다 (2) 크다 (3) (-) (4) 당기는 2
 $F_{AC} > F_{BC}$ 3 (1) ① (2) ① (3) × (4) ①

자료 ④ 1 ① 전기력(인력), ④ 속박, ⑤ 3 2
 $F_A > F_B > F_C$ 3 (1) × (2) ① (3) × (4) × (5) ①

1-1 (1) (가)는 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 돌고 있으므로 러더퍼드 원자 모형이다. (나)는 톰슨 원자 모형이다.

(2) (-)전하를 띤 전자가 원운동을 할 수 있는 까닭은 (+)전하를 띤 원자핵이 전기적 인력을 작용하기 때문이다.

(3) 전자는 (-)전하를 띤다. 전자들끼리와 같이 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기적인 척력이 작용한다.

1-2 러더퍼드 원자 모형의 원자핵은 알파 입자(헬륨 원자핵)를 사용한 알파 입자 산란 실험을 통해 제안되었다.

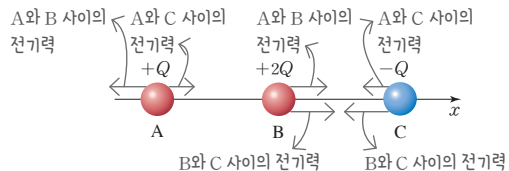
1-3 (1), (2) (가)에서 전자는 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동을 하며, 원자핵을 제외하면 원자 대부분의 공간은 비어 있다.

(3) (가)에서 전자의 질량은 원자핵의 질량에 비하여 무시할 수 있을 정도로 작다.

(4) (나)에서 전자는 음극선 실험을 통해 (-)전하를 띤 입자라는 것을 알아내었다.

(5) (나)에서 원자 내부는 (+)전하를 띤 물질로 가득 차 있다.

2-1 품공 문제 분석



(1) A와 B는 전하의 종류가 같으므로 서로 미는 전기력(척력)이 작용한다. 따라서 B가 A에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

(2) A와 C는 전하의 종류가 다르므로 서로 당기는 전기력(인력)이 작용한다. 따라서 C가 A에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

(3) 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하고, 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 B가 A에 작용하는 전기력의 크기가 C가 A에 작용하는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 방향은 B가 A에 작용하는 전기력의 방향과 같은 $-x$ 방향이다.

2-2 A와 C 사이의 거리를 $2r$ 라고 하면 A와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기 $F = k \frac{Q^2}{(2r)^2}$ 이고, A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $k \frac{2Q^2}{r^2} = 8k \frac{Q^2}{(2r)^2} = 8F$ 이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기는 $8F - F = 7F$ 이다.

2-3 A와 B 사이의 거리는 B와 C 사이의 거리와 같고, A와 B의 전하량의 곱은 B와 C의 전하량의 곱과 같으므로 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기도 $8F$ 이다. A와 C가 B에 작용하는 전기력의 방향은 모두 $+x$ 방향이므로 B에 작용하는 전기력의 크기 $F_B = 8F + 8F = 16F$ 이다. A와 B가 C에 작용하는 전기력의 방향은 모두 $-x$ 방향이므로 C에 작용하는 전기력의 크기 $F_C = F + 8F = 9F$ 이다. 따라서 $F_B : F_C = 16 : 9$ 이다.

2-4 (1) B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이고, C에 작용하는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다. 따라서 B와 C에 작용하는 전기력의 방향은 서로 반대이다.

(2) 전하량의 곱은 A와 B가 A와 C의 2배이고, 전하 사이의 거리는 A와 C가 A와 B의 2배이다. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례하므로 A가 B에 작용하는 전기력의 크기는 A가 C에 작용하는 전기력의 크기의 8배이다.

(3) A에 작용하는 전기력의 크기가 $8F - F = 7F$ 일 때, C에 작용하는 전기력의 크기는 $F + 8F = 9F$ 이다. 따라서 A에 작용하는 전기력의 크기는 C에 작용하는 전기력의 크기보다 작다.

(4) A와 C의 위치를 서로 바꾸면 B는 A와 C로부터 모두 $-x$ 방향으로 전기력을 받으므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 반대가 된다.

3-1 (1) B와 C의 전하의 종류가 같으면 B와 C가 A에 작용하는 전기력의 방향이 같으므로 A에 작용하는 전기력이 0이 될 수 없다. 따라서 B와 C의 전하의 종류는 서로 다르다.

(2) C가 B보다 A로부터 멀리 떨어져 있으므로 A에 작용하는 전기력이 0이 되기 위해서 전하량의 크기는 C가 B보다 커야 한다.

(3) 만약 B가 (+)전하이면 C는 (-)전하이므로 B에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이 된다. 따라서 B는 (-)전하이므로, C는 (+)전하이므로.

(4) A는 (+)전하이므로 B는 (-)전하이므로 A와 B 사이에는 서로 당기는 전기력(인력)이 작용한다.

3-2 A와 B 사이에 작용하는 전기력의 크기를 F_{AB} 라고 하면 A에 작용하는 전기력은 0이므로 $F_{AB} = F_{AC}$ 이다. B에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 $F_{AB} > F_{BC}$ 이다. 따라서 $F_{AC} > F_{BC}$ 이다.

3-3 (1) A와 C 모두 (+)전하이므로 A와 C 사이에는 서로 미는 전기력(척력)이 작용한다.

(2) B는 (-)전하이므로 C는 (+)전하이므로 B와 C 사이에는 서로 당기는 전기력(인력)이 작용한다.

(3) B에 작용하는 전기력의 방향이 $-x$ 방향이므로 A가 B를 당기는 전기력의 크기가 C가 B를 당기는 전기력의 크기보다 크다. A와 B 사이의 거리와 B와 C 사이의 거리는 같으므로 전하량의 크기는 A가 C보다 크다.

(4) A와 C 사이에 작용하는 전기력이 B와 C 사이에 작용하는 전기력의 크기보다 크므로 A가 C를 미는 전기력이 B가 C를 당기는 전기력의 크기보다 크다. 따라서 C에 작용하는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다.

4-1 원자핵 주위에서 각각 원운동을 하고 있는 전자 A, B, C는 원자핵으로부터 ㉠전기력(인력)이 작용하여 원자에 ㉡속박되어 있다. 이 원자는 전기적으로 중성이고, (-)전하를 띤 전자가 3개 있으므로 원자핵에는 (+)전하를 띤 양성자도 ㉢3개 들어 있다.

4-2 전자가 받는 전기력의 크기는 원자핵으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. 원자핵으로부터의 거리가 $A < B < C$ 이므로 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 $F_A > F_B > F_C$ 이다.

4-3 (1) 전자에 작용하는 전기력의 방향이 계속 바뀌므로 전자의 가속도는 방향이 일정하지 않다. 따라서 전자는 등가속도 운동을 하지 않는다.

(2) 양성자 1개의 전하량은 전자 1개의 전하량(기본 전하량)과 같다. 원자가 중성이므로 원자핵의 전하량은 양성자 3개의 전하량과 같다. 따라서 원자핵의 전하량은 A의 전하량의 3배이다.

(3) 전자의 역학적 에너지는 원자핵으로부터 멀수록 크다. B가 A보다 원자핵으로부터 멀리 있으므로 전자의 역학적 에너지는 B가 A보다 크다.

(4) B, C에 각각 작용하는 전기력의 크기는 A에 작용하는 전기력의 크기보다 작으므로 A, B, C에 작용하는 전기력의 크기의 합은 A에 작용하는 전기력의 크기의 3배보다 작다.

(5) 원자핵으로부터 멀어질수록 전자의 역학적 에너지는 커진다. 원자핵으로부터 무한히 먼 곳에 있는 전자의 역학적 에너지를 0이라고 하면 원자핵에 속박된 전자의 역학적 에너지는 0보다 작다. 따라서 A, B, C의 역학적 에너지는 0보다 작다.

- 01 ④ 02 ③ 03 ③ 04 ② 05 ⑤ 06 ①
 07 해설 참조 08 ⑤ 09 ② 10 ③ 11 해설 참조
 12 ③ 13 ④ 14 ① 15 ④ 16 ⑤ 17 해설 참조
 18 ② 19 ① 20 ⑤

01 (가)는 보어 원자 모형이고, (나)는 톰슨 원자 모형, (다)는 러더퍼드 원자 모형이다. 따라서 원자 모형이 제안된 순서는 (나) → (다) → (가) 순이다.

02 ㄱ. 세 가지 원자 모형에서 전자는 모두 (-)전하를 띠는 입자로 설명한다.

ㄷ. 원자는 (+)전하의 전하량과 (-)전하의 전하량이 같으므로 전기적으로 중성이다.

바로알기 ㄴ. (가), (다)는 원자 중심에 (+)전하를 띠는 원자핵이 존재하는 것으로 설명하지만 (나)에서는 (+)전하인 원자의 바다로 설명하므로 원자핵의 개념이 없다.

03 ① 전자는 톰슨이 음극선 실험을 통해 발견하였다.

② 전자의 질량은 원자핵보다 작다.

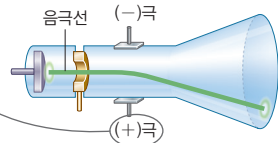
④ 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있다.

⑤ 전자는 (-)전하를 띠므로 전하를 띠는 다른 입자에 의해 전기력을 받는다.

바로알기 ③ 전자는 원자핵과 함께 원자를 구성하는 입자로, 원자핵 속에 들어 있지 않다. 원자핵은 양성자와 중성자로 구성되어 있다.

04 품목 문제 분석

음극선이 (+)극 쪽으로 휘어지므로 (+)전하와 서로 당기는 전기력이 작용한다.
 → 음극선은 (-)전하를 띤다.



ㄴ. 음극선은 전자의 흐름으로 전기장에 의해 전기력을 받고, 자기장에 의해 자기력을 받는다.

바로알기 ㄱ, ㄷ. 음극선은 (-)전하를 띠는 입자의 흐름으로, 음극선이 전기력을 받아 (+)극 쪽으로 휘어진다.

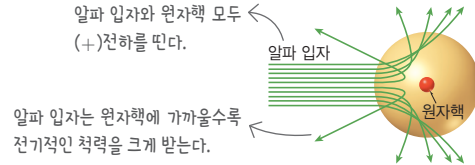
05 ①, ② (+)전하를 띠는 소수의 알파 입자가 큰 각도로 휘어지거나 거의 정반대 방향으로 되돌아 나오므로, (+)전하를 띠는 입자(원자핵)가 원자의 중심에 존재한다는 것을 알 수 있다.

③ 대부분의 알파 입자는 산란되지 않고 직진한다. 따라서 원자 내부 공간은 원자핵을 제외하면 대부분 비어 있다는 것을 알 수 있다.

④ 알파 입자가 대부분 직진하므로 전자의 질량이 매우 작다는 것을 알 수 있다. 원자핵의 질량은 전자에 비해 매우 크므로 원자핵의 지름이 원자의 지름에 비해 매우 작지만 원자의 질량은 대부분 원자핵의 질량이다.

바로알기 ⑤ 알파 입자 산란 실험으로 원자핵과 전자의 전하량을 비교할 수는 없다.

06 품목 문제 분석



ㄱ. 알파 입자는 금 원자핵에 가까게 입사할수록 전기적인 척력을 크게 받아 산란각이 커진다.

바로알기 ㄴ. 알파 입자와 원자핵이 서로 밀어내어 알파 입자가 산란된다. 따라서 알파 입자와 원자핵은 전하의 종류가 같다. 알파 입자는 헬륨 원자핵이고, 원자핵은 양성자에 의해 모두 (+)전하를 띤다.

ㄷ. 알파 입자가 원자핵과 충돌할 때, 알파 입자가 산란되므로 알파 입자는 금 원자핵에 비해 질량이 작다.

07 알파 입자는 전자에 비해 매우 무겁기 때문에 전자와 충돌해도 운동 경로가 변하지 않으며, 원자 내부 공간이 거의 비어 있기 때문에 원자에 입사된 대부분의 알파 입자는 직진한다.

모범 답안 (1) 전자의 질량이 알파 입자에 비해 매우 작기 때문이다.

(2) 원자핵을 제외하면 원자 내부의 공간이 거의 비어 있기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 전자의 질량이 알파 입자와 비교하여 매우 작다고 서술한 경우	50 %
전자의 질량이 작다고만 서술한 경우	20 %
(2) 원자 내부 공간이 거의 비어 있다고 서술한 경우	50 %
원자핵이 매우 작다고 서술한 경우	20 %

08 ㄱ. 원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있다. 전자는 톰슨의 음극선 실험을 통해 발견되었고, 원자핵은 러더퍼드의 알파(α) 입자 산란 실험을 통해 발견되었다.

ㄴ. 양성자와 전자는 전하량의 크기가 같고 전하의 종류가 다르다. 따라서 전기적으로 중성인 원자는 양성자와 전자의 수가 같다.

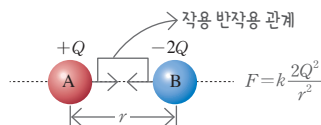
ㄷ. 원자는 양성자에 의해 (+)전하를 띠는 원자핵과 (-)전하를 띠는 전자 사이에 작용하는 서로 당기는 전기력으로 구조가 유지된다.

09 ㄷ. 전자가 원자핵 주위의 특정한 궤도에서 원운동을 하는 것은 보어 원자 모형이다.

바로알기 ㄱ. 톰슨은 음극선 실험을 통해 전자의 존재를 알아내었다. 원자핵의 존재는 러더퍼드가 발견하였다.

ㄴ. 러더퍼드 원자 모형은 알파(α) 입자 산란 실험을 해석하여 정립되었다. 따라서 A는 알파(α) 입자 산란 실험이다.

10 고품 문제 분석



ㄱ. A, B는 전하의 종류가 서로 다르므로 서로 당기는 전기력(인력)이 작용한다.

ㄷ. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 A, B 사이의 거리가 멀어지면 전기력의 크기는 작아진다.

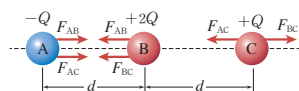
바로알기 ㄴ. 작용 반작용 법칙에 따라 A, B가 주고받는 전기력은 크기가 서로 같고 방향이 반대이다.

11 쿨롱 법칙에 따라 $F = k \frac{3Q^2}{r^2}$ 이다. A, B를 접촉시키면 전체 전하량은 $+2Q$ 가 되므로 A, B를 떼면 A, B 각각의 전하량은 $+Q$ 이다. A, B 사이의 거리가 $2r$ 가 되었을 때 전기력의 크기는 $k \frac{Q^2}{(2r)^2} = \frac{F}{12}$ 가 된다.

모범 답안 A의 전하량: $+Q$, B의 전하량: $+Q$, 전기력의 크기: $\frac{1}{12}F$

채점 기준	배점
세 가지를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
세 가지 중 두 가지만 옳게 쓴 경우	50 %
세 가지 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	20 %

12 고품 문제 분석



A와 B 사이의 전기력의 크기를 F_{AB} , A와 C 사이의 전기력의 크기를 F_{AC} , B와 C 사이의 전기력의 크기를 F_{BC} 라고 하고, 점 전하 사이의 간격을 d 라고 하면 F_A, F_B, F_C 는 다음과 같다.

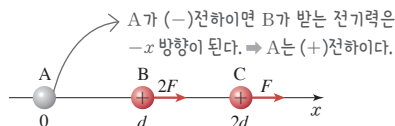
$$F_A = |F_{AB} + F_{AC}| = \frac{2kQ^2}{d^2} + \frac{kQ^2}{4d^2} = \frac{9kQ^2}{4d^2},$$

$$F_B = |F_{AB} + F_{BC}| = \frac{2kQ^2}{d^2} + \frac{2kQ^2}{d^2} = \frac{4kQ^2}{d^2},$$

$$F_C = |F_{BC} - F_{AC}| = \frac{2kQ^2}{d^2} - \frac{kQ^2}{4d^2} = \frac{7kQ^2}{4d^2}$$

따라서 $F_B > F_A > F_C$ 이다.

13 고품 문제 분석



ㄴ. $+x$ 방향을 $(+)$ 라고 하고, A의 전하량을 Q , B, C의 전하량을 q 라고 하면 B가 받는 전기력의 크기는 $\frac{kQq}{d^2} - \frac{kq^2}{d^2}$ 이고,

C가 받는 전기력의 크기는 $\frac{kQq}{4d^2} + \frac{kq^2}{d^2}$ 이다. B가 받는 전기력의 크기가 C의 2배이므로 $\frac{kQq}{d^2} - \frac{kq^2}{d^2} = 2\left(\frac{kQq}{4d^2} + \frac{kq^2}{d^2}\right)$ 이다. 따라서 $Q = 6q$ 이므로 A의 전하량은 B의 6배이다.

ㄷ. C가 받는 전기력의 크기 $F = \frac{6kq^2}{4d^2} + \frac{kq^2}{d^2} = \frac{5kq^2}{2d^2}$ 이고, A가 받는 전기력의 크기는 $\frac{6kq^2}{d^2} + \frac{6kq^2}{4d^2} = \frac{15kq^2}{2d^2}$ 이다. 따라서 A가 받는 전기력의 크기는 $3F$ 이다.

바로알기 ㄱ. C가 B에 작용하는 전기력은 $-x$ 방향이고, A가 $(-)$ 전하이면 A가 B에 작용하는 전기력도 $-x$ 방향이므로 B에 작용하는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이 될 수 없다. 따라서 A는 $(+)$ 전하이다.

14 ㄱ. B는 A로부터 밀어내는 전기력을 받아 $+x$ 방향으로 움직이므로 B는 A와 같이 $(+)$ 전하를 띈다.

바로알기 ㄴ. B가 받는 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기도 거리의 제곱에 반비례하므로 B는 가속도의 크기가 점점 감소하는 가속도 운동을 한다.

ㄷ. A, B의 전하량을 q, Q 라고 하면 p점에서 B에 작용하는 전기력은 $k \frac{qQ}{(2d)^2}$ 이고, q점에서 B에 작용하는 전기력은 $k \frac{qQ}{(3d)^2}$ 이다. 따라서 B가 받는 전기력의 크기는 p점에서의 q점에서의 $\frac{9}{4}$ 배이다.

15 ㄱ. $(-)$ 전하로 대전된 A가 B에 의해 밀어내는 전기력(척력)을 받아 회전하므로 B는 A와 같이 $(-)$ 전하를 띈다.

ㄷ. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리의 제곱에 반비례하므로 거리를 2배로 하면 전기력은 $\frac{1}{4}$ 배가 되고, 회전각도 $\frac{1}{4}$ 배가 된다. 따라서 A, B 사이의 거리를 2 cm로 하면 저울의 눈금이 $16 \times \frac{1}{4} = 4$ 를 가리킨다.

바로알기 ㄴ. 전기력의 크기는 두 전하량의 곱에 비례하므로 B의 전하량을 2배로 하면 전기력이 2배가 되어 회전각도 2배가 된다. 따라서 저울의 눈금이 32를 가리킨다.

16 ㄱ. 전기적으로 중성인 원자는 양성자와 전자의 수가 같다. 따라서 전자가 2개 있으므로 원자핵 내부에 양성자도 2개 들어 있다.

ㄴ. 원자핵은 (+)전하를 띠고, 전자는 (-)전하를 띠므로 원자핵과 전자는 전하의 종류가 다르다. 따라서 원자핵과 전자 A, B 사이에는 전기적인 인력이 작용한다.

ㄷ. 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례하므로 원자핵에 가까운 전자일수록 전기력을 크게 받는다. 따라서 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 A가 B보다 크다.

17 **모범 답안** 원자핵과 전자 사이에 작용하는 중력의 크기는 전기력의 크기에 비해 매우 작기 때문이다.

채점 기준	배점
중력의 크기를 전기력의 크기와 비교하여 매우 작다고 서술한 경우	100 %
중력의 크기가 매우 작다고만 서술한 경우	70 %

18 ㄷ. 원자핵으로부터 멀어질수록 전자의 역학적 에너지가 커지므로 원자핵으로부터 벗어나기가 쉽다.

바로알기 ㄱ. 전자의 전하량은 고유한 값으로, 기본 전하량이라고 한다. 따라서 원자핵으로부터의 거리와 관계없이 일정하다.

ㄴ. 쿨롱 법칙에 따라 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 원자핵으로부터 멀어질수록 전자가 받는 전기력의 크기는 작아진다.

19 ㄱ. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다. 대전체로부터의 거리는 (가)에서와 (나)에서가 같고, 대전체의 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다. 따라서 전자가 받는 전기력의 크기도 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

바로알기 ㄴ. 대전체를 제거하면 전자에 작용하는 힘이 없으므로 전자는 등속 직선 운동을 한다.

ㄷ. 전자에 작용하는 전기력이 클수록 전자를 대전체로부터 분리시키는 데 큰 에너지가 필요하다. 전자가 받는 전기력의 크기는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 전자를 대전체로부터 분리시키는 데 필요한 에너지도 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

20 ㄱ. 원자핵과 전자 사이에 서로 당기는 인력이 작용할 때, 원자핵의 질량이 전자의 질량보다 크기 때문에 전자가 원자핵 주위에서 원운동을 한다.

ㄴ. A는 전기력이고, B는 중력이다. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다. 중력의 크기는 질량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다. 따라서 A, B 모두 힘의 크기가 거리의 제곱에 반비례한다.

ㄷ. 작용 반작용 법칙에 따라 (가)에서 전자가 원자핵을 당기는 전기력의 크기는 원자핵이 전자를 당기는 전기력 A의 크기와 같다.

실력 UP 문제

157쪽

01 ④

02 ①

03 ②

04 ③

01 ㄴ. 음극선이 자석의 N극과 S극 사이에서 휘어지는 것은 자석이 만드는 자기장에 의해 음극선이 자기력을 받기 때문이다. ㄷ. 음극선은 전자의 흐름이고, 전자는 원자를 구성하는 입자이다. 따라서 음극선은 원자를 구성하는 입자의 흐름이다.

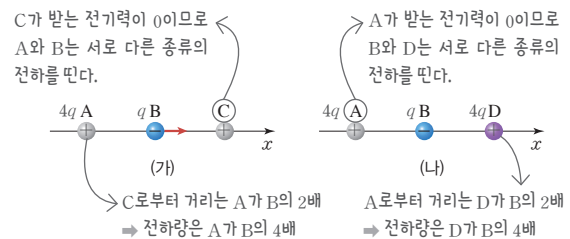
바로알기 ㄱ. 음극선은 전자의 흐름이고 전자는 (-)전하를 띤다. 따라서 음극선은 (+)극으로부터 전기적인 인력을 받고, (-)극으로부터 전기적인 척력을 받아 휘어지므로 a는 (-)극이고 b는 (+)극이다.

02 ㄱ. 원자 내부는 거의 비어 있으므로 알파(α) 입자 산란 실험에서 대부분의 알파(α) 입자는 직진한다. 따라서 알파(α) 입자가 가장 많이 도달하는 곳은 B이다.

바로알기 ㄴ. 알파(α) 입자는 헬륨 원자핵으로 (+)전하를 띤다. 원자핵도 (+)전하를 띠므로 알파(α) 입자와 원자핵 사이에는 전기적인 척력이 작용한다.

ㄷ. 알파(α) 입자가 산란되는 까닭은 알파(α) 입자와 원자핵 사이에 작용하는 전기적인 척력 때문이다. 알파(α) 입자의 질량은 전자보다 매우 크기 때문에 알파(α) 입자가 전자와 충돌하더라도 진행 경로에 영향을 받지 않는다.

03 품공 문제 분석

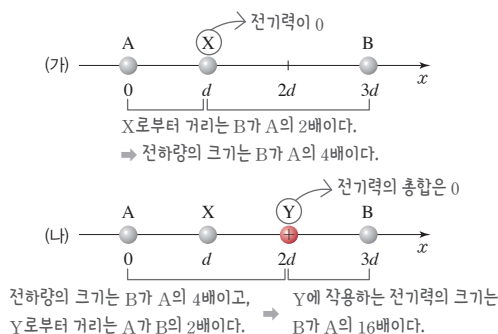


ㄴ. (가)에서 B가 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A가 B를 당기는 전기력보다 C가 B를 당기는 전기력이 더 크다. 따라서 전하량은 C가 A보다 크다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 A가 B에 당기는 전기력을 작용할 때 B가 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 C는 B에 당기는 전기력을 작용해야 한다. 따라서 C는 (+)전하를 띤다. (나)에서 B는 A에 당기는 전기력을 작용하므로 D는 A에 밀어내는 전기력을 작용해야 한다. 따라서 D는 (-)전하를 띤다. C와 D 모두 (+)전하를 띠므로 C와 D는 같은 종류의 전하를 띤다.

ㄷ. A와 D는 (+)전하를 띠고, A와 D의 전하량은 B의 4배로 같다. A와 D의 전하량은 같고, (나)에서 B로부터 거리도 같으므로 B가 받는 전기력은 0이다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (가)에서 X가 정지해 있으므로 A, B가 X에 작용하는 전기력은 크기가 서로 같고, 방향이 반대이다. 따라서 전하의 종류는 A와 B가 서로 같다. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다. X로부터의 거리는 B가 A의 2배이므로 전하량은 B가 A의 4배이다.

ㄴ. (나)에서 Y로부터의 거리는 A가 B의 2배이고, 전하량의 크기는 B가 A의 4배이므로 Y에 작용하는 전기력의 크기는 B가 A의 16배이다. Y가 정지해 있으므로 X가 Y에 작용하는 전기력의 방향은 A가 Y에 작용하는 전기력의 방향과 같다. 따라서 A와 X는 서로 같은 종류의 전하이다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 A가 Y에 작용하는 전기력의 크기를 F 라고 하면, B가 Y에 작용하는 전기력의 크기는 $16F$ 이므로 X가 Y에 작용하는 전기력의 크기는 $16F - F = 15F$ 이다. Y로부터의 거리는 A가 X의 2배이므로 전하량은 X가 A의 $\frac{15}{4}$ 배이다.

원자의 스펙트럼

개념 확인 문제

161쪽

- ① 연속 ② 방출 ③ 흡수 ④ 양자화 ⑤ 에너지 준위 ⑥ 전이 ⑦ 에너지 준위 ⑧ 진동수 ⑨ 라이먼 ⑩ 발머

- 1 (가) 연속 스펙트럼, (나) 방출 스펙트럼, (다) 흡수 스펙트럼 2 ① 안정성, ② 선 스펙트럼 3 (1) ○ (2) ○ (3) × 4 (1) ① 흡수, ② 방출, ③ 흡수 (2) $E_1 = E_2 < E_3$ 5 $\frac{E_1}{4}$, $\frac{E_1}{9}$ 6 (1) 커진다 (2) ① 3, ② 2

1 (가)는 백색광이 프리즘을 통과했을 때 나타나는 연속 스펙트럼이고, (나)는 고온의 기체에서 방출되는 방출 스펙트럼이다. (다)는 백색광이 저온의 기체를 통과했을 때 나타나는 흡수 스펙트럼이다.

2 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동을 하는 러더퍼드 원자 모형은 전자가 원자핵 주위에서 안정하게 존재해야 한다는 원자의 ①안정성을 설명하지 못한다. 또한 전자가 원자핵으로 끌려 들어가면 반지름이 점차 감소하면서 연속 스펙트럼이 관찰되는 빛을 방출해야 하므로 실제 기체에서 관찰되는 ②선 스펙트럼을 설명하지 못한다.

3 (1) 보어 원자 모형에서 전자는 특정한 궤도에서만 원운동을 하며 전자의 에너지는 양자화되어 있다. 따라서 전자의 에너지는 불연속적이다.
(2) 전자는 양자수 n 에 따라 불연속적인 에너지 값을 가지며, 양자수 n 이 클수록 전자의 에너지도 크다.
(3) 전자는 불연속적인 두 궤도의 에너지 준위 차이에 해당하는 에너지만 흡수할 수 있고, 정해진 궤도에서만 존재할 수 있다. 따라서 정해진 궤도와 궤도 사이에는 존재할 수 없다.

4 (1) 전자는 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이할 때 에너지를 방출하고, 양자수가 작은 궤도에서 큰 궤도로 전이할 때 에너지를 흡수한다. 따라서 ①, ③에서는 에너지를 흡수하고, ②에서는 에너지를 방출한다.
(2) 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다. ①, ③은 $n=1$ 과 $n=2$ 사이에서 일어나는 전이이므로 이때 흡수하거나 방출하는 에너지는 같다. 즉 $E_1 = E_2$ 이다. ②에서는 $n=1$ 에서 $n=3$ 으로 전자가 전이하면서 에너지를 흡수하므로 E_3 은 E_1 과 E_2 보다 크다. 따라서 광자의 에너지는 $E_1 = E_2 < E_3$ 이다.

5 수소 원자의 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 따라서 $E_1 = -13.6$ eV이고, $E_2 = \frac{E_1}{4}$, $E_3 = \frac{E_1}{9}$ 이다.

6 (1) 빛의 파장이 짧을수록 진동수가 크고, 에너지가 크다. 빨간색에서 파란색으로 갈수록 파장이 짧아지고, 진동수는 커진다.
(2) 가시광선 영역은 발머 계열이다. 발머 계열에서 파장이 가장 긴 빨간색은 에너지 준위 차이가 가장 작을 때, 즉 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된다.

자료 1 1 (1) A (2) C (3) B 2 (1) 흡수 (2) 불연속적이다
(3) A 3 수소 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

자료 2 1 $E_1 < E_2 < E_3$ 2 ㉠ $E_3 - E_2$, ㉡ $E_3 - E_1$,
㉢ $E_2 - E_1$ 3 ㉠ $\frac{E_3 - E_2}{h}$, ㉡ $\frac{E_3 - E_1}{h}$,
㉢ $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ×

자료 3 1 (1) 커질수록 (2) 크다 (3) 작다 (4) 길다 2 $n=4$
에서 $n=2$ 로 전이할 때, $n=3$ 에서 $n=1$ 로 전이할
때 3 $\frac{E_4 - E_2}{h}$ 4 (1) ○ (2) × (3) ○

자료 4 1 (1) 발머 계열 (2) 라이먼 계열 (3) 파셴 계열 2
 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때 3 $n=3$ 에서 $n=2$
로 전이할 때 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○

1-1 (1) 백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼은 연속 스펙트럼으로 빛의 파가 모든 파장에서 연속적으로 나타난 A이다.

(2) 수소 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼은 방출 스펙트럼이므로 검은 바탕에 특정한 파장에 해당하는 선만 밝게 나타난 C이다.

(3) 저온 기체관을 통과한 백열등 빛의 스펙트럼은 흡수 스펙트럼이므로 연속 스펙트럼에 특정한 파장에 해당하는 선만 검게 나타난 B이다.

1-2 (1) B는 특정한 파장의 빛이 흡수되어 연속 스펙트럼에 검은 선으로 나타나므로 흡수 스펙트럼이다.

(2) 수소 원자의 방출 스펙트럼이 특정한 파장에 해당하는 선만 밝게 나타나는 것은 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이라는 것을 의미한다.

(3) 햇빛은 백색광이므로 햇빛의 스펙트럼은 A(연속 스펙트럼)이다.

1-3 기체의 흡수 스펙트럼에서 검은 선은 동일한 기체의 방출 스펙트럼에서 밝은 선과 같은 위치에 나타난다. B의 검은 선과 C의 밝은 선의 위치가 같으므로 저온 기체관에는 수소가 들어 있다.

1-4 (1) A에서 빨간색 쪽으로 갈수록 빛의 파장이 길다.

(2) A에서 빨간색 쪽으로 갈수록 빛의 진동수가 작다.

(3) 기체의 종류에 따라 스펙트럼의 선의 위치가 다르므로 흡수 스펙트럼에서 선의 위치를 알면 기체의 종류를 알 수 있다.

(4) 방출 스펙트럼에서 선의 위치는 기체의 종류에 따라 고유하게 정해져 있으므로 기체의 종류가 달라지면 선의 위치가 달라진다.

2-1 보어 원자 모형에서 양자수에 따른 전자의 에너지는 양자수가 커질수록 커진다. 따라서 $E_1 < E_2 < E_3$ 이다.

2-2 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다. 따라서 ㉠에서 흡수하는 광자의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이고, ㉡, ㉢에서 방출하는 광자의 에너지는 각각 $E_3 - E_1$, $E_2 - E_1$ 이다.

2-3 광자의 에너지가 E 인 빛의 진동수 $f = \frac{E}{h}$ 이므로 ㉠에서 흡수하는 빛의 진동수는 $\frac{E_3 - E_2}{h}$ 이고, ㉡, ㉢에서 방출하는 빛의 진동수는 각각 $\frac{E_3 - E_1}{h}$, $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 이다.

2-4 (1) ㉠에서는 전자가 양자수가 작은 궤도에서 양자수가 큰 궤도로 전이하므로 에너지를 흡수하고, ㉢에서는 전자가 양자수가 큰 궤도에서 양자수가 작은 궤도로 전이하므로 에너지를 방출한다.

(2) 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때 전자의 에너지 준위가 가장 낮으므로 전자가 가장 안정적인 상태이다. 이때의 전자를 바닥상태라고 한다. 들뜬상태는 바닥상태의 전자가 에너지를 흡수하여 에너지 준위가 높은 궤도로 이동한 상태를 말한다.

(3) 보어 원자 모형에서 전자의 에너지는 양자화되어 있으며, 정해진 에너지 외에 다른 에너지는 가질 수 없다. 따라서 전자는 E_1 과 E_2 사이의 에너지를 가질 수 없다.

(4) ㉠에서 흡수하는 광자의 에너지 $E_3 - E_2$ 는 ㉡에서 방출하는 광자의 에너지 $E_3 - E_1$ 보다 작다. 광자의 에너지는 빛의 파장에 반비례하므로 ㉠에서 흡수하는 빛의 파장은 ㉡에서 방출하는 빛의 파장보다 길다.

(5) ㉡에서 방출하는 광자의 에너지 $E_3 - E_1$ 은 ㉢에서 방출하는 광자의 에너지 $E_2 - E_1$ 보다 크다. 광자의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 방출하는 빛의 진동수는 ㉡에서가 ㉢에서보다 크다.

3-1 (1) 에너지 준위의 간격은 양자수가 커질수록 좁아진다.

(2) 방출되는 광자의 에너지는 전자가 전이하는 에너지 준위의 차이와 같다. 따라서 방출되는 광자의 에너지는 에너지 준위의 차이가 가장 큰 A에서 가장 크다.

(3) 에너지 준위의 차이가 작을수록 방출되는 빛의 진동수도 작다. 에너지 준위의 차이는 B에서가 C에서보다 작으므로 방출되는 빛의 진동수도 B에서가 C에서보다 작다.

(4) 에너지 준위의 차이가 작을수록 방출되는 빛의 파장은 길다. 에너지 준위의 차이는 C에서가 D에서보다 작으므로 방출되는 빛의 파장은 C에서가 D에서보다 길다.

3-2 전자가 전이하면서 광자를 방출할 수 있는 경우는 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전자가 전이하는 경우이므로 제시된 것 외에 추가로 찾으면 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때와 $n=3$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때이다.

3-3 광자의 에너지가 E 인 빛의 진동수 $f = \frac{E}{h}$ 이다. B에서 방출하는 광자의 에너지는 $E_4 - E_3$ 이므로 빛의 진동수는 $\frac{E_4 - E_3}{h}$ 이고, C에서 방출하는 광자의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이므로 빛의 진동수는 $\frac{E_3 - E_2}{h}$ 이다. 따라서 B에서 방출하는 빛의 진동수와 C에서 방출하는 빛의 진동수의 합은 $\frac{E_4 - E_3}{h} + \frac{E_3 - E_2}{h} = \frac{E_4 - E_2}{h}$ 이다.

3-4 (1) 수소 원자의 에너지 준위는 양자화되어 있으므로 불연속적이다.

(2) 수소 원자의 양자수가 n 일 때 에너지 준위 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 따라서 $E_1 = -13.6$ eV이고, $E_2 = \frac{1}{4}E_1$ 이다.

(3) A에서 방출되는 빛의 진동수는 $\frac{E_4 - E_1}{h}$ 이고, B, C, D에서 방출되는 빛의 진동수의 합은 $\frac{E_4 - E_3}{h} + \frac{E_3 - E_2}{h} + \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{E_4 - E_1}{h}$ 이므로 두 값은 같다.

4-1 라이먼 계열은 자외선 영역의 빛을 방출하고, 발머 계열은 주로 가시광선 영역의 빛을, 파셴 계열은 적외선 영역의 빛을 방출한다.

4-2 라이먼 계열은 전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 나타난다. 이때 파장이 가장 긴 경우는 에너지 준위 차이가 가장 작아야 하므로 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때이다.

4-3 발머 계열은 전자가 $n \geq 3$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 나타난다. 이때 방출된 빛의 진동수가 가장 작은 경우는 에너지 준위 차이가 가장 작아야 하므로 $n=3$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때이다.

4-4 (1) 수소 원자는 전자를 1개만 가지고 있다. 1개의 전자가 다양한 에너지 준위 사이에서 이동하면서 선 스펙트럼에서 다양한 파장의 선이 생긴다.

(2) 빛의 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 진동수는 라이먼 계열이 발머 계열보다 크다.

(3) 그림에서 라이먼 계열 중 파장이 가장 긴 경우는 발머 계열 중 파장이 가장 짧은 경우보다 파장이 짧다.

(4) 파셴 계열 중 파장이 가장 짧은 경우는 발머 계열 중 파장이 가장 긴 경우보다 파장이 길다. 따라서 파셴 계열 중 진동수가 가장 큰 경우는 발머 계열 중 진동수가 가장 작은 경우보다 진동수가 작다.

내신 안정 문제

164~166쪽

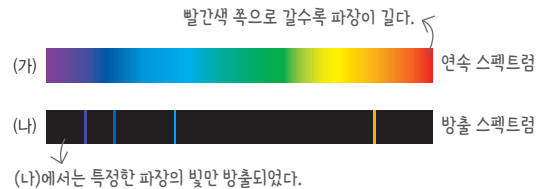
01 ⑤ 02 ② 03 ① 04 ④ 05 ④ 06 ⑤ 07 해
설 참조 08 ① 09 ② 10 해설 참조 11 ⑤ 12 해설
참조 13 ③ 14 ② 15 27 : 20

01 ㄱ. A는 백열등에서 나온 빛이므로 프리즘을 통과하면 연속 스펙트럼이 나타난다.

ㄴ. B는 백열등에서 나온 빛이 저온의 기체 X를 통과한 빛이므로 기체 X의 흡수 스펙트럼이 나타난다.

ㄷ. 같은 기체의 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 선의 위치는 같다. X가 고온일 때와 저온일 때 기체의 종류는 변하지 않으므로 X의 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 선의 위치가 같다.

02 품공 문제 분석



ㄷ. (나)의 스펙트럼은 선 스펙트럼이므로 선의 위치를 분석하면 광원의 구성 원소를 알 수 있다.

바로알기 ㄱ. 가시광선 영역의 연속 스펙트럼에서는 빨간색 쪽으로 갈수록 빛의 파장이 길다. (가)에서 오른쪽 끝이 빨간색이므로 오른쪽으로 갈수록 파장이 길다.

ㄴ. (나)는 검은 바탕에 특정한 파장의 빛만 밝은 선으로 보이므로 선 스펙트럼 중 방출 스펙트럼이다.

03 ② 헬륨 기체에서 방출된 빛의 스펙트럼은 연속적이지 않고 불연속적인 선 스펙트럼이다. 선 스펙트럼이 나타나는 까닭은 헬륨 원자에서 전자의 에너지 준위가 양자화되어 있기 때문이다.

③ 빛의 진동수는 파장에 반비례하므로 진동수가 클수록 파장은 짧다. 따라서 진동수가 가장 큰 빛은 파장이 가장 짧은 438 nm인 빛이다.

④ 광자의 에너지는 빛의 파장에 반비례하므로 광자의 에너지는 파장이 667 nm인 빛이 504 nm인 빛보다 작다.

⑤ 헬륨 기체가 고온일 때 방출하는 빛과 저온일 때 흡수하는 빛의 파장은 같다. 따라서 방출 스펙트럼에서 밝게 보이는 선과 흡수 스펙트럼에서 검은 선의 위치는 동일하게 나타난다.

바로알기 ① 기체에서 방출된 빛의 파장이 불연속적인 기체의 선 스펙트럼으로 나타나는 것은 러더퍼드 원자 모형으로는 설명할 수 없고, 보어 원자 모형으로 설명할 수 있다.

04 전자가 가속도 운동을 할 때 전자기파를 방출하므로 전자가 원운동을 할 때도 전자기파를 방출한다. 원자핵 주위의 임의의 궤도에서 전자가 원운동을 하면 전자기파를 방출하며 전자의 궤도가 점점 작아지게 되므로 러더퍼드 원자 모형에서 원운동을 하는 전자의 궤도는 연속적이다. 또한, 전자의 궤도가 계속 감소하다가 전자가 원자핵에 붙어 버리게 된다. 따라서 러더퍼드 원자 모형은 원자의 안정성과 원자에서 방출되는 빛의 파장이 불연속적인 선 스펙트럼을 설명할 수 없다.

05 ①, ③ 보어 원자 모형에서 전자의 궤도와 에너지 준위는 양자화되어 있다. 따라서 전자는 원자핵을 중심으로 특정한 궤도에서만 원운동을 한다.

② 전자가 특정한 궤도에서 원운동을 할 때는 전자기파를 방출하지 않고 안정한 상태로 존재한다.

⑤ 전자의 에너지 준위가 양자화되어 있으므로 에너지 준위의 차이도 양자화되어 있다. 따라서 전자가 전이할 때 방출하거나 흡수하는 광자의 에너지는 불연속적으로 나타난다.

바로알기 ④ 전자가 원자핵에 가까울수록 전자의 에너지가 작다. 따라서 전자는 원자핵에 가까울수록 안정하다.

06 ㄱ. 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크다. 따라서 $E_1 < E_2 < E_3$ 이다.

ㄴ. 전자의 양자수 $n=1$ 일 때 전자가 바닥상태에 있다고 한다. 양자수가 작을수록 에너지가 작으므로 전자가 안정하다. 따라서 전자가 바닥상태일 때 전자가 가장 안정하다.

ㄷ. 전자가 전이할 때 흡수하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다. 따라서 에너지가 $E_2 - E_1$ 인 광자를 $n=1$ 인 궤도에 있던 전자가 흡수하면 전자는 $n=2$ 인 궤도로 전이한다.

07 광자의 에너지 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이고, 전자가 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다.

모범 답안 방출하는 광자의 에너지 $E = \frac{hc}{\lambda} = E_3 - E_2$ 이므로 방출하는 빛의 파장 $\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_2}$ 이다.

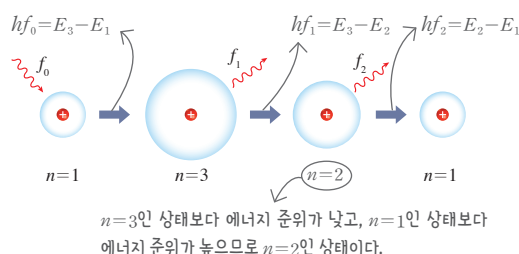
채점 기준	배점
빛의 파장을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
빛의 파장만 옳게 쓴 경우	50 %

08 ㄱ. (가)에서 전자는 정확히 두 궤도의 에너지 준위 차이인 $13.6 \text{ eV} - 3.40 \text{ eV} = 10.2 \text{ eV}$ 의 에너지를 갖는 광자를 흡수한다. 따라서 전자는 $n=2$ 인 상태로 전이한다.

바로알기 ㄴ. 전자의 에너지가 $-13.6 \text{ eV} + 5.6 \text{ eV} = -8.0 \text{ eV}$ 인 궤도는 존재하지 않는다. 따라서 전자는 5.6 eV 의 에너지를 갖는 광자를 흡수하여 다른 궤도로 전이할 수 없다.

ㄷ. 광자의 에너지가 클수록 빛의 진동수가 크다. 따라서 (가)에서 입사한 빛의 진동수는 (나)에서보다 크다.

09 공문 문제 분석



ㄴ. $hf_0 = E_3 - E_1 = E_3 - E_2 + E_2 - E_1 = hf_1 + hf_2$ 이므로 $hf_0 = hf_1 + hf_2$ 이다. 따라서 $f_0 = f_1 + f_2$ 이다.

바로알기 ㄱ. $f_1 = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 이고, $f_2 = \frac{E_2 - E_1}{h}$ 이다. 에너지 준위의 차이는 양자수가 커질수록 작아지므로 $E_3 - E_2 < E_2 - E_1$ 이다. 따라서 $f_1 < f_2$ 이다.

ㄷ. 진동수가 f_1 인 광자의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이므로 $E_2 - E_1$ 보다 작다. 전자가 전이할 때는 두 궤도의 에너지 준위 차이와 같은 에너지의 광자만 흡수하여 다른 궤도로 전이할 수 있으므로 전자가 바닥상태에 있는($n=1$ 인 궤도에 있는) 수소 원자는 진동수가 f_1 인 빛을 흡수할 수 없다.

10 $n=1, n=2, n=3$ 인 궤도에서 에너지 준위를 각각 E_1, E_2, E_3 이라고 하면, $E_A = E_2 - E_1, E_B = E_3 - E_2$ 이다. 따라서 $n=3$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 $E_3 - E_1 = (E_2 - E_1) + (E_3 - E_2) = E_A + E_B$ 이다.

모범 답안 (1) $E_A + E_B$

(2) 두 궤도의 에너지 차이보다 작으므로 전자는 전이하지 못한다.

채점 기준	배점
(1) 방출하는 광자의 에너지를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) 두 궤도의 에너지 차이와 비교하여 전자가 전이하지 못한다고 서술한 경우	50 %
전자가 전이하지 못한다고만 서술한 경우	30 %

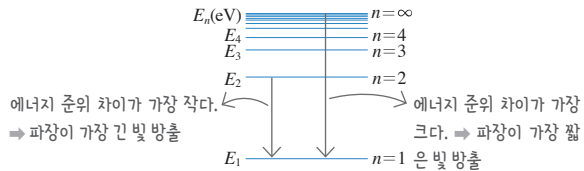
11 ①, ② 라이먼 계열은 자외선 영역, 발머 계열은 가시광선 영역, 파셴 계열은 적외선 영역에 해당하는 빛을 방출하며, 빛의 파장은 자외선이 가시광선보다 짧다.

③ 라이먼 계열은 $n \geq 2$ 에서 $n=1$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된다. 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때가 바닥상태이고, $n \geq 2$ 인 궤도에 있을 때가 들뜬상태이므로 라이먼 계열은 전자가 들뜬 상태에서 바닥상태로 전이할 때 방출된다.

④ 발머 계열은 $n \geq 3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로, 파셴 계열은 $n \geq 4$ 에서 $n=3$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된다.

바로알기 ⑤ 발머 계열에서 가장 짧은 파장의 빛은 광자의 에너지가 가장 크므로 전이할 때의 에너지 준위 차이가 가장 커야 한다. 따라서 $n=\infty$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛이다. $n=3$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때는 에너지 준위 차이가 가장 작으므로 파장이 가장 긴 빛이 방출된다.

12 품공 문제 분석



라이먼 계열에서 파장이 가장 긴 빛은 전자가 $n=2$ 에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출되고, 파장이 가장 짧은 빛은 $n=\infty$ 에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.

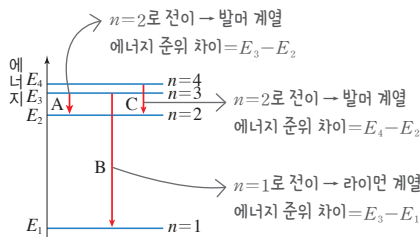
또한 $\lambda = \frac{hc}{|E_n - E_m|}$ 이고, $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 이므로 $E_\infty = 0$ 이다.

모범 답안 $\lambda_1 = \frac{hc}{|E_2 - E_1|} = \frac{4hc}{3E_1}$, $\lambda_2 = \frac{hc}{|E_\infty - E_1|} = \frac{hc}{E_1}$ 이므로

$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{|E_\infty - E_1|}{|E_2 - E_1|} = \frac{4}{3}$ 이다.

채점 기준	배점
파장의 비를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
파장의 비만 옳게 쓴 경우	50 %

13 품공 문제 분석

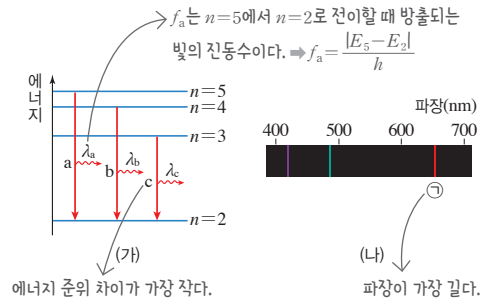


ㄱ. A~C 중 파장이 가장 긴 빛이 방출되는 전이는 에너지 준위 차이가 가장 작은 A이다.

ㄴ. B는 바닥상태로 전이하므로 라이먼 계열에 해당한다. 라이먼 계열에서는 자외선 영역의 빛이 방출되므로 B에서는 자외선 영역의 빛이 방출된다.

바로알기 ㄷ. A, C는 발머 계열의 전이에 해당하므로 가시광선 영역의 빛이 방출된다. 발머 계열 중에서도 $n \geq 7$ 에서 전이되는 경우에는 자외선 영역의 빛이 방출된다.

14 품공 문제 분석



ㄷ. 전자가 전이할 때 에너지 준위 차이가 작을수록 파장이 긴 빛이 방출된다. (나)의 ㉠은 파장이 가장 긴 빛으로 에너지 준위 차이가 가장 작은 c에서 방출된 빛이다.

바로알기 ㄱ. 방출되는 빛의 파장은 에너지 준위의 차이에 반비례한다. 에너지 준위 차이는 a가 b보다 크므로 방출되는 빛의 파장은 a에서 b에서보다 짧다. 따라서 $\lambda_a < \lambda_b$ 이다.

ㄴ. 방출되는 빛의 진동수는 에너지 준위의 차이에 비례한다. f_a 는 $n=5$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수이므로 $n=5$ 에서 $n=4$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수와 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수(f_b)의 합과 같다. $n=5$ 에서 $n=4$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는 $n=3$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수(f_c)보다 작다. 따라서 $f_a = \frac{E_5 - E_2}{h}$, $f_b = \frac{E_4 - E_2}{h}$, $f_c = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 에서 $f_a - f_b = \frac{E_5 - E_4}{h} < \frac{E_3 - E_2}{h} = f_c$ 이므로 $f_a < f_b + f_c$ 이다.

15 $hf = E_n - E_m$ 에서 $f_b = \frac{E_4 - E_2}{h}$ 이고, $f_c = \frac{E_3 - E_2}{h}$ 이다. $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이므로 $f_b : f_c = |E_4 - E_2| : |E_3 - E_2| = \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right) : \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = \frac{3}{16} : \frac{5}{36} = 27 : 20$ 이다.

실력 UP 문제

167쪽

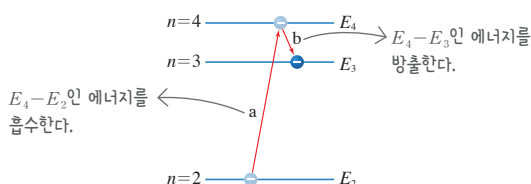
01 ⑤ 02 ① 03 ⑤ 04 ③

01 ㄱ. 전자가 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같으므로 $E_a = E_3 - E_1$ 이고, $E_b = E_3 - E_2$, $E_c = E_2 - E_1$ 이다. $E_b + E_c = E_3 - E_2 + E_2 - E_1 = E_3 - E_1$ 이므로 $E_a = E_b + E_c$ 이다.

ㄴ. 광자의 에너지 $E = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{E_3 - E_1}{hc}$, $\frac{1}{\lambda_b} = \frac{E_3 - E_2}{hc}$, $\frac{1}{\lambda_c} = \frac{E_2 - E_1}{hc}$ 이다. 따라서 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{E_3 - E_1}{hc}$
 $= \frac{E_3 - E_2 + E_2 - E_1}{hc} = \frac{E_3 - E_2}{hc} + \frac{E_2 - E_1}{hc} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$ 이므로
 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$ 이다.

ㄷ. 양자수가 n 일 때 에너지 준위 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV 이므로 $\frac{\lambda_b}{\lambda_c}$
 $= \frac{|E_2 - E_1|}{|E_3 - E_2|} = \frac{1 - \frac{1}{2^2}}{\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}} = \frac{27}{5}$ 이다. 따라서 $\lambda_b = \frac{27}{5} \lambda_c$ 이다.

02 품공 문제 분석



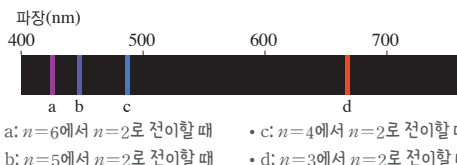
ㄴ. b에서 방출하는 빛은 $n=4$ 에서 $n=3$ 으로 전이할 때 방출하는 빛으로 파센 계열이므로 적외선 영역에 해당한다.

바로알기 ㄱ. 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이고, 전자가 전이할 때는 두 궤도의 차이와 같은 에너지의 광자만 흡수 또는 방출하여 다른 궤도로 전이할 수 있다. 따라서 진동수가 f_a 인 빛은 $n=2$ 에서 $n=4$ 로 전이할 때 흡수할 수 있으므로 $n=3$ 인 상태에 있는 전자는 진동수가 f_a 인 빛을 흡수할 수 없다.

ㄷ. $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 이므로 $f_a = \frac{|E_4 - E_2|}{h} = \frac{3|E_1|}{16h}$ 이고, $f_b = \frac{|E_4 - E_3|}{h} = \frac{7|E_1|}{144h}$ 이다. 따라서 $f_a = \frac{27|E_1|}{144h}$ 이므로 $4f_b = \frac{28|E_1|}{144h}$ 보다 작다.

03 품공 문제 분석

발머 계열은 $n \geq 3$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된다.



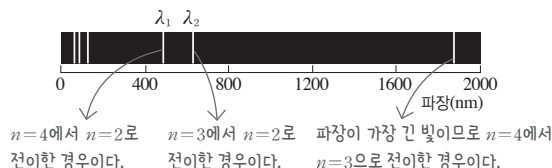
ㄱ. 광자 1개의 에너지는 빛의 파장이 짧을수록 크다. 따라서 방출된 광자 1개의 에너지는 a가 b보다 크다.

ㄴ. c는 발머 계열에서 파장이 두 번째로 긴 빛이므로 전자가 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된 빛이다.

ㄷ. $E = hf$ 이므로 빛의 진동수 차이는 광자의 에너지 차이에 비례한다. b 광자의 에너지는 $E_5 - E_2$, c 광자의 에너지는 $E_4 - E_2$ 이고, d 광자의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이다. 따라서 b와 c 광자의 에너지 차이는 $E_5 - E_4$, c와 d 광자의 에너지 차이는 $E_4 - E_3$ 이다. 양자수가 커질수록 에너지 준위 간격이 좁아지므로 $E_5 - E_4 < E_4 - E_3$ 이다. 따라서 b, c의 진동수 차이는 c, d의 진동수 차이보다 작다.

04 품공 문제 분석

스펙트럼 선이 6개이므로 가능한 경우는 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 전이하는 경우, $n=3$ 에서 $n=2$, $n=1$ 로 전이하는 경우, $n=4$ 에서 $n=3$, $n=2$, $n=1$ 로 전이하는 경우이다.



ㄱ. 전자가 전이할 때 6개의 스펙트럼 선이 나타나는 경우는 $n=2$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때, $n=3$ 에서 $n=2$, $n=1$ 인 상태로 전이할 때, $n=4$ 에서 $n=3$, $n=2$, $n=1$ 인 상태로 전이할 때이다. 따라서 바닥상태에서 전자가 파장이 λ_0 인 빛을 흡수하여 $n=4$ 인 상태로 전이해야 하므로 $N=4$ 이다.

ㄴ. λ_0 은 $n=1$ 에서 $n=4$ 인 상태로 전이할 때 흡수한 빛의 파장이므로 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 파장 λ_1 보다 짧다. 따라서 $\lambda_0 < \lambda_1$ 이다.

바로알기 ㄷ. λ_1 은 λ_2 보다 파장이 짧으므로 λ_1 은 전자가 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출한 빛의 파장이고, λ_2 는 전자가 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출한 빛의 파장이다.

3 에너지띠와 반도체

개념 확인 문제

171쪽

- ① 같다 ② 에너지띠 ③ 높은 ④ 전도띠 ⑤ 띠 간격
 ⑥ 없다 ⑦ 양공 ⑧ (+) ⑨ 넓고 ⑩ 좁다 ⑪ 전기 전도도 ⑫ 비저항

- 1 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ 2 (1) A: 전도띠, B: 띠 간격, C: 원자가 띠
 (2) B가 좁을(넓을)수록 전기 전도성이 좋다.(좋지 않다.) 3 ㉠ 띠 간격, ㉡ 전도띠, ㉢ (+) 4 (가) 도체, (나) 반도체, (다) 절연체
 5 (1) ㄱ (2) ㄴ, ㄷ (3) ㄴ 6 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$

1 (1) 에너지띠는 고체에서 나타난다. 기체는 원자 간격이 멀어서 서로 영향을 주기 어려우므로 원자들마다 동일한 에너지 준위를 갖는다.

(2) 띠 간격은 2개의 허용된 띠 사이에 해당하는 에너지 간격으로, 전자는 이 영역의 에너지를 가질 수 없다.

(3) 고체는 원자의 수가 매우 많으므로 에너지띠 내에서는 갈라진 수많은 에너지 준위가 촘촘하게 모여 있다. 따라서 에너지 준위가 거의 연속적이라고 할 수 있다.

2 (1) 허용된 띠 중 전자가 채워진 가장 높은 에너지띠 C는 원자가 띠이고, 원자가 띠 바로 위에 있는 전자가 채워지지 않은 띠 A는 전도띠이다. 에너지띠 사이의 간격 B는 띠 간격이다.

(2) 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 쉬울수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 띠 간격 B가 좁을수록 전기 전도성이 좋고, 띠 간격 B가 넓을수록 전기 전도성이 좋지 않다.

3 원자가 띠에 있던 전자가 원자가 띠와 전도띠의 에너지 준위 차이에 해당하는 γ 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 α 전도띠로 전이하면 자유 전자가 되어 고체 내에서 움직일 수 있게 된다. 전자의 전이로 인해 생긴 양공은 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있으며 전자가 빠져나간 자리이므로 $\alpha(+)$ 전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.

4 (가)는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체이고, (나)는 띠 간격이 (가)보다 넓고 (다)보다 좁으므로 반도체, (다)는 띠 간격이 가장 넓으므로 절연체이다.

5 (1) 원자가 띠가 완전히 채워지지 않아서 띠 간격이 없는 고체는 도체(γ)이다.

(2) 띠 간격이 없는 도체와 달리 원자가 띠가 완전히 채워져 있어서 띠 간격이 있는 고체는 절연체(α)와 반도체(β)이다.

(3) 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 가장 큰 고체는 절연체(α)이다.

6 (1) 전기 전도성은 물질에 전류가 얼마나 잘 흐르는지를 나타내는 성질로, 전기 전도성이 좋으면 물질에 전류가 잘 흐르고, 전기 전도성이 좋지 않으면 물질에 전류가 잘 흐르지 않는다.

(2) 비저항이 클수록 물질의 전기 저항이 커서 전류가 잘 흐르지 못하므로 전기 전도도가 작다.

(3) 자유 전자가 많은 도체는 자유 전자가 거의 없는 절연체보다 전기 전도도가 크다.

개념 확인 문제

174쪽

- ① 공유 ② 도핑 ③ 3 ④ 양공 ⑤ 5 ⑥ 전자
⑦ 순방향 ⑧ 역방향 ⑨ 순방향 ⑩ 정류 ⑪ 발광

1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 ㉠ 3, ㉡ 원자가, ㉢ 위 3 (1) (가) n형 반도체, (나) p형 반도체 (2) X: 5개, Y: 3개 4 ㉠ (+)극, ㉡ (-)극 5 (1) × (2) ○ (3) ○ 6 (1) ㉢ (2) ㉠ (3) ㉡

1 (1), (2) 고유 반도체를 이루는 원자는 원자가 전자는 4개이고, 각 원자의 가장 바깥쪽 껍질에 전자 8개가 배치되도록 이웃 원자들과 공유 결합을 한다.

(3) 고유 반도체는 실온에서 전도띠에 전자가 적어 전류가 잘 흐르지 않지만, 전자가 전혀 없는 것은 아니다. 원자가 띠에 있던 일부 전자가 열에너지에 의해 전도띠로 전이한다.

2 p형 반도체는 원자가 전자가 4개인 고유 반도체에 원자가 전자가 γ 3개인 원소를 도핑한 반도체로, 불순물에 의해 양공이 생성되어 α 원자가 띠 바로 α 위에 새로운 에너지 준위가 만들어진 것으로 볼 수 있다.

3 (1) (가)는 남은 전자가 1개 있으므로 n형 반도체이고, (나)는 양공이 있으므로 p형 반도체이다.

(2) (가)에서는 전자 4개가 공유 결합을 하고 남은 전자가 1개 있으므로 X의 원자가 전자는 5개이고, (나)에서는 3개의 전자만 공유 결합을 하여 양공이 1개 생성되므로 Y의 원자가 전자는 3개이다.

4 저항 R에 전류가 흐르기 위해서는 다이오드에 순방향 전압이 걸려야 하므로 p형 반도체에는 전원의 (+)극을, n형 반도체에는 전원의 (-)극을 연결해야 한다. 따라서 ㉠에 (+)극을, ㉡에 (-)극을 연결해야 한다.

5 (1) 순방향 바이어스는 전원의 (+)극을 p형 반도체에, 전원의 (-)극을 n형 반도체에 연결하는 것이다.

(2) 다이오드에 순방향 바이어스가 걸릴 때는 전류가 흐르고 역방향 바이어스가 걸릴 때는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 한다.

(3) 순방향 바이어스를 걸면 p형 반도체의 양공은 n형 반도체 쪽으로 이동하고 n형 반도체의 전자는 p형 반도체 쪽으로 이동하여 접합면에서 전자와 양공이 결합한다.

6 (1) p-n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.

(2) 발광 다이오드는 전류가 흐르면 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 갖는 광자가 방출된다.

(3) 광 다이오드는 빛을 받으면 전류가 흐르는 특성이 있다.

완자별
비법 특강

Q1 두꺼워진다.

Q2 전류가 흐르지 않는다.

Q1 p-n 접합 다이오드에 역방향 전압을 걸면 불순물 이온 때문에 생긴 전압과 역방향 전압의 방향이 같으므로 양공과 전자의 확산을 저지하는 전압이 더 커진다. 따라서 불순물만 남아 있는 접합면이 더 두꺼워져 전류가 흐르지 않게 된다.

Q2 p-n 접합 다이오드에 역방향 전압을 걸면 다이오드의 정류 작용으로 전류가 흐르지 않는다.

대표 자료 분석

176~177쪽

- 자료 ①** 1 (1) 불연속적 (2) 연속적 (3) 높을수록 2 파울리 배타 원리 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○
- 자료 ②** 1 (가)-(나)-(다) 2 (가) ㄷ, (나) ㄱ, (다) ㄴ 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×
- 자료 ③** 1 저마늄: 4개, 붕소: 3개 2 p형 반도체 3 Y가 X보다 좋다. 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×
- 자료 ④** 1 불이 켜지지 않는다. 2 ㉠ → 전구 → ㉡ 3 정류 작용 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

1-1 (1) (가)의 에너지 준위는 불연속적으로 양자화되어 있다.
(2) 고체에서는 인접한 원자가 매우 많으므로 갈라진 수많은 에너지 준위들이 허용된 띠 내에서 거의 연속적인 띠 형태를 이루게 된다.
(3) (가)에서 기체의 에너지 준위가 높을수록 에너지 준위 사이의 간격이 좁아지는 것과 마찬가지로 (나)에서 고체의 에너지 준위가 높을수록 띠 간격이 좁아진다.

1-2 하나의 양자 상태에 동일한 전자 2개가 있을 수 없으므로 원자가 가까이 있으면 에너지 준위가 미세하게 갈라진다. 이를 파울리 배타 원리라고 한다.

1-3 (1) 원자핵에 속박된 전자의 에너지는 전자가 원자핵으로부터 멀어질수록 크다.
(2) 에너지띠에 전자가 채워질 때는 에너지 준위가 낮은 아래에서부터 채워진다.
(3) b 영역은 에너지띠 사이의 간격인 띠 간격이다. 전자는 띠 간격에 해당하는 에너지 준위를 가질 수 없다.
(4) 에너지띠에 전자가 완전히 채워지면 전자가 이동할 자리가 없으므로 전자가 자유롭게 움직이지 못한다. 따라서 a에서 전자는 자유롭게 움직일 수 없다.

(5) 원자가 띠 바로 위의 에너지띠가 전도띠이다. 따라서 (나)에서 a까지만 전자가 완전히 채워져 있으면 원자가 띠는 a이고 전도 띠는 c이다.

2-1 띠 간격이 좁을수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 전기 전도성은 (가)가 가장 좋고, (다)가 가장 좋지 않으므로 (가)-(나)-(다) 순으로 전기 전도성이 좋다.

2-2 (가)는 전도띠와 원자가 띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체이다. (나)는 띠 간격이 좁으므로 반도체이고, (다)는 띠 간격이 넓으므로 절연체이다. 규소는 반도체(나), 수정은 절연체(다), 구리는 도체(가)에 해당한다.

2-3 (1) 원자가 띠 내에서 전자의 에너지는 에너지 준위가 위로 올라갈수록 높아진다.

(2) 에너지 준위는 전도띠가 원자가 띠보다 높으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 에너지를 흡수해야 한다.

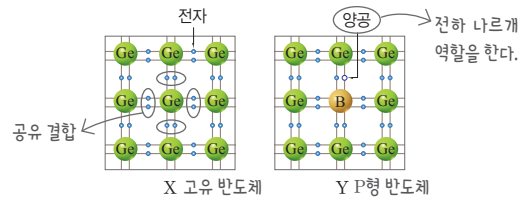
(3) (가)에서는 에너지띠에 전자가 완전히 채워지지 않았으므로 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 없다.

(4) 반도체는 온도가 높아질수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자가 많아지므로 온도가 높아질수록 (나)에서 원자가 띠에 양공이 많아진다.

(5) 전도띠는 전자가 채워져 있지 않으므로 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자는 자유롭게 움직일 수 있다. 따라서 원자가 띠에서 에너지를 얻어 전자띠로 전이된 전자를 자유 전자라고 한다.

(6) 띠 간격이 좁을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 쉽다. (나)는 (다)에 비해 띠 간격이 좁으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동하기 쉽다.

3-1 품공 문제 분석



저마늄(Ge)은 이웃한 원자와 4쌍의 공유 결합을 하므로 원자가 전자가 4개이다. 붕소(B)를 도핑했을 때 이웃한 저마늄과 공유 결합을 하지 못하여 생긴 양공이 1개 있으므로 붕소의 원자가 전자는 3개이다.

3-2 Y는 붕소가 저마늄과 공유 결합 후 생긴 양공이 주로 전류를 흐르게 하므로 p형 반도체이다.

3-3 순수한 반도체 X에 비해 불순물을 도핑한 반도체 Y가 전기 전도성이 더 좋다.

3-4 (1) 붕소는 원자가 전자가 3개인 13족 원소 중 하나이다. 저마늄은 원자가 전자가 4개인 14족 원소 중 하나이다.

(2) p형 반도체인 Y에도 전자가 원자가 띠에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이한 자유 전자가 있다.

(3) p형 반도체는 도핑에 의해 발생한 양공과 전자가 전도띠로 전이하면서 생긴 양공이 있으므로 p형 반도체에는 양공의 수가 전자의 수보다 많다. 따라서 Y는 주로 양공이 전하 나르개 역할을 한다.

(4) 붕소는 13족 원소이므로 원자가 전자가 3개일 때 전기적으로 중성이다. 붕소가 이웃한 원자로부터 전자를 얻어 양공에 전자가 채워지면 붕소는 음이온이 된다.

(5) p형 반도체에는 불순물에 의해 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 생긴다. 원자가 전자가 이 새로운 에너지 준위로 전이하면서 양공이 생긴다.

4-1 S를 a에 연결하면 p형 반도체에는 (-)극이 연결되고, n형 반도체에는 (+)극이 연결되므로 다이오드에 역방향 전압이 걸린다. 따라서 전구에는 전류가 흐르지 않으므로 불이 켜지지 않는다.

4-2 S를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 전류는 p형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 흐른다. 따라서 전류의 방향은 ㉠ → 전구 → ㉡이다.

4-3 p-n 접합 다이오드는 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는 특성이 있다. 이 특성에 의해 다이오드가 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 작용을 정류 작용이라고 하고, 교류를 직류로 바꾸는 데 이용한다.

4-4 (1) S를 a에 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르지 않는다.

(2) S를 a에 연결하면 p형 반도체에는 (-)극이 연결되고, n형 반도체에는 (+)극이 연결된다. 따라서 p형 반도체에 있는 양공은 (-)극 쪽으로 이동하고, n형 반도체에 있는 전자는 (+)극 쪽으로 이동하므로 양공과 전자가 접합면에서 서로 멀어진다.

(3) S를 a에 연결하면 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면에서 서로 멀어지므로 전류가 흐르지 않게 된다. 따라서 전원의 (-)극에서 p형 반도체에 전자가 계속 공급되지 않는다.

(4) S를 b에 연결하면 p형 반도체에는 (+)극이 연결되고, n형 반도체에는 (-)극이 연결되므로 양공과 전자가 접합면으로 이동한다. 따라서 접합면에서 전자와 양공이 계속 결합한다.

(5) 다이오드에 전류가 흐를 때 전자의 이동 방향은 전류의 이동 방향과 반대이므로 전자는 ㉡ → 전구 → ㉠ 방향으로 이동한다.

(6) S를 b에 연결하면 p형 반도체에 양공이 계속 생기므로 접합면에서 전자와 양공이 계속 결합한다. 따라서 전류가 계속 흐른다.

내신 **안정** 문제

178~182쪽

01 ③	02 ③	03 ⑤	04 ⑤	05 ④	06 ⑤
07 해설 참조	08 ②	09 ①	10 ④	11 ③	12 ④
13 ③	14 ②	15 해설 참조	16 ⑤	17 ⑤	18 해설 참조
19 ⑤	20 해설 참조	21 ③	22 ④	23 ③	24 ②

01 ㄱ. 에너지 준위는 양자수가 클수록 높으므로 a가 b보다 낮다.

ㄴ. 하나의 양자 상태에는 1개의 전자만 있을 수 있고, 전자는 에너지 준위가 낮은 곳부터 채워진다.

바로알기 ㄷ. 원자의 수가 매우 많아지면 a, b 각각의 에너지 준위가 미세하게 갈라져 연속적인 띠 형태의 에너지 준위를 이루게 된다. 그러나 a, b 사이에는 띠 간격이 있으므로 a, b 사이의 에너지 준위는 불연속적이다.

02 ㄱ. (가)는 에너지 준위가 연속적인 띠 형태의 에너지띠를 이루고 있으므로 고체의 에너지 준위이다.

ㄴ. (나)는 기체 원자의 에너지 준위로 전자가 특정한 에너지 값만 가질 수 있다. 즉 (나)의 에너지 준위는 불연속적이다.

바로알기 ㄷ. (가)의 에너지 준위가 띠 형태의 에너지띠를 이루고 있는 까닭은 수많은 원자가 매우 가깝게 있어 인접한 원자들의 전자 궤도가 겹치기 때문이다. 따라서 원자 사이의 거리는 (나)가 (가)보다 크다.

03 ⑤ 전자는 허용된 띠에서 에너지가 작은 부분부터 채워지는데 에너지가 작을수록 원자핵에 가깝다.

바로알기 ① 기체의 에너지 준위는 주위 원자의 영향을 받지 않으므로 에너지띠가 나타나지 않는다.

② 에너지띠 내에서도 전자의 에너지 준위는 위쪽으로 갈수록 높아진다.

③ 고체의 경우 수많은 에너지 준위들이 촘촘하게 갈라져 띠 형태를 이루므로 에너지띠 내에서 전자의 에너지 준위는 연속적이라고 할 수 있다.

④ 띠 간격에 해당하는 에너지 준위는 존재하지 않는다. 따라서 물질에 따라 띠 간격이 좁거나 넓을 수는 있지만 띠 간격에 전자가 존재할 수는 없다.

04 ⑤ 0 K의 온도에서 전자는 허용된 띠의 에너지 준위가 가장 낮은 부분부터 채워진다.

바로알기 ①, ③ 전도띠는 원자가 띠 바로 위의 에너지띠로 전자가 채워지지 않은 띠이다.

② 원자가 띠는 전자가 채워진 에너지띠 중 가장 위에 있는 띠이다. 양공은 원자가 띠에 채워진 전자가 전이하면 생기는 빈자리이다.

④ 전자가 완전히 채워진 원자가 띠는 전자가 옮겨갈 빈자리가 없기 때문에 전자가 자유롭게 움직일 수 없다.

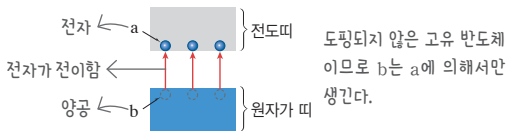
05 ①, ② 전도띠로 전이된 전자는 자유 전자로, 자유 전자는 고체 내부를 자유롭게 이동할 수 있어 전류의 원인이 된다.

③ 양공은 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이할 때 원자가 띠에 생기는 빈자리이다.

⑤ 자유 전자와 양공 모두 전하 나르개로 전류를 흐르게 하는 역할을 한다.

바로알기 ④ 양공은 주변의 전자가 채워지면서 전자의 이동 방향과 반대 방향으로 움직일 수 있다.

06 꼼꼼 문제 분석



ㄱ, ㄴ. a는 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자이고 b는 전자가 전도띠로 전이했을 때 원자가 띠에 생성되는 양공으로 a와 b의 개수는 같다.

ㄷ. 양공에 의해 전류가 흐를 때 양공은 전자의 이동 방향과 반대 방향으로 이동하므로 (+)전하와 같은 역할을 한다.

07 원자가 띠의 에너지보다 전도띠의 에너지가 더 크므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

모범 답안 전자가 외부에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

채점 기준	배점
외부에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다고 서술한 경우	100 %
에너지를 흡수해야 한다고만 서술한 경우	50 %

08 ㄷ. 띠 간격이 작을수록 전기 전도도가 크다. 전기 전도도는 C가 B보다 크므로 띠 간격은 B가 C보다 크다.

바로알기 ㄱ. A, B, C 중 A의 전기 전도도가 가장 작으므로 A는 절연체이다. 전기 전도도가 가장 큰 C는 도체이고, B는 반도체이다.

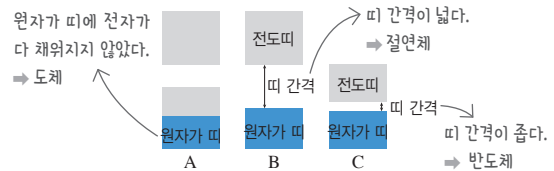
ㄴ. 비저항은 물질의 저항에 대한 비례 상수로 물질이 전류를 잘 흐르지 못하게 하는 성질을 나타낸다. 비저항은 전기 전도도의 역수와 같으므로 비저항은 전기 전도도가 가장 큰 C가 가장 작고, 전기 전도도가 가장 작은 A가 가장 크다.

09 ㄱ. 띠 간격이 좁을수록 전자가 전도띠로 전이하기 쉬우므로 전기 전도성이 좋아진다. 규소의 띠 간격이 다이아몬드보다 작으므로 규소가 다이아몬드보다 전기 전도성이 좋다.

바로알기 ㄴ. 온도가 0 K일 때는 규소의 전도띠에 전자가 존재하지 않지만, 실온에서는 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이한 전자가 존재한다.

ㄷ. 띠 간격은 전자가 가질 수 없는 에너지 영역이다. 다이아몬드의 띠 간격은 5.33 eV이므로 원자가 띠의 가장 위에 있는 전자가 3 eV의 에너지를 흡수해도 전도띠로 전이하지 못하고, 새로운 에너지 준위가 생기지도 않는다.

10 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. A는 도체이고, B는 절연체이며, C는 반도체이다. 규소는 반도체에 해당하는 물질이므로 규소는 C에 해당하는 물질이다.

ㄷ. B는 C에 비해 띠 간격이 넓으므로 B의 원자가 띠에 있는 전자는 C의 원자가 띠에 있는 전자보다 전도띠로 이동하기 어렵다.

바로알기 ㄱ. A는 도체이므로 A에는 전류가 잘 흐른다. 따라서 스위치를 A에 연결하면 전구에 불이 켜진다.

11 ㄱ. 도체의 전기 전도도는 반도체의 전기 전도도보다 크고, 전기 전도도가 클수록 전류가 잘 흐른다. 따라서 A는 도체, B는 반도체이다.

ㄴ. 반도체는 온도가 높을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 더 많이 전이할 수 있으므로 전기 전도성이 좋아진다. 따라서 B의 전기 전도성은 온도가 높을수록 좋아진다.

바로알기 ㄷ. 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 반도체가 절연체보다 좁기 때문에 반도체의 전기 전도성이 절연체보다 좋다. 따라서 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 B가 절연체보다 더 좁다.

12 ① 도핑을 하면 고유 반도체의 띠 간격 사이에 불순물에 의한 새로운 에너지 준위가 생겨서 전자의 전이가 쉽게 일어난다.

② p형 반도체는 고유 반도체에 13족 원소를 불순물로 첨가하여 양공의 수가 더 많아진다.

③, ⑤ n형 반도체는 고유 반도체에 15족 원소를 첨가하여 전도 띠에 있는 전자의 수가 더 많아진다.

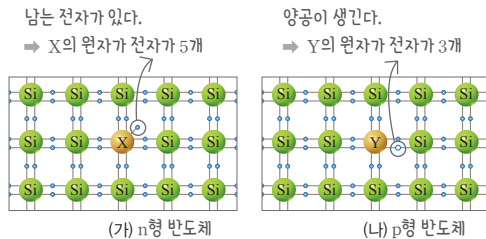
바로알기 ④ p형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 13족 원소를 첨가하여 만든다.

13 ㄱ. 붕소 원자 주위에 공유 결합을 한 전자는 3쌍이므로 붕소의 원자가 전자는 3개이고, 규소의 원자가 전자는 4개이다.

ㄴ. 공유 반도체에 원자가 전자가 3개인 13족 원소를 불순물로 첨가하여 양공을 생성하므로 이 반도체는 p형 반도체이다.

바로알기 ㄷ. p형 반도체는 실온에서 자유 전자가 있지만 도핑에 의한 양공의 수가 자유 전자의 수보다 많으므로 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

14 꼼꼼 문제 분석

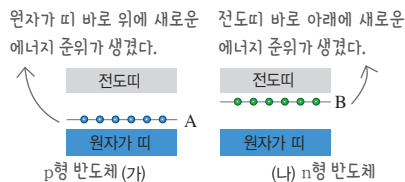


ㄴ. 공유 결합 후 (가)에서는 전자가 1개 남고, (나)에서는 양공이 1개 생기므로 원자가 전자는 X가 5개, Y가 3개이다. 따라서 원자가 전자는 X가 Y보다 2개 많다.

바로알기 ㄱ. (가)는 원자가 전자가 5개인 X를 도핑하여 남는 전자가 전하 나르개 역할을 하므로 n형 반도체이다.

ㄷ. (가)는 n형 반도체이다. n형 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

15 꼼꼼 문제 분석



p형 반도체에서는 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하여 생긴 양공이 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위를 만들며, 원자가 띠의 전자가 새로운 에너지 준위로 쉽게 전이할 수 있다. n형 반도체에서는 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑하여 남는 전자가 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위를 만들며, 새롭게 만들어진 에너지 준위에 채워진 전자는 쉽게 전도띠로 전이할 수 있다.

모범 답안 A는 원자가 전자가 3개인 원소(13족 원소)를 도핑한 p형 반도체이고, B는 원자가 전자가 5개인 원소(15족 원소)를 도핑한 n형 반도체이다.

채점 기준	배점
A, B에 도핑한 불순물의 종류와 반도체 종류를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
A, B의 반도체 종류만 옳게 서술한 경우	50 %

16 ①, ③ (가)에서 비소를 첨가했을 때 비소 원자는 주변 저마늄과 공유 결합 후 1개의 전자가 남는다. 따라서 비소의 원자가 전자는 5개이고 (가)는 n형 반도체이다.

② 저마늄 원자 1개는 주변 저마늄 원자 4개와 공유 결합을 하여 최외각에 8개의 전자 배치를 만들었으므로 저마늄의 원자가 전자는 4개이다.

④ 비소에 의해 남는 전자가 새로운 에너지 준위 ①을 만들며, 이 전자들이 전도띠로 전이하여 전류를 흐르게 한다.

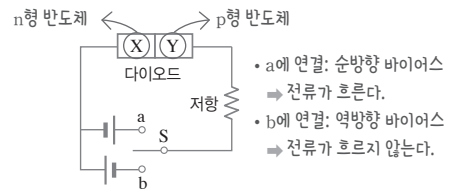
바로알기 ⑤ 양공은 원자가 띠에 있던 전자가 전도띠로 전이하였을 때 원자가 띠에 생기는 빈자리이다. ①은 도핑에 의해 남는 전자들이 만든 새로운 에너지 준위이므로 여기에 있는 전자가 전이하더라도 양공이 발생하지 않는다.

17 ㄴ. p-n 접합 다이오드는 전지의 (+)극을 p형 반도체에, (-)극을 n형 반도체에 연결하면 순방향 전압이 걸리므로 전류가 흐른다. 따라서 전지의 (+)극을 A에, (-)극을 B에 연결하면 전류가 흐른다.

ㄷ. p-n 접합 다이오드에 순방향 전압이 걸려서 전류가 흐를 때 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자는 각각 접합면으로 이동하여 결합한다. 따라서 전류가 흐를 때 ㉠과 ㉡은 접합면에서 결합한다.

바로알기 ㄱ. p형 반도체의 주요 전하 나르개는 양공이고, n형 반도체의 주요 전하 나르개는 전자이다. 따라서 ㉠은 양공이고, ㉡은 전자이다.

18 꼼꼼 문제 분석



규소에 원자가 전자가 3개인 붕소를 도핑한 반도체 Y는 p형 반도체이므로 p-n 접합 다이오드의 X는 n형 반도체이다. 따라서 저항에 전류가 흐르게 하기 위해서는 p형 반도체인 Y에 전지의 (+)극을 연결하고 n형 반도체인 X에 전지의 (-)극을 연결해야 하므로 스위치 S를 a에 연결해야 한다.

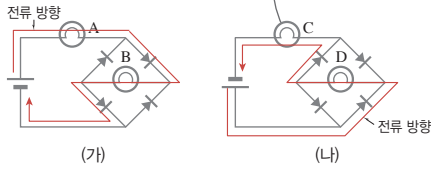
모범 답안 (1) n형 반도체

(2) a, 전류가 흐르기 위해서는 p형 반도체인 Y에 전지의 (+)극이 연결되어야 하기 때문이다.

채점 기준	배점
(1) 반도체의 종류를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) a를 옳게 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
a만 옳게 고른 경우	20 %

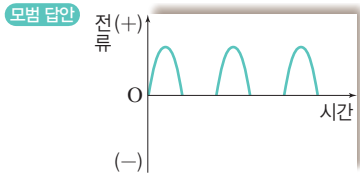
19 꼼꼼 문제 분석

다이오드에는 순방향으로만 전류가 흐르고, 역방향으로는 전류가 흐르지 못한다.



다이오드는 한쪽 방향으로만 전류를 흐르게 하는 정류 작용을 하므로 A, C에는 서로 반대 방향으로 전류가 흐르지만, B, D에는 오른쪽에서 왼쪽으로 같은 방향으로 전류가 흐른다. 전구는 전류의 방향과 상관없이 전류가 흐르면 불이 켜지므로 (가)에서는 A, B가 모두 켜지고, (나)에서도 C, D가 모두 켜진다.

20 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하므로 다이오드에 순방향 전압이 걸릴 때는 다이오드에 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸릴 때는 전류가 흐르지 않는다. 따라서 저항에도 (+) 방향의 전류는 흐르지만 (-) 방향의 전류는 흐르지 않는다.



채점 기준	배점
(+) 방향의 그래프를 옳게 그린 경우	100 %
(+) 방향의 그래프를 일부만 그린 경우	50 %

21 ㄱ. b 원자가 주변 규소 원자와 공유 결합을 하고 남은 전자가 있으므로 B는 n형 반도체이고, A는 p형 반도체이다.

ㄴ. p형 반도체인 A에 전지의 (+)극이 연결되어 있으므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.

바로알기 ㄷ. 전류는 전지의 (+)극에서 나와 (-)극 쪽으로 흐른다. 따라서 전류는 저항에서 왼쪽 방향으로 흘러 p형 반도체와 n형 반도체를 순서대로 지난 뒤, 전지의 (-)극으로 흐른다.

22 ㄴ. S를 닫으면 p형 반도체 X가 전지의 (+)극에, n형 반도체 Y가 전지의 (-)극에 연결되어 다이오드에 순방향 전압이 걸린다. 따라서 다이오드에 전류가 흐르므로 저항에도 전류가 흐른다.

ㄷ. p형 반도체는 원자가 전자가 3개인 불순물을 도핑하고, n형 반도체는 원자가 전자가 5개인 불순물을 도핑한다. 따라서 Y에 도핑한 불순물의 원자가 전자는 X에 도핑한 불순물의 원자가 전자보다 많다.

바로알기 ㄱ. X는 주로 양공이 전류를 흐르게 하므로 p형 반도체이고, Y는 주로 전자가 전류를 흐르게 하므로 n형 반도체이다.

23 ㄱ. X에는 전압의 방향과 관계없이 전류가 흐르므로 X는 저항이다.

ㄴ. Y는 스위치를 a에 연결할 때만 전류가 흐르고, b에 연결할 때는 전류가 흐르지 않으므로 다이오드이다. 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용에 이용된다.

바로알기 ㄷ. 전지의 전압은 동일하고, Q는 P와 병렬로 연결되어 있으므로 Q에 불이 켜지는지의 여부와 관계없이 P에 걸리는 전압은 같다. 따라서 스위치를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 P에 걸리는 전압이 같으므로 밝기가 같다.

24 ㄴ. 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면으로 이동하여 결합한다.

바로알기 ㄱ. 발광 다이오드에 순방향 전압이 걸려 전류가 흐르기 위해서는 p형 반도체가 전원의 (+)극에 연결되어야 하므로 단자 a는 (+)극이다.

ㄷ. 발광 다이오드에서 방출되는 빛의 파장은 띠 간격에 따라 정해지므로 전원 장치의 전압과 관련이 없다. 전압을 증가시키면 전류가 많이 흐르므로 방출되는 빛의 세기가 강해진다.

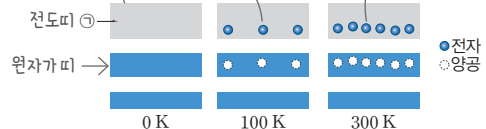
실력 UP 문제

183쪽

01 ③ 02 ② 03 ② 04 ③

01 꼼꼼 문제 분석

전자가 채워진 띠의 바로 위의 띠이므로 전도띠이다. 온도가 높으면 원자가 띠의 전자 일부가 에너지를 얻어 전도띠로 전이한다. 온도가 높을수록 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많아진다.



ㄱ. ㉠은 전자가 채워진 원자가 띠 바로 위에 있는 에너지띠이므로 전도띠이다.

ㄷ. 온도가 높을수록 전도띠로 전이한 전자가 많아지므로 A의 전기 전도성이 좋아진다.

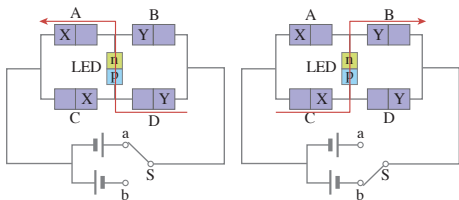
바로알기 ㄴ. A의 온도가 0 K일 때 전도띠에는 전자가 없고 원자가 띠의 전자는 움직일 수 없다. 따라서 전하 나르개가 없으므로 A에는 전류가 흐르지 못한다.

02 α . 비소의 원자가 전자는 5개이고, 비소 원자는 중성이므로 인접한 원자에 전자를 주면 비소 원자는 중성인 상태를 잃고 양이온이 된다.

바로알기 γ . 원자가 전자가 5개인 비소를 도핑하였으므로 4개의 전자는 인접한 원자와 공유 결합을 하고 1개의 전자가 남는다. 따라서 전자가 주로 전류를 흐르게 하므로 X는 n형 반도체이다. α . X는 n형 반도체이므로 주로 전자가 전류를 흐르게 하지만, 양공이 없는 것은 아니다. n형 반도체는 양공의 수보다 전도띠에 있는 전자의 수가 더 많으므로 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

03 품공 문제 분석

S를 a에 연결했을 때 LED에 불이 켜지기 위해서는 아래와 같은 방향으로 전류가 흘러야 한다. S를 b에 연결했을 때 LED에 불이 켜지기 위해서는 아래와 같은 방향으로 전류가 흘러야 한다.



α . S를 a에 연결했을 때 LED에 불이 켜지므로 전류의 방향을 고려할 때 A에 전류가 흐른다. 따라서 A의 n형 반도체에 있는 전자와 p형 반도체에 있는 양공은 접합면으로 이동하여 결합한다.

바로알기 γ . S를 a에 연결했을 때 LED에 불이 켜지므로 LED에는 p형 반도체에서 n형 반도체로 전류가 흐른다. 따라서 전류는 $D \rightarrow \text{LED} \rightarrow A$ 방향으로 흐른다. S를 b에 연결했을 때도 LED에 불이 켜지므로 전류는 $C \rightarrow \text{LED} \rightarrow B$ 방향으로 흐른다. 따라서 Y는 p형 반도체이고 X는 n형 반도체이다.

α . LED에 전류가 흐르면 접합면에서 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이하여 전자와 양공이 결합하면 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 갖는 빛이 방출된다. 따라서 전이한 전자의 에너지는 방출된 빛의 에너지만큼 감소한다.

04 γ . B에서 빛이 방출되었으므로 B에 전류가 흐른다. 따라서 B에는 순방향 전압이 걸린다.

α . B에 순방향 전압이 걸리므로 전지의 (-)극에 연결된 Y는 n형 반도체이다. 따라서 X는 p형 반도체이다.

바로알기 α . 발광 다이오드는 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이하면서 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 갖는 빛을 방출한다. 방출되는 광자 1개의 에너지는 파란색 빛이 빨간색 빛보다 크므로 B에서 방출되는 빛의 에너지가 A에서 방출되는 빛의 에너지보다 크다. 따라서 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 B가 A보다 크다.

중단원 핵심 정리

184~185쪽

- ① 보어 ② 전기력 ③ (+) ④ 알파(α) ⑤ 척력 ⑥ 인력
- ⑦ 비례 ⑧ 반비례 ⑨ 커진다 ⑩ 연속 ⑪ 방출 ⑫ 흡수
- ⑬ 크다 ⑭ hc ⑮ 자외선 ⑯ 적외선 ⑰ 절연체 ⑱ 반도체
- ⑲ 크다 ⑳ 역수 ㉑ 양공 ㉒ 전자 ㉓ 순방향

중단원 마무리 문제

186~189쪽

- | | | | | | |
|----------|----------|------|------|------|----------|
| 01 ④ | 02 ⑤ | 03 ③ | 04 ① | 05 ① | 06 ⑤ |
| 07 ③ | 08 ① | 09 ④ | 10 ⑤ | 11 ④ | 12 ① |
| 13 ⑤ | 14 ⑤ | 15 ② | 16 ③ | 17 ⑤ | 18 해설 참조 |
| 19 해설 참조 | 20 해설 참조 | | | | |

01 α . 러더퍼드 원자 모형은 알파 입자 산란 실험을 통해 제안되었으며, 원자핵을 중심으로 전자가 임의의 궤도에서 원운동을 하는 원자 모형이다. 원자핵은 원자 질량의 대부분을 차지하며 원자의 대부분은 빈 공간이다.

α . 보어 원자 모형은 원자핵을 중심으로 전자가 양자화된 특정한 궤도에서만 원운동을 하는 원자 모형이다.

바로알기 γ . 톰슨 원자 모형은 (+)전하의 바다인 원자에 (-)전하를 띤 전자가 균일하게 박혀 있는 원자 모형이다. 전자의 위치를 확률로만 알 수 있다는 원자 모형은 현대의 원자 모형이다.

02 ① 원자핵은 양성자에 의해 (+)전하를 띤다.

② 원자핵의 전하량은 기본 전하량의 정수배이므로 원자 번호가 Z일 때 전하량은 Ze 이다.

③ 전자는 (-)전하를 띠므로 (+)전하를 띤 원자핵으로부터 받는 전기적 인력에 의해 속박되어 있다.

④ 수소의 원자핵은 양성자 1개로 이루어져 있으며, 그 외의 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있다.

바로알기 ⑤ 전기적으로 중성인 원자는 양성자의 수와 전자의 수가 같다. 중성자는 전하를 띠지 않으므로 원자의 전기적인 특성과 관련이 없다.

03 γ . 알파 입자 산란 실험으로 원자 내부가 대부분 빈 공간임이 알려졌는데 이를 통해 원자의 중심에 원자핵이 존재한다는 것이 밝혀졌다.

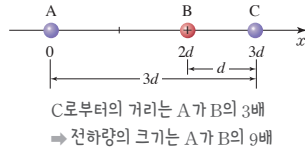
α . 원자 내부가 대부분 빈 공간이기 때문에 대부분의 알파 입자는 산란되지 않고 직진한다.

바로알기 α . 알파 입자는 (+)전하를 띠며, 알파 입자가 원자핵에 접근하면 (+)전하를 띤 원자핵으로부터 전기적인 척력을 받기 때문에 산란된다. 알파 입자는 전자에 비해 질량이 매우 크기 때문에 전자와 충돌해도 산란되지 않는다.

04 품공 문제 분석

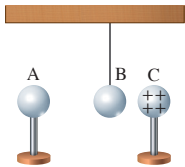
C가 받는 전기력은 0이다.

⇒ A로부터 받는 전기력의 크기=B로부터 받는 전기력의 크기



C가 받는 전기력이 0이므로 전하의 종류는 A와 B가 서로 다르고, C가 A로부터 받는 전기력의 크기는 B로부터 받는 전기력의 크기와 같다. 따라서 A는 (-)전하이다. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. 이때 C로부터의 거리는 A가 B의 3배이므로 전하량의 크기는 A가 B의 9배이다. 따라서 A의 전하량은 $-18Q$ 이다.

05 품공 문제 분석



A와 C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같고 방향이 반대이어야 하므로 B가 (+) 전하이든 (-)전하이든 A는 (+)전하이어야 한다.

ㄱ. B가 A, C로부터 전기력을 받아 정지해 있으므로 B가 (+) 전하이든 C에 의해 왼쪽으로 밀려나지 않도록 A가 (+)전하이어야 하고, B가 (-)전하인 경우에도 C에 끌려가지 않으려면 A는 (+)전하이어야 한다.

바로알기 ㄴ. A, C가 모두 (+)전하를 띠므로 A, C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

ㄷ. B로부터 떨어진 거리는 A가 C보다 크고, A, C가 B에 작용하는 전기력의 크기는 같으므로 전하량은 A가 C보다 크다.

06 ㄴ. 쿨롱 법칙에 따라 원자핵으로부터 멀어질수록 전자가 받는 전기력의 크기는 작아진다.

ㄷ. 원자핵에 가까운 전자일수록 큰 전기력을 받으므로 원자핵으로부터 분리시키는 데 필요한 에너지가 크다.

바로알기 ㄱ. 원자핵으로부터 무한히 먼 곳에서 전자의 에너지가 0이므로 속박된 전자의 에너지는 0보다 작다.

07 ㄱ. (나)는 연속 스펙트럼에서 특정한 파장의 빛만 검은색 선으로 나타나므로 선 스펙트럼 중 흡수 스펙트럼이다.

ㄴ. 흡수 스펙트럼에서 검은색 선의 위치는 기체가 고온일 때 방출하는 빛의 파장과 동일하며 기체의 종류에 따라 고유한 위치를 갖는다.

바로알기 ㄷ. (가)에서 저온의 기체를 제거하면 백열등의 연속 스펙트럼이 나타난다.

08 ②, ⑤ n 이 작을수록 전자가 원자핵에 가까워 전기적인 인력을 크게 받으므로 전자를 원자에서 분리시키기 어렵다.

③ 수소 원자의 에너지 준위 $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$ 이므로 에너지 준

위는 양자수의 제곱에 반비례한다. 따라서 $E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{E_1}{4}$ 이다.

④ 전자의 들뜬상태는 바닥상태의 전자가 에너지를 흡수해 높은 에너지 준위로 이동한 상태이다. 따라서 $n=3$ 일 때 전자는 들뜬 상태이다.

바로알기 ① $n=1$ 일 때 전자는 원자핵에 가장 가까운 바닥상태이므로 전자의 에너지가 가장 작다.

09 ㄱ. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차이와 같다. ㉠은 전자가 $n=1$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이하고, ㉡은 $n=2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이하므로 ㉠과 ㉡에서 두 궤도의 에너지 준위 차이가 같다. 따라서 $E_1 = E_2$ 이다.

ㄷ. 전자가 $n=2$ 에서 $n=3$ 인 궤도로 전이할 때 흡수하는 광자의 에너지는 $n=1$ 과 $n=3$ 인 궤도의 에너지 준위 차이(E_3)에서 $n=1$ 과 $n=2$ 인 궤도의 에너지 준위 차이(E_2)를 뺀 값과 같다.

바로알기 ㄴ. 전자가 전이할 때 흡수하는 빛의 파장은 에너지 준위 차이가 작을수록 길다. 따라서 ㉠에서 흡수하는 빛의 파장이 ㉡에서 흡수하는 빛의 파장보다 길다.

10 ㄱ. A, B, C는 라이먼 계열의 빛이므로 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된 빛이다. 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 파장은 두 궤도의 에너지 준위 차이가 작을수록 길므로, A, B, C는 각각 순서대로 $n=2, n=3, n=4$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된 빛이다.

ㄴ. 광자의 에너지는 파장에 반비례하므로 광자의 에너지가 가장 큰 것은 파장이 가장 짧은 C이다.

ㄷ. 양자수 n 에 따른 에너지 준위를 E_n 이라고 하면 $E_2 = \frac{E_1}{4}$,

$E_4 = \frac{E_1}{16}$ 이고, A, C의 진동수를 f_A, f_C 라고 하면, 진동수는 에

너지 준위의 차이에 비례하므로 $f_A : f_C = |E_2 - E_1| : |E_4 - E_1|$

$= \frac{3E_1}{4} : \frac{15E_1}{16} = 4 : 5$ 이다. 따라서 C의 진동수는 A의 진동

수의 $\frac{5}{4}$ 배이다.

11 ① ㉠에서 방출되는 광자의 에너지가 가장 작으므로 파장이 가장 길다. 따라서 ㉠에 의해 나타나는 것은 c이다. ㉡, ㉢에 의해 나타나는 것은 각각 b, a이다.

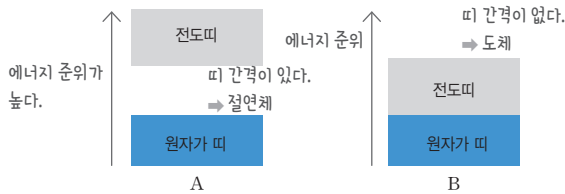
② 발머 계열에 해당하는 스펙트럼이므로 a~c는 가시광선 영역에 해당한다.

③ 빛의 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크다. 따라서 a~c 중 광자의 에너지가 가장 큰 것은 파장이 가장 짧은 a이다.

⑤ 전자가 다른 궤도로 전이를 하지 않으면 에너지가 변하지 않으므로 빛이 방출되지 않는다.

바로알기 ④ $n=2, n=3, n=4, n=5$ 에서 에너지 준위를 각각 E_2, E_3, E_4, E_5 라고 하면 ㉠과 ㉡에서 에너지 준위 차이의 합 $|E_3-E_2| + |E_4-E_2|$ 는 ㉢에서 에너지 준위의 차이 $|E_5-E_2|$ 보다 크므로 b와 c의 진동수의 합은 a의 진동수보다 크다.

12 품공 문제 분석



ㄱ. A는 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있으므로 절연체이다.

바로알기 ㄴ. B는 도체이고 실온에서 도체는 전도띠로 전이한 전자가 많으므로 전기 전도성이 좋다.

ㄷ. 전도띠는 원자가 띠보다 에너지 준위가 높으므로 전도띠에 있는 전자의 에너지는 원자가 띠에 있는 전자의 에너지보다 크다.

13 ① 원자가 띠에 전자가 완전히 채워지지 않은 고체는 원자가 띠 바로 위에 전도띠가 있는 것으로 볼 수 있으므로, 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없다. 따라서 이러한 고체는 전기 전도성이 좋은 도체가 된다.

② 전도띠는 전자가 완전히 채워지지 않았으므로 전도띠에 있는 전자는 자유롭게 움직일 수 있다.

③ 허용된 띠 내에서 에너지 준위는 미세하게 갈라진 수많은 에너지 준위들이 촘촘하게 모여 연속적인 띠 형태를 이루고 있으므로 연속적이라고 할 수 있다.

④ 전도띠는 원자가 띠보다 에너지 준위가 높으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이할 때는 에너지를 흡수해야 한다.

바로알기 ⑤ 도체는 온도가 높을수록 비저항이 커져서 전기 전도도가 작아지므로 전기 전도성이 좋지 않다. 반도체나 절연체는 온도가 높을수록 전기 전도도가 커지므로 전기 전도성이 좋다.

14 물질의 전기 전도도는 비저항의 역수와 같다. 길이가 L , 단면적이 S 이고, 저항이 R 인 물질의 비저항 $\rho = \frac{SR}{L}$ 이므로 전기

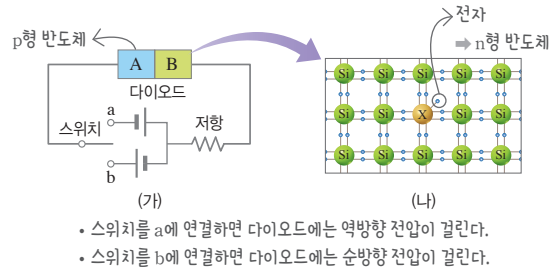
전도도 $\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{SR}$ 이다. 따라서 A, B, C의 전기 전도도의 비

$$\sigma_A : \sigma_B : \sigma_C = \frac{L}{SR} : \frac{2L}{SR} : \frac{L}{2S \cdot 2R} = 4 : 8 : 1 \text{이다.}$$

15 ㄴ. (나)는 p형 반도체로 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.
바로알기 ㄱ. (가)는 비소를 첨가한 후 남은 전자가 있으므로 n형 반도체이다.

ㄷ. (나)에서 붕소 원자는 전자 3개만 주변의 저마늄 원자와 공유 결합을 하고 양공 1개를 생성하므로 원자가 전자가 3개이다.

16 품공 문제 분석

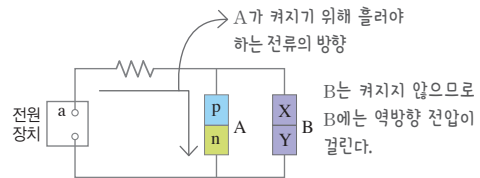


ㄱ. X의 원자가 전자가 5개이므로 B는 n형 반도체이다. 따라서 A는 p형 반도체이고, A에 첨가한 불순물의 원자가 전자는 3개이다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 A와 B의 접합면에서 전자와 양공이 결합하면서 전류가 흐른다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 스위치를 a에 연결하면 다이오드에 역방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르지 않는다.

17 품공 문제 분석

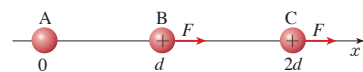


ㄱ. A가 빛을 방출하였으므로 A에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 a는 (+)극이다.

ㄴ. B는 빛을 방출하지 않았으므로 B에는 역방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

ㄷ. B에는 역방향 전압이 걸리므로 p형 반도체 속의 양공과 n형 반도체 속의 전자는 접합면으로부터 멀어진다. 따라서 접합면을 통해 전하의 이동이 없으므로 전류가 흐르지 않는다.

18 품공 문제 분석



B는 C에 의해 $-x$ 방향으로 전기력을 받지만 합성 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 B에 $+x$ 방향으로 전기력을 작용해야 한다. 따라서 A는 (+)전하이다.

모범 답안 B가 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 $(+)$ 전하를 띤다. A의 전하량을 Q 라고 하면 B가 받는 전기력의 크기 $F = \frac{kQq}{d^2} - \frac{kq^2}{d^2}$ 이고, C가 받는 전기력의 크기 $F = \frac{kQq}{4d^2} + \frac{kq^2}{d^2}$ 에서 $Q = \frac{8}{3}q$ 이다.

채점 기준	배점
A의 전하량을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A의 전하량만 옳게 쓴 경우	50 %

19 **모범 답안** $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다. $n=1$ 과 $n=2$ 인 상태 사이의 에너지 차이가 $n=2$ 와 $n=3$ 인 상태 사이의 에너지 차이보다 큰데, 방출하거나 흡수하는 빛의 파장은 에너지 차이에 반비례하기 때문이다.

채점 기준	배점
λ_1, λ_2 의 크기를 비교하고 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
λ_1, λ_2 의 크기만 옳게 비교한 경우	30 %

20 에너지띠 구조에서 원자가 띠와 띠 사이의 띠 간격은 반도체가 절연체보다 좁다. 따라서 A는 반도체이고, B는 절연체이다. 띠 간격이 좁을수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자의 수가 많으므로 상온에서 전기 전도성은 반도체가 절연체보다 좋다.

모범 답안 (1) A: 반도체, B: 절연체

(2) A가 B보다 많다. A가 B보다 띠 간격이 좁아 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자의 수가 많기 때문이다.

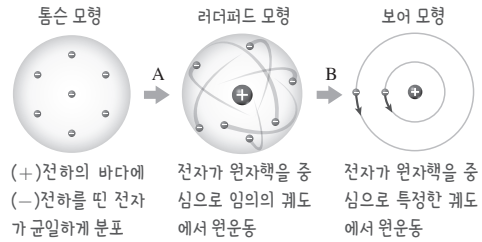
채점 기준	배점
(1) A와 B를 모두 옳게 쓴 경우	50 %
A와 B 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	20 %
(2) 전자의 수를 옳게 비교하고 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
전자의 수만 옳게 비교한 경우	20 %

수능 실전 문제

191~195쪽

01 ③	02 ③	03 ①	04 ②	05 ④	06 ⑤
07 ④	08 ①	09 ③	10 ①	11 ⑤	12 ④
13 ③	14 ③	15 ①	16 ④	17 ①	18 ③
19 ⑤	20 ⑤				

01 공공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 알파(α) 입자 산란 실험에서 일부 알파 입자가 큰 각도로 산란되는 것은 A에 해당한다.
- ㉡ 수소 기체 방전관에서 선 스펙트럼이 나타나는 것은 B에 해당한다.
- ㉢ 세 원자 모형 모두 원자핵을 원자의 구성 입자로 본다. 러더퍼드 원자 모형과 보어 원자 모형

전략적 풀이 ① 각각의 원자 모형이 제시된 까닭이나 실험을 이해한다.

㉠ 알파(α) 입자 산란 실험을 통해 원자핵이 발견되었고 이를 통해 제안된 원자 모형이 러더퍼드 원자 모형이다.

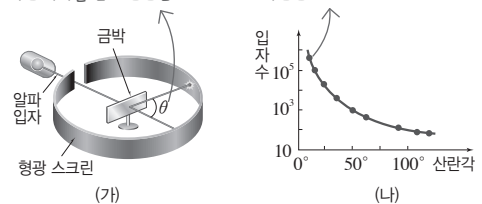
㉡ 러더퍼드 원자 모형으로는 불연속적으로 나타나는 수소의 선 스펙트럼을 설명할 수 없어 보어 원자 모형이 나왔다.

② 각각의 원자 모형의 특징을 비교하여 이해한다.

㉢ 통슨 원자 모형에서는 원자핵이 나타나지 않고, $(+)$ 전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포한다고 설명하였다. 따라서 러더퍼드 원자 모형과 보어 원자 모형에서만 원자핵을 원자의 구성 입자로 본다.

02 공공 문제 분석

$(+)$ 전하를 띤 알파 입자가 $(+)$ 전하를 띤 원자핵으로부터 전기적인 척력을 받아 산란된다. 산란각이 클수록 입자수가 작아진다. $\Rightarrow$ 대부분의 알파 입자는 직진한다.



선택지 분석

- ㉠ 원자핵은 $(+)$ 전하를 띠고 있다.
- ㉡ 원자핵의 질량은 전자의 질량에 비해 매우 크다.
- ㉢ 원자에 속박된 전자의 에너지는 불연속적이다. 알 수 없다.

전략적 풀이 ① 알파 입자 산란 실험의 원리를 이해한다.

㉠ $(+)$ 전하를 띤 알파 입자가 산란되는 까닭은 $(+)$ 전하를 띤 원자핵으로부터 전기적인 척력을 받기 때문이다.

ㄷ. 알파 입자 산란 실험을 통해 전자의 에너지가 불연속적이라는 것을 확인할 수는 없다. 전자의 에너지가 불연속적이라는 것은 수소 원자의 선 스펙트럼을 통해 확인할 수 있다.

② 그래프의 의미를 해석한다.

ㄴ. 대부분의 알파 입자가 직진하는 까닭은 원자 내부가 대부분 빈 공간이고 전자와 충돌하더라도 전자의 질량이 매우 작기 때문이다.

03 품공 문제 분석

C가 받는 전기력이 0이므로 A와 B는 서로 다른 종류의 전하이고 A가 C로부터 더 멀리 떨어져 있으므로 전하량은 A가 B보다 크다.



(나) A가 더 가까워졌으므로 A에 의한 전기력의 크기가 더 큰데, C가 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 (+)전하를 띤다.

선택지 분석

㉠ A는 (+)전하를 띤다.

✕ 전하량은 A가 B의 2배이다. 4배

✕ (나)에서 A가 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. $-x$

전략적 풀이 ① C가 받는 전기력을 통해 A와 B의 전하의 종류를 파악한다.

ㄱ. (가)에서 C가 받는 전기력이 0이므로 A와 B가 띤 전하의 종류는 서로 다르다. (나)에서 C가 받는 전기력은 $+x$ 방향이므로 A는 (+)전하를 띤고 B는 (-)전하를 띤다.

ㄷ. B는 (-)전하이므로 C는 (+)전하이므로 (나)에서 A는 B에 의해 $-x$ 방향으로 전기력을 받고, C에 의해서도 $-x$ 방향으로 전기력을 받는다. 따라서 (나)에서 A가 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

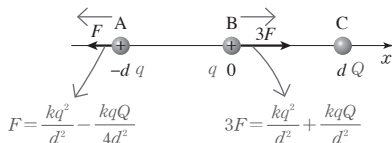
② 전하량을 비교하기 위해 쿨롱 법칙을 적용한다.

ㄴ. 쿨롱 법칙에 따라 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는

$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 에서 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다. (가)에서 C가 받는 전기력은 0이고, C로부터 거리는 A가 B의 2배이므로 전하량은 A가 B의 4배이다.

04 품공 문제 분석

A와 B 사이에는 서로 미는 방향으로 같은 크기의 전기력이 작용한다.



선택지 분석

✕ C가 받는 전기력의 방향은 $+x$ 방향이다. $-x$

㉠ C로부터 받는 전기력의 크기는 B가 A의 4배이다.

✕ 전하량의 크기는 C가 A의 2배이다. $\frac{8}{7}$ 배

전략적 풀이 ① A, B가 받는 전기력으로부터 C의 전하의 종류를 파악한다.

ㄱ. A, B는 (+)전하를 띤므로 서로 미는 방향으로 같은 크기의 전기력이 작용한다. C가 (+)전하를 띤면 C가 A, B에 작용하는 힘은 $-x$ 방향이므로 B가 받는 전기력이 A가 받는 전기력보다 작아진다. 따라서 C는 (-)전하를 띤므로 C가 A, B로부터 받는 전기력의 방향은 $-x$ 방향이다.

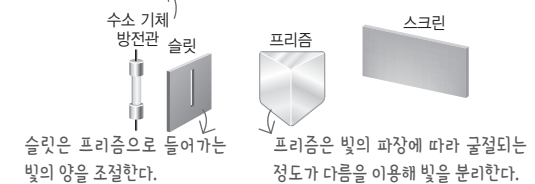
② 쿨롱 법칙을 적용하여 전하 사이에 작용하는 전기력을 구한다.

ㄴ. A, B의 전하량은 같고 C로부터 거리는 A가 B의 2배이므로 C로부터 받는 전기력의 크기는 B가 A의 4배이다.

ㄷ. A, B의 전하량의 크기를 q , C의 전하량의 크기를 Q 라고 하면 A, B가 받는 전기력의 크기는 B가 A의 3배이므로 $3 \times \left(\frac{kq^2}{d^2} - \frac{kqQ}{4d^2} \right) = \frac{kq^2}{d^2} + \frac{kqQ}{d^2}$ 이다. 따라서 $Q = \frac{8}{7}q$ 이므로 전하량의 크기는 C가 A의 $\frac{8}{7}$ 배이다.

05 품공 문제 분석

수소 기체 방전관에서는 특정한 파장의 빛만 방출된다.



선택지 분석

㉠ 스크린에는 선 스펙트럼이 나타난다.

✕ a~c 중 진동수가 가장 큰 빛은 a이다. c

㉠ 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧다.

전략적 풀이 ① 광원에 따른 스펙트럼의 종류를 구분한다.

ㄱ. 수소 기체 방전관에서는 특정한 파장의 빛만 방출되므로 스크린에는 선 스펙트럼이 나타난다.

② 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

ㄴ. 빛의 진동수는 광자의 에너지에 비례하므로 c가 가장 크다.

ㄷ. $E = \frac{hc}{\lambda}$ 에서 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장은 짧다.

06 품공 문제 분석

(가)는 특정한 파장의 빛만 보이므로 방출 스펙트럼이다.



(나)는 특정한 파장의 빛만 흡수되어 검은색으로 보이므로 흡수 스펙트럼이다.

선택지 분석

- ㉠ A, B는 서로 다른 종류의 기체이다.
- ㉡ 백열등에서 방출되는 빛은 연속 스펙트럼이다.
- ㉢ A가 저온일 때 흡수하는 빛의 파장은 A가 고온일 때 방출하는 빛의 파장과 같다.

전략적 풀이 ① 기체의 종류와 선 스펙트럼의 관계를 이해한다.

ㄱ. (나)에서 A의 흡수선과 다른 위치에 흡수선이 나타났으므로 B는 A와 다른 종류의 기체이다.

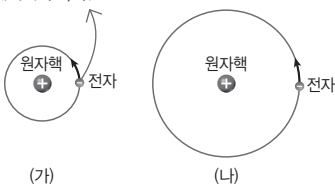
② 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 의미를 알고 그 관계를 이해한다.

ㄴ. (나)에서 빛이 흡수된 검은 선을 제외하면 백열등에서 방출되는 빛은 연속 스펙트럼이라는 것을 알 수 있다.

ㄷ. (가)에서 방출된 밝은 선의 위치는 (나)에서 검은 선의 위치와 같으므로 저온의 A가 고온일 때 방출하는 파장의 빛만 흡수한다는 것을 알 수 있다. 따라서 A가 저온일 때 흡수하는 빛의 파장은 A가 고온일 때 방출하는 빛의 파장과 같다.

07 품공 문제 분석

전자가 원자핵에 가까울수록 원자핵으로부터 받는 전기력이 크고, 전자의 에너지가 작다.



선택지 분석

- ㉠ 전자의 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 크다. 작다.
- ㉡ 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.
- ㉢ 전자가 (가)의 궤도에서 (나)의 궤도로 전이하기 위해서는 에너지를 흡수해야 한다.

전략적 풀이 ① 전자가 받는 전기력과 전자의 에너지가 원자핵으로부터의 거리에 따라 달라짐을 이해한다.

ㄱ. 원자핵으로부터 전자의 거리가 가까울수록 전자의 에너지가 작아지고, 전자는 안정해진다. 따라서 전자의 에너지는 (가)에서가 (나)에서보다 작다.

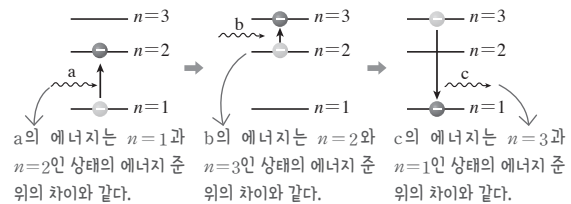
ㄴ. 두 전자 사이의 전기력은 거리의 제곱에 반비례하므로 원자핵으로부터 거리가 가까울수록 전자가 받는 전기력의 크기가 크다. 따라서 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

② 전자의 전이 과정에서 에너지의 방출과 흡수를 이해한다.

ㄷ. 전자의 에너지는 (나)의 궤도에서가 (가)의 궤도에서보다 크므로 전자가 (가)의 궤도에서 (나)의 궤도로 전이하기 위해서는 외부에서 에너지를 흡수해야 한다.

08 품공 문제 분석

빛의 진동수는 광자의 에너지에 비례하며, 광자의 에너지는 에너지 준위의 차이와 같다.



선택지 분석

- ㉠ $f_c = f_a + f_b$ 이다.
- ㉡ 파장은 a가 b보다 길다. 짧다.
- ㉢ 바닥상태의 수소 원자에 b, a를 차례대로 비추면 전자가 $n=3$ 인 상태로 전이한다. 전이하지 못한다.

전략적 풀이 ① 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

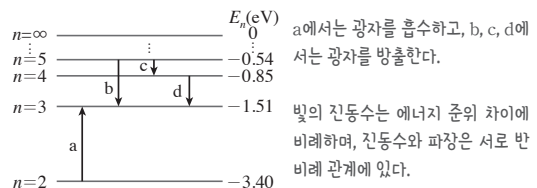
ㄱ. 광자의 에너지는 에너지 준위의 차이와 같고, 빛의 진동수는 광자의 에너지에 비례하므로 $f_c = f_a + f_b$ 가 성립한다.

ㄴ. 에너지 준위의 차이는 $n=1$ 과 $n=2$ 사이가 $n=2$ 와 $n=3$ 사이보다 크다. 따라서 a의 에너지가 b의 에너지보다 크므로 파장은 a가 b보다 짧다.

② 흡수한 에너지에 따른 전자의 전이 여부를 파악한다.

ㄷ. 바닥상태의 수소 원자에 b를 먼저 비추면 b의 에너지가 $n=1$ 과 $n=2$ 사이의 에너지 준위 차이보다 작으므로 전자가 $n=2$ 인 상태로 전이할 수 없다. 따라서 바닥상태의 수소 원자에 b, a를 차례대로 비추면 전자가 $n=3$ 인 상태로 전이하지 못한다.

09 품공 문제 분석



a에서는 광자를 흡수하고, b, c, d에서는 광자를 방출한다.

빛의 진동수는 에너지 준위 차이에 비례하며, 진동수와 파장은 서로 반비례 관계에 있다.

선택지 분석

- ㉠ a에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 1.89 eV이다.
 ✕ b~d 중 방출되는 빛의 파장이 가장 긴 경우는 b이다. c
 ㉡ c에서 방출되는 빛의 진동수와 d에서 방출되는 빛의 진동수의 합은 b에서 방출되는 빛의 진동수와 같다.

전략적 풀이 ① 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자의 에너지를 구한다.

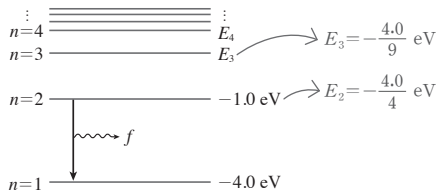
㉠ a에서 흡수되는 광자의 에너지는 $n=2$ 와 $n=3$ 인 상태의 에너지 준위의 차이와 같으므로 $-1.51 \text{ eV} - (-3.40 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV}$ 이다.

② 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

㉡ b~d 중 방출되는 빛의 파장이 가장 긴 경우는 에너지 준위 차이가 가장 작은 c이다.

㉡ 방출되는 빛의 진동수는 에너지 준위 차이에 비례한다. b에서의 에너지 준위 차이는 c에서의 에너지 준위 차이와 d에서의 에너지 준위 차이의 합과 같다. 따라서 c와 d에서 방출되는 빛의 진동수의 합은 b에서 방출되는 빛의 진동수와 같다.

10 품목 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ $\frac{5}{27}f$ ✕ $\frac{5}{9}f$ ✕ $\frac{32}{27}f$ ✕ $\frac{9}{5}f$ ✕ $\frac{27}{5}f$

전략적 풀이 ① E_1 을 이용하여 양자수에 따른 에너지 준위 값을 구한다.

$n=2$ 일 때 에너지 준위 $E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{E_1}{4}$ 이고, $n=3$ 일 때 에너지 준위 $E_3 = \frac{E_1}{3^2} = \frac{E_1}{9}$ 이다.

② 방출되는 빛의 진동수와 에너지 준위 사이의 관계식을 이용하여 진동수를 구한다.

전자가 $n=2$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 진동수 $f = \frac{|E_2 - E_1|}{h} = \frac{3E_1}{4h}$ 이다. 따라서 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 진동수는 $\frac{|E_3 - E_2|}{h} = \frac{5E_1}{36h} = \frac{5}{27}f$ 이다.

11 품목 문제 분석

라이먼 계열은 양자수가 1인 상태로 전자가 전이할 때 방출된다.



(가)

발머 계열은 양자수가 2인 상태로 전자가 전이할 때 방출된다.



(나)

선택지 분석

- ㉠ 광자 1개의 에너지가 가장 작은 빛의 파장은 λ_α 이다.
 ㉡ $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_\beta} = \frac{1}{\lambda_3}$ 이다.
 ㉢ $\lambda_\alpha : \lambda_\beta = 27 : 20$ 이다.

전략적 풀이 ① 각 스펙트럼선에 대응되는 전자의 전이를 찾고 광자의 에너지와 파장의 관계를 적용한다.

㉠ 광자 1개의 에너지가 가장 작은 빛은 파장이 가장 긴 빛이다. λ_α 가 파장이 가장 길다.

㉡ λ_1 은 $n=2$ 에서 $n=1$ 인 상태로, λ_β 는 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로, λ_3 은 $n=4$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전자가 전이할 때 방출된 빛의 파장이다. 전자가 전이할 때 방출하는 빛의 진동수는 에너지 준위 차이에 비례하므로 $f_1 + f_\beta = f_3$ 이다. 파장은 진동수에 반비례하므로 $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_\beta} = \frac{1}{\lambda_3}$ 이다.

② 방출되는 광자의 파장과 에너지 준위 사이의 관계식을 이용하여 파장을 비교한다.

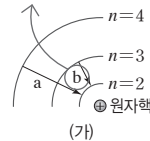
㉡ 양자수가 n 일 때 에너지 준위를 E_n 이라고 하면 $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 이므로 $\frac{1}{\lambda_\alpha} = \frac{|E_3 - E_2|}{hc} = \frac{5E_1}{36hc}$ 이고, $\frac{1}{\lambda_\beta} = \frac{|E_4 - E_2|}{hc} = \frac{3E_1}{16hc}$ 이다. 따라서 $\lambda_\alpha : \lambda_\beta = 27 : 20$ 이다.

12 품목 문제 분석

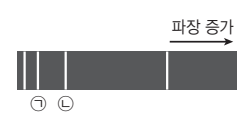
b는 a보다 에너지 준위의 차이가 작다.

⇒ b에서 방출된 빛은 a에서 방출된 빛보다 파장이 길고, 진동수가 작다.

방출되는 빛의 파장은 광자의 에너지가 클수록 짧다.



(가)



(나)

선택지 분석

- ✕ ㉠은 b에 의해 나타난 것이다. $n=5$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때
 ㉡ 방출되는 빛의 진동수는 a에서 b에서보다 크다.
 ㉢ 전자를 원자핵으로부터 분리시키는 데 필요한 에너지는 전자가 $n=2$ 인 상태에 있을 때가 $n=4$ 인 상태에 있을 때보다 크다.

전략적 풀이 ① 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

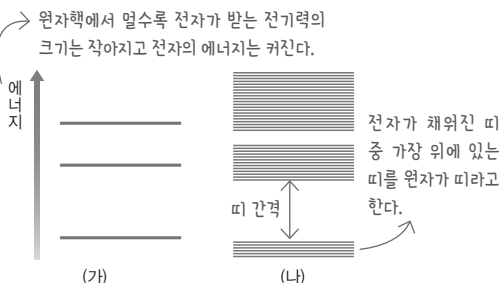
ㄱ. a는 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이하고, b는 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이하므로 b에서 방출하는 광자 1개의 에너지는 a에서 방출하는 광자 1개의 에너지보다 작다. 빛의 파장은 광자 1개의 에너지에 반비례하므로 b에서 방출하는 빛의 파장은 a에서 방출하는 빛의 파장보다 길다. 따라서 ㉠은 b에 의해 나타난 것이 아니고 전자가 $n=5$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 나타난 것이다.

ㄴ. 빛의 진동수는 광자 1개의 에너지에 비례하므로 방출되는 빛의 진동수는 a에서가 b에서보다 크다.

② 전자를 분리시키는데 필요한 에너지를 원자핵으로부터의 거리와 관련지어 이해한다.

ㄷ. 양자수가 작을수록 전자의 궤도가 원자핵에 가깝고, 원자핵에 가까울수록 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력이 크므로 원자핵으로부터 분리시키는데 더 큰 에너지가 필요하다. 따라서 전자가 $n=2$ 인 상태에 있을 때가 $n=4$ 인 상태에 있을 때보다 전자를 원자핵으로부터 분리시키는데 더 큰 에너지가 필요하다.

13 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 전자의 에너지는 원자핵으로부터 멀어질수록 커진다.
- ✗ (나)에서 전자가 채워진 에너지띠를 띠 간격이라고 한다.
- ㉡ (가), (나) 모두 전자가 존재할 수 없는 에너지 준위 영역이 있다.

전략적 풀이 ① 원자핵으로부터의 거리에 따른 전자의 에너지를 이해한다.

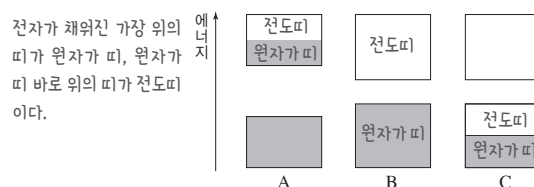
ㄱ. (가)에서 원자핵으로부터 멀어질수록 전자가 받는 전기력은 작아지고 전자의 에너지는 커진다.

② 에너지띠에서 원자가 띠, 전도띠, 띠 간격의 개념을 이해한다.

ㄴ. (나)에서 전자가 채워진 띠 중 가장 위에 있는 띠를 원자가 띠라고 한다. 띠 간격은 에너지띠 사이의 간격으로 전자가 가질 수 없는 에너지 준위 영역이다.

ㄷ. (가)에서 전자의 에너지는 양자화되어 있고, (나)에서도 띠 간격이 있으므로 (가)와 (나) 모두 전자가 존재할 수 없는 에너지 준위 영역이 있다.

14 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ A는 도체이다.
- ㉡ B에 도핑을 하면 전기 전도도가 커진다.
- ✗ C에서는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다. 전자가

전략적 풀이 ① 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격을 파악한다.

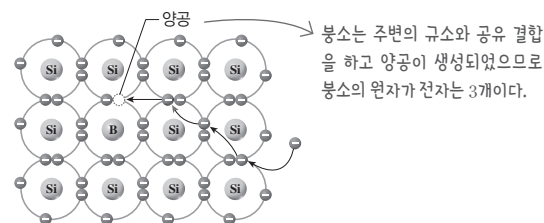
ㄱ. A와 C는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체이다.

ㄷ. C는 도체이므로 전도띠로 전이하여 자유롭게 움직일 수 있는 전자가 주로 전류를 흐르게 한다. 주로 양공이 전류를 흐르게 하는 것은 p형 반도체이다.

② 반도체의 특성을 이해한다.

ㄴ. B는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 있으므로 반도체이다. 반도체에 불순물을 도핑하면 전도띠로 전이할 수 있는 전자나 양공이 발생하여 순수 반도체에 비해 전기 전도도가 커진다. 따라서 B에 도핑을 하면 전기 전도도가 커진다.

15 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ p형 반도체이다.
- ✗ 주로 전자가 전류를 흐르게 한다. 양공이
- ✗ 붕소에 의해 전도띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 만들어진다. 원자가 띠

전략적 풀이 ① 불순물의 원자가 전자의 개수를 이용하여 불순물 반도체의 종류를 이해한다.

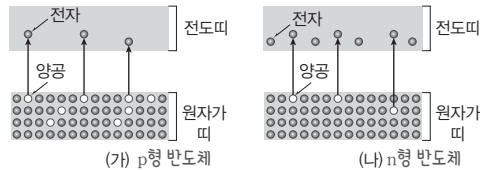
ㄱ. 붕소의 원자가 전자는 3개이고 도핑에 의해 양공이 생성되었으므로 이 불순물 반도체는 p형 반도체이다.

ㄴ. p형 반도체는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

② 불순물이 에너지띠에 어떤 영향을 주는지 이해한다.

ㄷ. p형 반도체는 불순물에 의해 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 만들어지며 원자가 띠의 전자가 이 에너지 준위로 쉽게 전이할 수 있다.

16 품공 문제 분석



(가)에서 전도띠의 전자는 원자가 띠의 전자가 전이한 것이고, 원자가 띠의 양공은 전자의 전이와 불순물의 도핑에 의해서 생긴 것이다.
(나)에서 전도띠의 전자는 원자가 띠의 전자의 전이와 불순물의 도핑에 의해서 생긴 것이고, 원자가 띠의 양공은 전자의 전이에 의해서 생긴 것이다.

선택지 분석

✗ (가)는 n형 반도체이다. p형 반도체

○ (나)에서 양공은 전자의 전이에 의해서만 생긴다.

○ (나)는 고유 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑해서 만든다.

전략적 풀이 ① (가)와 (나)에서 양공과 전자의 수를 비교하고 양공과 전자가 발생한 원리를 이해한다.

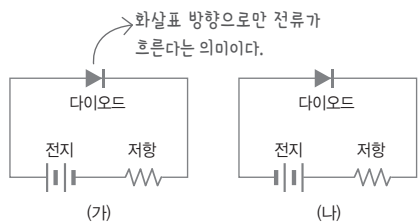
ㄱ. (가)는 양공이 자유 전자보다 많으므로 p형 반도체이다.

ㄴ. (나)는 n형 반도체이므로 원자가 띠의 양공은 전자의 전이에 의해서만 생긴다.

② p형 반도체와 n형 반도체를 만드는 원리를 이해한다.

ㄷ. (나)는 n형 반도체이므로 원자가 전자가 5개인 불순물을 도핑해서 만든다.

17 품공 문제 분석



(가) 순방향 전압이 걸려 있으므로 다이오드의 접합면에서 양공과 전자가 결합한다.
(나) 역방향 전압이 걸려 있으므로 양공과 전자가 다이오드의 접합면에서 멀어진다.

선택지 분석

○ (가)에서 저항에 전류가 흐른다.

✗ 다이오드는 전자의 이동에 의해서만 전류가 흐른다.
전자와 양공의 이동에 의해서

✗ (나)의 다이오드의 접합면에서는 전자와 양공이 결합한다. 멀어진다.

전략적 풀이 ① 다이오드에 걸린 전압이 순방향인지 역방향인지 파악한다.

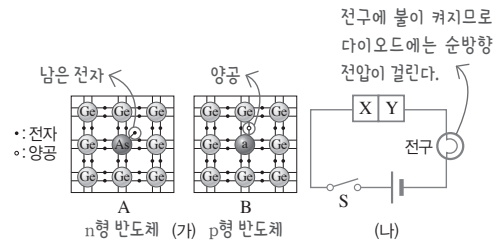
ㄱ. (가)에서 다이오드에 순방향 전압이 걸렸으므로 전류가 흐른다.

② 다이오드에 전류가 흐를 때와 흐르지 않을 때 양공과 전자가 어떻게 이동하는지 이해한다.

ㄴ. 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만들었으므로 전류가 흐를 때 전자와 양공이 함께 이동한다.

ㄷ. (나)에서 다이오드에 역방향 전압이 걸렸으므로 전자와 양공이 접합면에서 서로 멀어진다. 따라서 전류가 흐르지 않는다.

18 품공 문제 분석



선택지 분석

○ a의 원자가 전자는 3개이다.

○ X는 B이다.

✗ (나)에서 S를 닫으면 다이오드의 p형 반도체에 있는 양공은 접합면에서 멀어진다. 접합면으로 이동한다.

전략적 풀이 ① 불순물의 원자가 전자의 개수를 이용하여 불순물 반도체의 종류를 이해한다.

ㄱ. a는 주변의 저마늄 3개와 공유 결합을 하고 1개와는 공유 결합을 하지 못하여 양공이 생성되었으므로 원자가 전자가 3개이다. 따라서 B는 p형 반도체이다.

② 다이오드에 전류가 흐를 때의 특성을 이해한다.

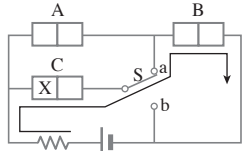
ㄴ. X가 전지의 (+)극에 연결되었을 때 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체이다. 따라서 X는 B이다.

ㄷ. (나)에서 다이오드에는 전류가 흐르므로 다이오드의 p형 반도체에 있는 양공과 n형 반도체에 있는 전자가 접합면으로 이동하여 결합한다.

19 꼼꼼 문제 분석

A와 C 중 하나가 켜질 때 B도 함께 켜진다.

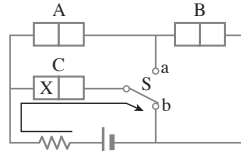
⇒ B에는 순방향 전압이 걸린다.



S를 a에 연결할 때
전류가 흐르는 방향

A가 켜지면 B도 함께 켜져 A, B, C 중 1개만 켜질 수 없다.

⇒ C에 순방향 전압이 걸린다.



S를 b에 연결할 때
전류가 흐르는 방향

선택지 분석

㉠ X는 p형 반도체이다.

㉡ S를 b에 연결할 때 켜지는 LED는 C이다.

㉢ S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 모두 A에는 역방향 전압이 걸린다.

전략적 풀이 ① LED가 켜지기 위한 전류의 방향을 이해한다.

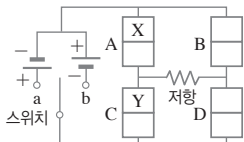
ㄴ. S를 b에 연결할 때 A, B, C 중 1개가 켜지므로 A, B는 켜지지 않고, C만 켜진다. 따라서 C에 순방향 전압이 걸린다.

② 순방향 전압과 역방향 전압을 이해한다.

ㄱ. S를 b에 연결할 때 전지의 (+)극이 X에 연결되어 C에 순방향 전압이 걸리므로 X는 p형 반도체이다.

ㄷ. S를 a에 연결할 때 A, B, C 중 2개가 켜지므로 A는 켜지지 않고, B, C가 켜진다. S를 b에 연결할 때도 A는 켜지지 않는다. 따라서 S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때 모두 A에는 역방향 전압이 걸린다.

20 꼼꼼 문제 분석



a에 연결했을 때는 A, D에 순방향 전압이 걸려야 하고, b에 연결했을 때는 B, C에 순방향 전압이 걸려야 한다.

• a에 연결했을 때 전류의 흐름: D → 저항 → A

• b에 연결했을 때 전류의 흐름: B → 저항 → C

선택지 분석

㉠ X는 n형 반도체이다.

㉡ 스위치를 b에 연결했을 때, Y에서는 양공이 접합면으로 이동한다.

㉢ 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때, 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

전략적 풀이 ① 발광 다이오드가 켜지는 원리를 파악한다.

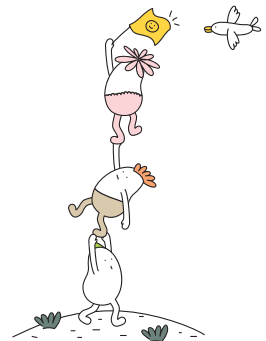
ㄴ. 스위치를 b에 연결했을 때 B, C가 켜지므로 B, C에 전류가 흐른다. 따라서 Y는 p형 반도체이고, 양공이 접합면으로 이동한다.

② 다이오드에 순방향 전압, 역방향 전압이 걸렸을 때 전류가 흐르는 방향을 파악한다.

스위치를 a에 연결했을 때 A, D가 켜지고, 스위치를 b에 연결했을 때 B, C가 켜진다.

ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 전지의 (-)극이 X에 연결된다. 이때 A가 켜졌으므로 X는 n형 반도체이다.

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때 D → 저항 → A로, 스위치를 B에 연결했을 때 B → 저항 → C로 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 왼쪽으로 서로 같다.



2 물질의 자기적 특성

1 전류에 의한 자기 작용

개념 확인 문제

201쪽

- ① 자기장 ② N ③ N ④ 접선 ⑤ 오른손 ⑥ 비례
⑦ 반비례 ⑧ 비례 ⑨ 반비례 ⑩ 비례 ⑪ 비례
⑫ 전자석 ⑬ 전동기 ⑭ 운동

- 1 (1) $A > B > C$ (2) → 2 A: 동쪽, B: 서쪽 3 2B 4 B
5 A: 서쪽, B: 동쪽, C: 서쪽 6 ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 (1) 자기력선의 간격이 좁을수록 자기장이 세다. 따라서 자기장의 세기는 $A > B > C$ 순이다.

(2) B 지점에서 자기력선에 접선을 그으면 오른쪽 방향이다.

2 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아쥐는 방향이 자기장의 방향이다. 따라서 A에 있는 나침반 자침의 N극은 동쪽, B에 있는 나침반 자침의 N극은 서쪽을 가리킨다.

3 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 거리에 반비례하므로 거리가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 자기장의 세기는 2배가 된다.

4 시계 방향으로 전류가 흐르는 도선의 반지름이 더 작으므로 합성 자기장의 방향은 시계 방향으로 전류가 흐르는 도선에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 O에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향(B)이다.

5 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다. 따라서 B에서 자기장의 방향은 동쪽이다. 솔레노이드 외부에서 자기장은 막대자석에 의한 자기장과 비슷하게 형성된다. 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 형성되므로 A와 C에서 자기장의 방향은 모두 서쪽이다.

6 전류계, 전동기, 스피커는 자기장 속에서 전류가 받는 힘을 이용한 장치이다. 액체 자석은 강자성체를 이용한 것이고, 마이크와 전자 기타는 전자기 유도를 이용한 장치이다.

대표 자료 분석

202~203쪽

자료 ① 1 (1) 나오는 (2) 작다 (3) 들어가는 2 $\frac{4}{3}B$

3 $P=R>Q$ 4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$

자료 ② 1 종이면에서 수직으로 나오는 방향 2 2B 3 B

4 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\times$ (4) $\bigcirc$

자료 ③ 1 동쪽 2 지구 자기장의 영향을 받았기 때문이다.

3 북서쪽 4 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$

자료 ④ 1 a 2 전기 에너지 → 운동 에너지 → 소리 에너지

3 전류의 세기가 클수록 큰 소리가 발생한다.

4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$

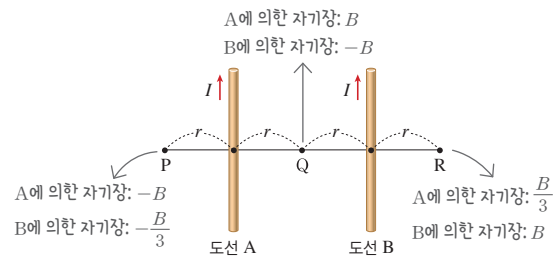
1-1 (1) A에 흐르는 전류의 방향이 위쪽이므로 P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

(2) 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 거리에 반비례하므로 A에 의한 자기장의 세기는 R에서가 Q에서보다 작다.

(3) R에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 모두 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 합성 자기장의 방향도 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

1-2 종이면에 수직으로 들어가는 자기장을 (+)로 하면 R에서 A에 의한 자기장은 $\frac{1}{3}B$ 이고, B에 의한 자기장은 B이다. 따라서 합성 자기장의 세기는 $\frac{1}{3}B+B=\frac{4}{3}B$ 이다.

1-3 품평 문제 분석



P, Q, R에서 합성 자기장의 세기를 각각 B_P , B_Q , B_R 라고 하면 $B_P = |-B - \frac{B}{3}| = \frac{4}{3}B$, $B_Q = 0$, $B_R = \frac{4}{3}B$ 이다. 따라서 $B_P = B_R > B_Q$ 이다.

1-4 (1) P에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 모두 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 합성 자기장의 방향도 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 P와 R에서 합성 자기장의 방향은 서로 반대이다.

(2) A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같고, A로부터 P까지의 거리와 B로부터 R까지의 거리가 같으므로 P와 R에서 합성 자기장의 세기는 같다.

(3) A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같고 A와 B에서 Q까지의 거리는 같으므로 Q에서 도선 A와 B에 의한 자기장의 세기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 Q에서 합성 자기장의 세기는 0이다.

2-1 (가)에서 전류의 방향인 시계 반대 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향, 즉 종이면에서 수직으로 나오는 방향이 O에서 자기장의 방향이다.

2-2 (가)의 O에서 자기장의 세기가 B인데, (나)에서 도선 B의 반지름은 도선 A의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 O에서 B에 의한 자기장의 세기는 $2B$ 이다.

2-3 (나)의 O에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 방향을 (+)로 하면 O에서 합성 자기장은 $-B + 2B = B$ 이다.

2-4 (1) 원형 전류에 의한 자기장은 세기와 방향이 일정하지 않다.

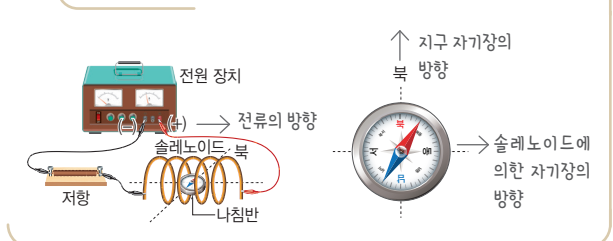
(2) (나)의 O에서 합성 자기장의 방향은 B에 의한 자기장의 방향과 같으므로 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

(3) (나)에서 B에 흐르는 전류의 방향만 반대가 되면 O에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 같아지므로 합성 자기장의 세기는 $3B$ 가 된다.

(4) (나)에서 A에 흐르는 전류의 세기만 $2I$ 가 되면 A, B 각각에 의한 자기장은 세기가 같고 방향이 서로 반대이므로 O에서 합성 자기장의 세기는 0이 된다.

3-1 전류는 전지의 (+)극에서 나와 (-)극으로 들어간다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐었을 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 동쪽이다.

3-2 품oom 문제 분석



솔레노이드에 의한 자기장의 방향이 동쪽인데 자침이 북동쪽을 가리키는 까닭은 지구 자기장의 방향이 북쪽이기 때문이다. 자침이 있는 곳에서 자기장은 지구 자기장과 솔레노이드에 의한 자기장이 합성되어 나타난다.

3-3 전원 장치의 단자에 연결된 도선을 서로 바꾸면 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향이 서쪽으로 바뀌므로 합성 자기장의 방향은 북서쪽이 된다.

3-4 (1) 솔레노이드에 전류가 흐르지 않으면 자침의 N극은 지구 자기장의 방향인 북쪽을 가리킨다.

(2), (3) 전압이 커지거나 저항의 길이가 짧아지면 전류의 세기가 증가하므로 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 커진다. 따라서 자침의 N극은 동쪽으로 더 회전한다.

(4) 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례하므로, 솔레노이드의 길이만 길어지면 내부 자기장의 세기가 작아지므로 자침의 회전각이 작아진다.

4-1 (가)에서 화살표 방향으로 전류가 흐를 때, (나)에서 보면 N극의 위쪽 코일에는 단면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐르고 자기장은 위쪽 방향이므로 코일은 a 방향으로 자기력을 받는다.

4-2 스피커에서는 전류가 흐르는 도선이 자석에 의한 자기장으로부터 자기력을 받아 진동이 일어나면서 소리가 발생하므로 전기 에너지가 운동 에너지로, 운동 에너지가 소리 에너지로 전환된다.

4-3 전류의 세기가 클수록 코일이 받는 자기력이 커져 진동판의 진폭이 커지므로 큰 소리가 발생한다.

4-4 (1) 코일에 직류가 흐르면 자기력의 방향이 바뀌지 않으므로 진동판이 진동하지 못한다.

(2) 자석의 세기가 클수록 코일이 받는 자기력이 커져 진동판의 진폭이 커지므로 큰 소리가 발생한다.

(3) 코일을 많이 감을수록 자기력을 받는 코일의 길이가 길어지므로 코일이 받는 자기력이 커진다. 코일이 받는 자기력은 그대로 진동판에 전달된다.

(4) 스피커는 전류가 흐르는 도선이 자석이 만든 자기장에 의해 힘을 받는 원리를 이용한 것이다.

내신 안정 문제

204~206쪽

01 ⑤	02 8B	03 ③	04 ③	05 ①	06 해설 참조
07 ③	08 해설 참조	09 ①	10 ⑤	11 ⑤	12 ①
13 해설 참조	14 ④	15 ②	16 해설 참조		

01 ㄱ. 자기력선이 P로 들어가고 Q에서 나오므로 P는 S극, Q는 N극이다.

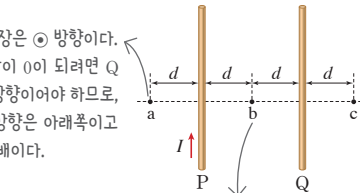
ㄴ. 자극에 가까울수록 자기력선의 간격이 좁아지므로 자기장이 세다.

ㄷ. P와 Q는 서로 다른 극이므로 서로 당기는 자기력이 작용한다.

02 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례하므로, 전류가 4배이고 거리가 $\frac{1}{2}$ 배이면 자기장의 세기는 8배가 된다.

03 품공 문제 분석

a에서 P에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이다. 따라서 a에서 자기장이 0이 되려면 Q에 의한 자기장은 $\times$ 방향이어야 하므로, Q에 흐르는 전류의 방향은 아래쪽이고 전류의 세기는 P의 3배이다.



b에서 P에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 b에서 P와 Q에 의한 자기장의 세기는 $B_0 = B + 3B = 4B$ 이다.

Q에 흐르는 전류의 방향은 아래쪽이고 전류의 세기는 $3I$ 이다. b에서 P에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 하면 b에서 P와 Q에 의한 자기장은 $B_0 = 4B$ 이므로 c에서 P와 Q에 의한 자기장은 $\frac{1}{3}B - 3B = -\frac{8}{3}B$ 이다. 따라서 c에서 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$ 이다.

04 ① 전류는 전원 장치의 (+)극에서 (-)극으로 흐르므로 직선 도선에는 남쪽으로 전류가 흐른다.

② 스위치를 닫으면 지구 자기장에 의해 북쪽을 가리키던 자침의 N극은 도선 아래에 있으므로 전류에 의한 자기장의 방향인 동쪽으로 회전한다.

④ 거리가 멀수록 전류에 의한 자기장의 세기가 작아지므로 자침의 회전각이 작아진다.

⑤ 전류의 방향이 바뀌면 전류에 의한 자기장의 방향이 서쪽이 되므로 자침의 N극은 서쪽으로 회전한다.

바로알기 ③ 가변 저항의 저항값을 감소시키면 전류의 세기가 증가하여 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 자침의 회전각이 커진다.

05 ㄱ. 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 (+)로 하고 a에서 A에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 a에서 A와 B에 의한 자기장은 $B + 3B = 4B$ 이고, c에서 A와 B에 의한 자기장은 $-B - 3B = -4B$ 이다. 따라서 a와 c에서 자기장의 세기는 같다.

바로알기 ㄴ. c에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다. b에서는 A보다 B에 의한 자기장의 세기가 더 크므로 b에서 자기장의 방향도 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. d에서 A와 B에 의한 자기장은 $-B + 3B = 2B$ 이다. a에서 자기장의 세기는 $4B$ 이므로 자기장의 세기는 a에서 d에서의 2배이다.

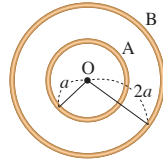
06 O에서 A에 의한 자기장은 $-x$ 방향, B에 의한 자기장은 $+x$ 방향, C에 의한 자기장은 $+y$ 방향이고, O에서 A, B 각각에 의한 자기장의 세기는 같다.

모범 답안 O에서 A와 B에 의한 자기장은 서로 상쇄되므로 O에서 자기장의 방향은 C에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 $+y$ 방향이다.

채점 기준	배점
O에서 자기장의 방향을 쓰고, 그 까닭을 옮겨 서술한 경우	100 %
O에서 자기장의 방향만 옮겨 쓴 경우	50 %

07 P에서 A에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하고, xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 하면, P에서 A, B, C에 의한 자기장은 $B - B - \frac{2}{3}B = -\frac{2}{3}B$ 이므로 $B_0 = \frac{2}{3}B$ 이다. Q에서 A, B, C에 의한 자기장은 $\frac{1}{3}B + B - 2B = -\frac{2}{3}B$ 이므로, P에서의 자기장의 세기와 같다.

08 품공 문제 분석



도선	(가)	(나)	(다)
A	$+I \times B$	$+I \times B$	$-2I \odot 2B$
B	$+2I \times B$	$-2I \odot B$	$+2I \times B$
합성 자기장	$B+B=2B$	$B-B=0$	$-2B+B=-B$

(+는 시계 방향, -는 시계 반대 방향)

원형 도선에 전류가 흐를 때 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선의 반지름에 반비례한다. 도선의 중심에서 자기장의 방향은 전류가 시계 방향일 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 전류가 시계 반대 방향일 때는 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

모범 답안 A에 전류 $+I$ 가 흐를 때 O에서 A에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 O에서 합성 자기장은 (가)일 때 $B+B=2B$, (나)일 때 $B-B=0$, (다)일 때 $-2B+B=-B$ 이다. 따라서 합성 자기장의 세기는 (가)>(다)>(나)이다.

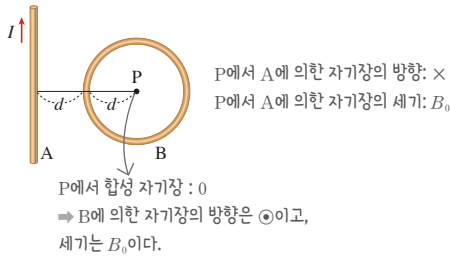
채점 기준	배점
자기장의 세기를 풀이 과정과 함께 옮겨 비교한 경우	100 %
자기장의 세기만 옮겨 비교한 경우	50 %

09 ㄱ. 나침반 자침의 N극이 위쪽을 가리키므로 도선에 흐르는 전류는 b 방향이어야 한다.

바로알기 ㄴ. 원형 전류에 의한 자기장은 중심에서는 직선 모양이고, 도선에 가까울수록 원 모양으로 형성되므로 균일하지 않다.

ㄷ. P에서 자침의 N극이 가리키는 방향은 도선의 중심 O에서와 반대이다.

10 꼼꼼 문제 분석



ㄱ, ㄴ. P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, P에서 합성 자기장은 0이므로 B에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 B에는 시계 반대 방향으로 전류가 흘러야 한다.

ㄷ. A를 왼쪽으로 d 만큼 이동시키면 P에서 A에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$ 이 되므로 합성 자기장은 $\frac{2}{3}B_0 - B_0 = -\frac{1}{3}B_0$ 이 된다.

11 ㄱ. 화살표 방향으로 전류를 흘려 주면 솔레노이드의 위쪽이 N극, 아래쪽이 S극이 되므로 자석의 S극과 척력이 작용하여 저울의 측정값이 증가한다.

ㄷ. 전류의 방향을 반대로 하면 솔레노이드의 아래쪽이 N극이 되어 자석과 인력이 작용하므로 저울의 측정값이 감소한다.

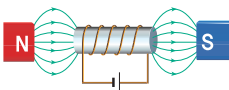
바로알기 ㄴ. 전류의 세기가 증가하면 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 자석과 솔레노이드 사이에 척력이 증가하여 저울의 측정값이 증가한다.

12 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. 따라서 감은 수를 N 이라고 하면 $B_{(7)} : B_{(4)} = 1 \times \frac{N}{20} : 2 \times \frac{N}{40} = 1 : 1$

$$B_{(7)} : B_{(4)} = 1 \times \frac{N}{20} : 2 \times \frac{N}{40} = 1 : 1$$

13 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드의 왼쪽에는 S극이, 오른쪽에는 N극이 형성된다.

모범 답안



채점 기준	배점
자기력선을 방향을 포함하여 옳게 그린 경우	100 %
자기력선을 방향 표시 없이 그린 경우	50 %

14 ① 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다. 따라서 나침반이 있는 곳에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.

②, ③ 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 코일의 감은 수에 비례하고, 전류의 세기에 비례한다.

⑤ 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 솔레노이드에 의한 자기장의 방향도 바뀐다.

바로알기 ④ 철심은 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기를 더 강하게 해 주는 역할을 한다. 따라서 철심을 빼면 자기장의 세기가 감소한다.

15 ①, ③, ④, ⑤ 전자석, 전동기, 자기 부상 열차, 자기 공명 영상 장치는 코일에 전류가 흐를 때 형성되는 자기장을 이용한 것이다.

바로알기 ② 마이크는 소리에 의해 코일이 자석 근처에서 진동하면 코일에 전류가 유도되는 현상, 즉 전자기 유도를 이용한 것이다.

16 코일에 전류가 흐르면 코일에 자기장이 형성된다. 교류는 전류의 세기와 방향이 주기적으로 바뀌는 전류이므로 코일에 형성되는 자기장도 주기적으로 변한다. 이에 따라 코일이 자석으로부터 받는 자기력이 주기적으로 변하면서 코일에 부착된 진동판이 진동하게 된다.

모범 답안 전류의 방향이 바뀌는 교류에 의해 코일에 형성되는 자기장이 변하여 자석과 코일 사이에 작용하는 자기력의 방향이 바뀌기 때문이다.

채점 기준	배점
교류의 특성과 자기력의 변화를 함께 옳게 서술한 경우	100 %
자기력의 변화만 옳게 쓴 경우	50 %

실력 UP 문제

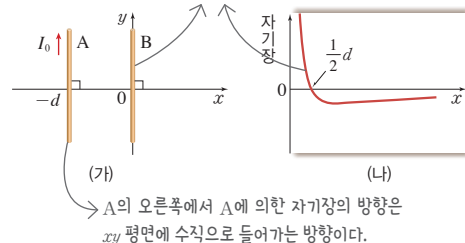
207쪽

01 ② 02 ③ 03 ⑤ 04 ①

01 꼼꼼 문제 분석

$0 < x < \frac{1}{2}d$ 에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이므로

B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이어야 한다.



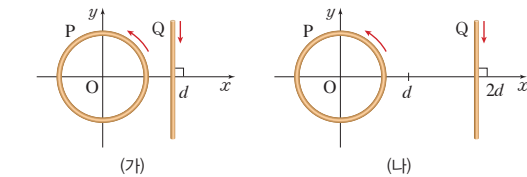
$x = \frac{1}{2}d$ 에서 A, B에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이고, B로부터 $x = \frac{1}{2}d$ 까지의 거리가 A로부터 거리의 $\frac{1}{3}$ 배이므로 전류의 세기는 B에서가 A에서의 $\frac{1}{3}$ 배이다. 따라서 B에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{1}{3}I_0$ 이다.

02 반지름이 d , 세기가 I_0 인 전류가 흐르는 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기를 B , xy 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 하면, O에서 A와 B에 의한 합성 자기장은 다음과 같다.

A	B	O에서 A와 B에 의한 자기장
$+I_0$	$-I_0$	$B - \frac{1}{2}B = B_0$ ($\times$ 방향)
$-I_0$	$\odot$	$-B + B' = -3B_0$ ($\odot$ 방향)

$B = 2B_0$ 이고 $\odot$ 에 의한 자기장 $B' = -B_0 = -\frac{1}{2}B$ 이므로 $\odot$ 은 $-I_0$ 이다.

03 꼼꼼 문제 분석



O에서 P에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이고, Q에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄱ. P의 위치는 그대로이고 Q가 멀어짐에 따라 자기장의 방향이 반대로 바뀌므로, 합성 자기장의 방향은 (가)에서는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향, (나)에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. O와 Q 사이의 거리는 (나)에서가 (가)에서의 2배이므로 O에서 Q에 의한 자기장의 세기는 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

ㄷ. (가)에서 합성 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 O에서 Q에 의한 자기장의 세기는 P에 의한 자기장의 세기보다 크다.

04 ㄱ. 솔레노이드 내부에는 균일한 자기장이 형성된다.

바로알기 ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 단위 길이당 감은 수에 비례하므로 자기장의 세기는 B가 A보다 크다.

ㄷ. 전류의 방향에 따라 A에서는 왼쪽, B에서는 오른쪽 방향으로 자기장이 형성된다. 즉, A의 오른쪽이 S극이 되고 B의 왼쪽이 S극이 된다. 따라서 A와 B 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

물질의 자성

개념 확인 문제

210쪽

- ① 원자 자석 ② 자기화 ③ 반자성 ④ 스핀 ⑤ 상자성체
⑥ 반자성체 ⑦ 강자성체 ⑧ 초전도체 ⑨ 반자성

- 1 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\odot$ 2 (1) 시계 (2) 들어가는 3 (1) $\ominus$ (2) $\odot$ (3) $\odot$ 4 상자성체 5 $\perp$, $\parallel$ 6 (1) $\times$ (2) $\odot$

1 (1) 자성의 원인은 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀이며, 물질이 자성을 띠는 데 더 중요한 역할을 하는 것은 전자의 스핀이다.
(2) 대부분의 물질은 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀에 의한 자기장이 0이거나 매우 작아 자성을 띠지 않는다.
(3) 강자성체 내부에서 원자 하나하나의 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 자기장을 형성하므로 자석과 같은 역할을 한다.

2 (1) 전류의 방향은 전자의 운동 방향과 반대 방향으로 정한다. 따라서 전자가 시계 반대 방향으로 궤도 운동을 하면 전류는 전자의 운동 방향과 반대인 시계 방향으로 흐르는 것과 같다.
(2) 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 중심에서 자기장의 방향이다. 따라서 네 손가락이 시계 방향일 때 엄지손가락은 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 가리킨다.

3 (1) 강자성체는 외부 자기장에 놓이면 외부 자기장의 방향으로 강하게 자기화된다.(㉔)
(2) 상자성체는 외부 자기장에 놓이면 외부 자기장의 방향으로 약하게 자기화된다.(㉕)
(3) 반자성체는 외부 자기장에 놓이면 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.(㉖)

4 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되었지만 자기 구역이 없으므로 이 자성체는 상자성체이다.

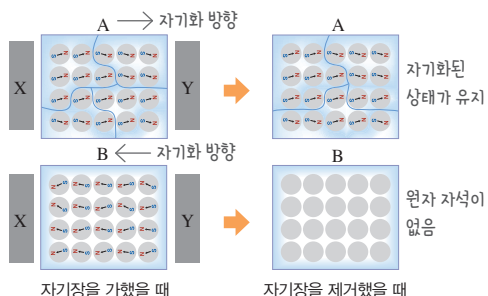
5 유리 막대가 자석에 의해 밀려난 까닭은 유리가 반자성체이기 때문이다. 반자성체에 해당하는 것은 구리와 물이다.
ㄱ. 니켈은 강자성체이다.
ㄷ, ㄴ. 알루미늄과 종이는 상자성체이다.

6 (1) 초전도체가 외부 자기장을 밀어내는 것은 반자성에 의한 현상이다.
(2) 초전도체는 반자성을 가지고 있어서 외부 자기장을 가하면 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

자료 1 1 A: 강자성체, B: 반자성체 2 X: N극, Y: S극
3 A: 인력, B: 척력 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○

자료 2 1 (1) 인력 (2) 오른쪽 (3) 인력 2 감소한다. 3 증가한다. 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



A는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 유지되므로 강자성체이다. B는 외부 자기장을 제거했을 때 원자 자석이 없으므로 반자성체이다.

1-2 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 강자성체인 A의 원자 자석들이 자석에 의해 오른쪽으로 자기화되었으므로 X와 Y 사이에서 자석에 의한 자기장의 방향은 오른쪽이다. 따라서 X는 N극이고, Y는 S극이다.

1-3 자기장을 가했을 때 A는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 자석으로부터 인력을 받고, B는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화되므로 자석으로부터 척력을 받는다.

1-4 (1) A는 강자성체로 원자 내에 짝을 이루지 않은 전자들이 많고 원자 자석들이 같은 방향으로 정렬되어 있는 자기 구역이 있다. (2) B는 반자성체로 원자 내에 전자들이 모두 짝을 이루어 전자의 운동에 의한 자기장이 완전히 상쇄된다. (3) A는 외부 자기장을 가한 후 자기화된 상태가 오래 유지되지만 외부 자기장을 가하지 않아도 저절로 자기화되지는 않는다. (4) 전자석에 이용되는 자성체는 강자성체이다. (5) 초전도체는 B와 같이 반자성을 가지고 있어 자석을 밀어내는 성질이 있다.

2-1 (1) 두 막대 모두 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화되므로 상자성 막대의 오른쪽에 N극, 강자성 막대의 왼쪽에 S극이 형성된다. 따라서 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.

(2) a점에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.

(3) 전류가 흐르지 않으면 강자성 막대는 자기화된 상태가 유지되고, 상자성 막대는 자기화된 상태가 사라진다. 하지만 상자성 막대는 자기화되어 있는 강자성 막대에 의해 다시 자기화되면서 둘 사이에는 인력이 작용한다.

2-2 S를 열면 양쪽의 솔레노이드에 의한 자기장이 사라지고, 상자성 막대와 강자성 막대에 의한 자기장만 남게 되므로 a에서 자기장의 세기는 감소한다.

2-3 강자성 막대는 상자성 막대에 비해 솔레노이드가 만드는 자기장에 의해 강하게 자기화된다. 따라서 상자성 막대를 강자성 막대로 바꾸면 두 솔레노이드와 두 강자성 막대에 의해 a점에서 자기장의 세기는 증가한다.

2-4 (1) 솔레노이드에 막대를 넣지 않으면 강자성 막대나 상자성 막대에 의한 자기장이 더해지지 않으므로 솔레노이드 내부 자기장의 세기가 작아진다.

(2) S를 열어도 상자성 막대는 자기화된 상태가 유지되는 강자성 막대에 의해 자기화되므로 자성을 잃지 않는다.

(3) 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오랫동안 유지된다.

(4) 전류의 세기를 증가시키면 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 a점에서 자기장의 세기가 증가한다.

(5) 전류의 방향이 바뀌면 솔레노이드에 의한 자기장의 방향이 바뀌므로 a점에서 자기장의 방향이 바뀐다.

내신 안정 문제

212~214쪽

01 ③ 02 ⑤ 03 ⑤ 04 해설 참조 05 강자성체, N극
06 ② 07 $w_3 > w > w_2 > w_1$ 08 ③ 09 ③ 10 ①
11 ⑤ 12 (1) 강자성체 (2) 해설 참조 13 ③ 14 ② 15 ⑤

01 ① 물질의 자성은 원자핵 주위를 도는 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀에 의해 나타난다.

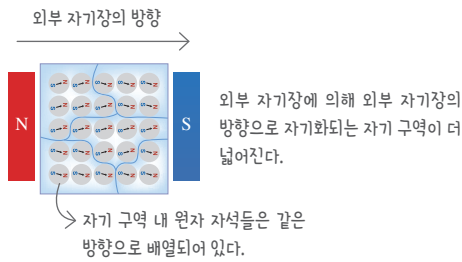
② 두 전자가 스핀이 서로 반대인 방향으로 짝을 이루면 자기장이 상쇄되므로 원자 자석의 효과가 나타나지 않는다.

④ 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 원자 자석들이 다시 무질서하게 배열되면서 자성이 사라진다.

⑤ 반자성체는 자석이 만드는 자기장의 반대 방향으로 자기화되므로 자석에 척력을 작용한다.

바로알기 ③ 강자성체는 스핀이 서로 반대인 방향으로 짝을 이루지 않은 전자들이 많아 자성을 띠기 쉽다.

02 꼼꼼 문제 분석



⑤ 외부 자기장의 방향으로 자기화되면서 자기 구역이 넓어졌으므로 이 물질은 강자성체이다. 강자성체는 원자 내에 스핀이 서로 반대인 방향으로 짝을 이루지 않은 전자들이 많다.

바로알기 ① 이 물질은 강자성체이다.

② 물질의 자성은 전자의 운동에 의해 나타난다.

③ 초전도체는 반자성을 띈다.

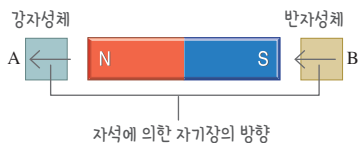
④ 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

03 ㄴ. 반자성체는 원자 자석이 없으므로 외부 자기장을 제거하면 자성이 바로 사라진다.

ㄷ. 반자성체는 원자 내에 스핀이 서로 반대인 전자들이 완전히 짝을 이루므로 원자 자석이 없다.

바로알기 ㄱ. 반자성체는 외부 자기장을 가할 때 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 반자성체의 자기화된 방향이 왼쪽이므로 외부 자기장의 방향은 오른쪽이다.

04 꼼꼼 문제 분석



A는 자석에 의한 자기장의 방향으로 자기화되고, B는 자석에 의한 자기장의 반대 방향으로 자기화된다.

모범 답안 A는 자석으로부터 오른쪽으로 인력을 받고, B는 자석으로부터 오른쪽으로 척력을 받는다.

채점 기준	배점
A, B 모두 옳게 쓴 경우	100 %
A, B 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

05 물체를 자석으로부터 분리시켜 솔레노이드 가까이 놓았을 때 자기력을 받았으므로, 물체는 자기화된 후 자성을 그대로 유지한 것이다. 따라서 물체는 강자성체이다. 또한 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드의 왼쪽에 S극이 형성되는데, 물체가 인력을 받았으므로 P는 N극이다.

06 ㄷ. B는 상자성체이므로 (가)에서 B의 아래에 자석을 놓으면 자석이 만드는 자기장의 방향으로 약하게 자기화되면서 자석으로부터 인력을 받아 아래로 움직인다.

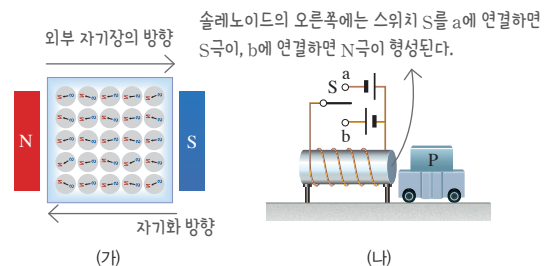
바로알기 ㄱ, ㄴ. (나)에서 A가 자석으로부터 척력을 받아 위로 운동하는 까닭은 A가 자석이 만드는 자기장의 반대 방향으로 자기화되었기 때문이다. 따라서 A는 반자성체이고, A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

07 저울에 측정되는 값은 자석을 포함한 아크릴 관의 무게와 물체가 자석에 작용한 자기력의 합력과 같다. 강자성체와 상자성체는 자석에 인력을 작용하고, 반자성체는 자석에 척력을 작용한다.

물체	아크릴 관의 무게	자기력의 크기	저울 측정값
없음	w	없음	w
강자성체	w	f_1 (위쪽)	w_1
상자성체	w	f_2 (위쪽)	w_2
반자성체	w	f_3 (아래쪽)	w_3

아래쪽 방향의 힘을 (+)로 하면 $w_1 = w - f_1$, $w_2 = w - f_2$, $w_3 = w + f_3$ 이다. 따라서 w_3 이 가장 크고, 상자성체가 자석을 당기는 힘 f_2 는 강자성체가 자석을 당기는 힘 f_1 보다 작으므로 $w_2 > w_1$ 이다.

08 꼼꼼 문제 분석



ㄱ, ㄴ. (가)에서 P는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화되므로 반자성체이다. (나)에서 스위치 S를 a에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽에 S극이 형성되므로 반자성체인 P는 왼쪽이 S극이 되도록 자기화되어 솔레노이드로부터 척력을 받는다.

바로알기 ㄷ. (나)에서 스위치 S를 b에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 형성되므로, 반자성체인 P는 왼쪽이 N극이 되도록 자기화되어 솔레노이드로부터 척력을 받는다.

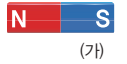
09 ㄱ. A는 자석으로부터 밀려나므로 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다.

ㄴ. B는 자석에 끌려오므로 상자성체이고 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

바로알기 ㄷ. 반자성체와 상자성체 모두 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

10 꼼꼼 문제 분석

A와 자석 사이에 서로 미치는 자기력이 작용하므로 A는 반자성체이다.



B와 자석 사이에 서로 당기는 자기력이 작용하므로 B는 강자성체이거나 상자성체이다.

A와 B 사이에 자기력이 작용하므로 B의 자기화된 상태가 계속 유지된 것이다. 따라서 B는 강자성체이다.

ㄱ. B는 자기화된 상태가 계속 유지되므로 강자성체이다.

바로알기 ㄴ. A는 반자성체이므로 (가)에서 A는 자석에 가까운 쪽이 S극이 되도록 자기화된다.

ㄷ. (나)에서 A는 B의 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 A와 B 사이에는 서로 미치는 자기력이 작용한다.

11 ㄱ. 자기력선이 X극으로 들어가는 모양이므로 X극은 S극이다.

ㄴ. A는 상자성체이므로 자석의 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 즉, A는 자석에 가까운 쪽이 N극이 되도록 자기화된다.

ㄷ. A는 자석에 가까운 쪽이 N극이 되므로 자석과 A 사이에는 서로 당기는 자기력을 작용한다.

12 (가)에서 철못이 전자석에 달라붙었고, (나)에서 클립이 철못에 달라붙었으므로 철못은 강자성체이다. 전류의 방향에 따라 전자석은 오른쪽이 N극이고 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 (가)에서 철못의 끝은 N극이 된다.

모범 답안 (1) 강자성체

(2) 전류에 의한 자기장의 방향이 오른쪽이고, 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 철못 끝은 N극이 된다.

채점 기준	배점
(1) 자성체의 종류를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) 자극의 종류와 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
자극의 종류만 옳게 쓴 경우	20 %

13 A, C는 자기화된 상태가 오래 유지되는 성질을 가지고 있어야 하므로 강자성체이다.

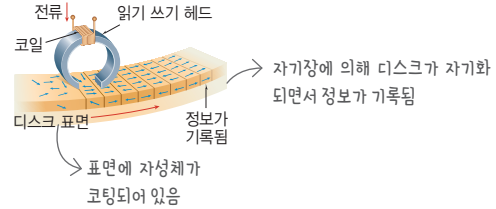
바로알기 B의 초전도체는 자기장을 밀어내는 성질이 있는 반자성체이다.

14 ㄷ. 고철은 전자석에 가까이 했을 때 강하게 달라붙으므로 강자성체이다.

바로알기 ㄱ. 액체 산소는 자석에 약하게 끌리므로 상자성체이다.

ㄴ. (나)에서 물방울이 떠 있는 까닭은 반자성체인 물이 자기장에 의해 척력을 받기 때문이다. 따라서 솔레노이드 내부에 물을 넣으면 물은 솔레노이드가 만드는 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 내부 자기장이 더 약해진다.

15 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 성질이 있다.

ㄷ. 하드디스크의 전원을 끄면 헤드에 흐르는 전류에 의한 자기장이 사라진다. 하지만 강자성체는 한번 자기화되면 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오랫동안 유지되므로 정보가 사라지지 않는다.

바로알기 ㄱ. 자기장에 의해 디스크가 자기화되면서 정보를 기록하고, 한번 기록된 정보를 오래 저장하기 위해 플래터 표면은 강자성체로 코팅한다.

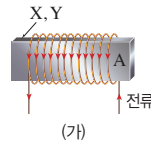
실력 UP 문제

215쪽

01 ② 02 ④ 03 ④ 04 ①

01 꼼꼼 문제 분석

솔레노이드는 전류의 방향에 따라 오른쪽이 N극이 되도록 자기장이 형성된다.



Y와 Z 사이에 서로 미치는 자기력이 작용했으므로 (가)에서 Y의 자기화된 상태가 유지되어야 한다. 따라서 Y는 강자성체이고, Z는 반자성체이다.



ㄴ. Y는 자기화된 상태가 계속 유지되므로 강자성체이다.

바로알기 ㄱ. Y는 강자성체이고 Z는 반자성체이므로 X는 상자성체이다. 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되므로 X는 A쪽이 N극이 되도록 자기화된다.

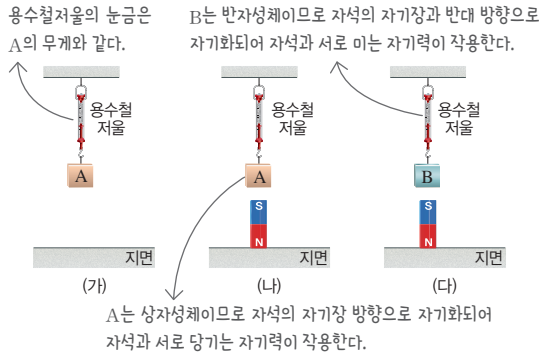
ㄷ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 자기 정보를 기록하는 데 이용할 수 없다.

02 ㄱ. 유리 막대는 자석에 밀려났으므로 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다.

ㄷ. 지폐는 자석에 끌려왔으므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 성질을 가지고 있다. 지폐의 숫자가 있는 부분은 위조지폐 감별에 이용되며 자기화된 상태가 오래 유지되어야 하므로 강자성체가 들어 있다.

바로알기 ㄴ. 유리 막대는 반자성체이므로 (가)에서 자석의 S극을 가까이 해도 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 밀려난다.

03 꼼꼼 문제 분석



① A는 상자성체이므로 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다. 따라서 (나)에서 A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

② (나)에서 자석이 A를 당기므로 용수철저울의 눈금은 (가)에서 보다 크다.

③ (다)에서 자석이 B를 밀어내므로 용수철저울의 눈금은 (가)에서 보다 작다.

⑤ (나)와 (다)의 A와 B를 분리하면 A와 B 모두 자기화된 상태가 사라지므로 자기력이 작용하지 않는다.

바로알기 ④ (나)에서는 A가 자석을 당기므로 자석이 지면을 누르는 힘이 자석의 무게보다 작고, (다)에서는 B가 자석을 밀어내므로 자석이 지면을 누르는 힘이 자석의 무게보다 크다.

04 ㄱ. 스위치를 닫으면 도선에 흐르는 전류에 의해 도선 내부에서는 오른쪽으로 자기장이 형성된다. 이때 반자성 막대는 오른쪽이 S극이 되도록 자기화되고, 강자성 막대는 왼쪽이 S극이 되도록 자기화된다. 따라서 두 막대 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

바로알기 ㄴ. 반자성 막대는 외부 자기장과 반대 방향으로, 강자성 막대는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되는 성질이 있다. 따라서 전류의 방향을 바꾸면 두 막대의 자기화되는 방향이 반대로 바뀌지만 두 막대는 서로 마주보는 부분이 같은 극으로 자기화되므로 서로 미는 자기력이 작용한다.

ㄷ. S를 열어도 강자성 막대는 자기화된 상태가 유지되므로 반자성 막대가 강자성 막대의 자기화된 방향과 반대 방향으로 자기화되어 두 막대 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

3 전자기 유도

개념 확인 문제

220쪽

- ① 자기 선속 ② 유도 ③ 렌츠 ④ 같은 ⑤ 미는
⑥ 유도 기전력 ⑦ 패러데이 ⑧ 시간적 변화율 ⑨ 비례
⑩ 전기 ⑪ 마이크

- 1 ㄱ, ㄴ, ㄷ 2 $A \rightarrow R \rightarrow B$ 3 ㄱ - ㄷ, ㄴ - ㄷ 4 2000 V
5 (1) 시계 반대 방향 (2) $B < C$ 6 ④

1 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 유도 전류는 막대자석이 움직이거나 코일이 움직여서 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하거나 감소할 때 발생한다. ㄷ. 막대자석을 코일 안에 정지시켜 놓으면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 발생하지 않는다.

2 S극이 코일에 가까워지므로 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 $A \rightarrow R \rightarrow B$ 이다.

3 ㄱ, ㄷ. N극이 가까워질 때는 아래쪽 방향의 자기 선속이 증가하고, S극이 멀어질 때는 위쪽 방향의 자기 선속이 감소하므로 두 경우 모두 위쪽 방향의 유도 자기장이 형성된다.

ㄴ, ㄷ. N극이 멀어질 때는 아래쪽 방향의 자기 선속이 감소하고, S극이 가까워질 때는 위쪽 방향의 자기 선속이 증가하므로 두 경우 모두 아래쪽 방향의 유도 자기장이 형성된다.

4 유도 기전력(V)은 코일의 감은 수와 자기 선속의 시간적 변화율의 곱에 비례하므로 다음과 같이 구한다.

$$V = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = 200 \times \frac{1 \text{ Wb}}{0.1 \text{ s}} = 2000 \text{ V}$$

5 (1) A에서는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 도선을 통과하는 자기 선속도 증가한다. 따라서 이를 방해하기 위해 도선에는 종이면에서 수직으로 나오는 자기장을 형성해야 하므로 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(2) B에서는 자기장의 세기가 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 유도 전류가 흐르지 않는다. C에서는 자기장의 변화로 도선에 유도 전류가 발생하므로 유도 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.

6 ①, ②, ③ 발전기, 전자 기타, 다이내믹 마이크는 자석과 코일의 상대적인 운동에 의한 전자기 유도를 이용한다.

④ 스피커는 전류가 흐르는 도선이 자석에 의해 자기력을 받는 것을 이용한다.

⑤ 금속 탐지기는 두 코일에 의한 전자기 유도를 이용한다.

자료 1 1 ㉠ 원, ㉡ S, ㉢ 유도 전류 2 A → ㉢ → B 3 L
4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

자료 2 1 (1) 0 (2) 반대이다 (3) 커진다 2 B=D 3 B: 왼쪽, D: 왼쪽 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

자료 3 1 (1) C (2) A (3) A 2 3 : 1 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

자료 4 1 주기적으로 변한다. 2 운동 에너지 → 전기 에너지
3 도선을 빠르게 회전시킨다. 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

1-1 코일 내부에 ㉠왼쪽 방향으로 자기 선속을 만들기 위해 코일의 오른쪽에 ㉡S극이 유도되도록 ㉢유도 전류가 흐른다.

1-2 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성되어야 하므로 검류계에 흐르는 유도 전류의 방향은 A → ㉢ → B이다.

1-3 ㄱ, ㄴ. N극을 코일에 가까이 하거나 S극을 코일에서 멀리 하면 코일에는 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성되므로, 유도 전류가 N극이 멀어질 때와 반대 방향으로 흐른다.

ㄷ. S극을 코일에 가까이 하면 이를 방해하기 위해 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 N극이 멀어질 때와 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다.

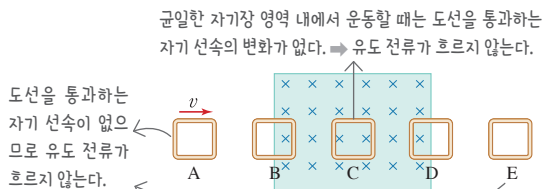
1-4 (1) 자석의 세기가 셀수록 코일을 통과하는 자기 선속의 변화량이 크므로 유도 전류의 세기도 커진다.

(2) 코일의 감은 수를 증가시키면 자기 선속의 변화량이 커지는 효과가 있으므로 유도 전류의 세기가 커진다.

(3) 자석이 정지하면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(4) 자석을 코일 속에 넣어 놓으면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

2-1 품평 문제 분석



(1) C에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 0이다.

(2) 도선을 통과하는 자기 선속이 B에서는 증가하고 D에서는 감소하므로 B와 D에서 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

(3) 도선의 속력이 클수록 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 커진다.

2-2 도선이 일정한 속력으로 운동하므로 B와 D에서 자기 선속의 변화율이 같다. 따라서 B와 D에서 유도 전류의 세기는 같다.

2-3 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르고 이에 따라 도선의 운동을 방해하는 자기력이 나타나므로, B와 D에서 도선이 받는 자기력의 방향은 모두 왼쪽이다.

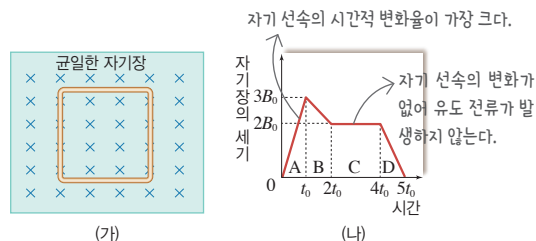
2-4 (1) A와 E에서는 도선을 통과하는 자기 선속이 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) B에서는 수직으로 들어가는 자기 선속이 증가하므로 수직으로 나오는 유도 자기장을 만들기 위해 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(3) C에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(4) D에서는 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로 도선에는 수직으로 들어가는 방향의 유도 자기장이 형성된다.

3-1 품평 문제 분석



(1) C 구간에서는 자기장의 세기가 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) 시간에 따라 자기장의 세기가 가장 크게 변하는 구간은 A이다. 따라서 A 구간에서 자기 선속의 변화율이 가장 크므로 유도 전류의 세기도 가장 크다.

(3) 도선을 통과하는 자기 선속이 A 구간에서는 증가하고 B 구간에서는 감소하므로, 유도 전류는 A와 B 구간에서 서로 반대 방향으로 흐른다.

3-2 유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율에 비례한다. A 구간에서는 자기장의 세기가 t_0 동안 $3B_0$ 만큼 증가하였고, B 구간에서는 자기장의 세기가 t_0 동안 B_0 만큼 감소했다. 따라서 A 구간과 B 구간에서 자기 선속의 변화율은 3 : 1이므로 $I_A : I_B = 3 : 1$ 이다.

3-3 (1) C 구간에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) B 구간과 D 구간 모두 자기 선속이 감소하므로 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 같다.

(3) A 구간에서 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 이를 방해하기 위해 도선에는 수직으로 나오는 방향의 유도 자기장을 형성하도록 전류가 흘러야 한다. 따라서 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(4) 그래프의 기울기는 자기장의 시간적 변화율과 같다. 유도 전류는 자기 선속의 시간적 변화율에 비례하는데, 자기 선속의 변화는 자기장의 변화에 비례하므로 유도 전류의 세기는 그래프의 기울기에 비례한다.

4-1 도선이 일정한 속력으로 회전하면 자기력선에 수직인 도선의 넓이가 주기적으로 변하므로 도선을 통과하는 자기 선속도 주기적으로 변한다.

4-2 도선을 회전시키면 유도 전류가 발생하므로 회전시킬 때의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

4-3 도선이 빠르게 회전할수록 도선을 통과하는 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 기전력이 크게 발생하여 전구가 더 밝아진다.

4-4 (1) 자석에 의한 자기장의 세기는 도선의 회전과는 관계없이 일정하다.

(2) 도선을 회전시키면 도선의 회전을 방해하는 자기력이 나타난다. 따라서 도선을 계속해서 일정한 속력으로 회전시키려면 외부에서 일을 해 주어야 한다.

(3) 자석의 세기가 셀수록, 도선의 감은 수가 많을수록 도선을 통과하는 자기 선속의 변화량이 커지므로 유도 전류의 세기가 커진다.

(4) 도선을 반대 방향으로 회전시켜도 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기므로 유도 전류가 흐른다.

내신 만점 문제

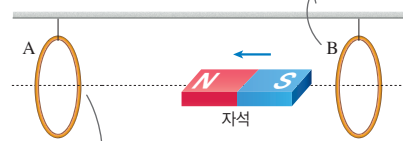
223~227쪽

- 01 ④ 02 ② 03 해설 참조 04 ⑤ 05 ② 06 해설 참조
07 ④ 08 ③ 09 ③ 10 ② 11 ⑤ 12 ③
13 ② 14 해설 참조 15 ⑤ 16 ① 17 P: a 방향, Q: a 방향
18 ② 19 ③ 20 ③ 21 ④ 22 ③ 23 ④
24 ④

01 N극이 멀어지면 이를 방해하기 위해 코일에는 왼쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 유도 전류는 b 방향으로 흐른다. 또한 코일의 오른쪽은 N극이 되므로 나침반 자침의 N극은 동쪽을 가리키게 된다.

02 꼼꼼 문제 분석

S극이 멀어지므로 왼쪽 방향의 자기 선속이 감소한다.
→ 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만든다.



N극이 접근하므로 왼쪽 방향의 자기 선속이 증가한다.
→ 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만든다.

ㄷ. 자석은 A로부터 오른쪽으로 척력을 받고, B로부터 오른쪽으로 인력을 받는다. 따라서 A와 B로부터 자석이 받는 자기력의 방향은 같다.

바로알기 ㄱ. A는 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만들고, B는 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만든다. 따라서 A와 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. B가 A보다 자석에 가까우므로 자기 선속의 변화량은 B가 A보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

03 자석을 빠르게 움직일수록, 더 강한 자석을 이용할수록, 코일의 감은 수가 많을수록 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 증가하여 검류계 바늘이 더 크게 움직인다.

모범 답안 • 자석을 빠르게 움직인다. • 센 자석을 이용한다. • 코일의 감은 수를 많게 한다. 등

채점 기준	배점
세 가지 모두를 옳게 쓴 경우	100 %
두 가지만 옳게 쓴 경우	60 %
한 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

04 (가), (나)에서 코일의 감은 수는 같은데 자석의 처음 높이는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로, 자석이 낙하하여 코일 속으로 들어가는 순간의 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 또한 (나)와 (다)에서 자석의 높이는 같은데 코일의 감은 수는 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 유도 전류의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

05 ㄷ. 자석이 a를 지날 때 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용하고, 자석이 b를 지날 때 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다. 즉, 자석이 a, b를 지날 때 모두 그림의 왼쪽으로 자기력을 받는다.

바로알기 ㄱ. 렌츠 법칙에 따라 자석이 a를 지날 때 저항에는 왼쪽으로 유도 전류가 흐르고, 자석이 b를 지날 때 저항에는 오른쪽으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. 솔레노이드에 유도 전류가 흐르는 동안 자석에는 자석의 운동을 방해하는 자기력이 작용하므로 자석이 a를 지날 때보다 b를 지날 때 속력이 더 느리다. 따라서 유도 전류의 세기는 자석이 b를 지날 때가 a를 지날 때보다 작다.

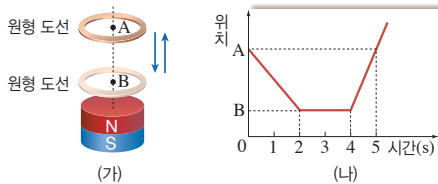
06 p를 지날 때 고리에 ㉠ 방향으로 전류가 흐르므로 금속 고리에는 아래쪽이 S극이 되도록 자기장이 형성된다. 이때 자석과 고리 사이에는 인력이 작용해야 하므로 자석의 윗면은 N극이다.

모범 답안 금속 고리의 아래쪽이 S극이 되도록 자기장이 형성되고 자석과 고리 사이에는 인력이 작용하므로 자석의 윗면은 N극이다.

채점 기준	배점
자석의 극을 까닭과 함께 옳게 쓴 경우	100 %
자석의 극만 옳게 쓴 경우	50 %

07 품공 문제 분석

도선이 A에서 B까지와 B에서 A까지 운동하는 동안 자기 선속의 변화량은 같다. 도선이 운동한 시간은 A에서 B까지가 B에서 A까지보다 길다.



B에서 A까지 운동할 때가 A에서 B까지 운동할 때보다 자기 선속의 변화율이 크고, 2초부터 4초까지는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 유도 전류의 세기는 5초일 때가 1초일 때보다 크고, 3초일 때는 0이다.

08 ㄱ. 자석이 위로 올라가는 동안 N극이 멀어지므로 코일에는 위쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 유도 전류의 방향은 b이다.

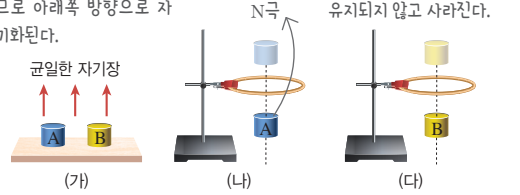
ㄴ. 자석은 위로 올라가는 동안에는 아래쪽으로 자기력을 받고, 아래로 내려가는 동안에는 위쪽으로 자기력을 받는다. 즉, 코일은 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 작용한다.

바로알기 ㄴ. 자석은 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받으므로 코일이 없을 때보다 진폭이 더 빨리 감소한다.

09 코일의 감은 수는 (나)에서가 (가)에서보다 많으므로 자석이 a를 지나는 순간 유도 자기장과 유도 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 자석이 받는 자기력의 크기도 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 자기력을 크게 받을수록 자석의 속력이 더 많이 감소하므로 b에서 자석의 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 느리다.

10 품공 문제 분석

A는 강자성체이므로 위쪽 방향으로, B는 반자성체이므로 아래쪽 방향으로 자기화된다.



ㄴ. (나)에서 A는 자기화된 상태가 유지되므로 A가 운동함에 따라 도선을 통과하는 자기 선속이 변하여 도선에는 유도 전류가 흐른다.

바로알기 ㄱ. A는 강자성체, B는 반자성체이므로, (가)에서 A와 B는 서로 반대 방향으로 자기화된다.

ㄴ. (다)에서 B는 자기화되어 있지 않으므로 도선에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

11 ㄱ. 0초부터 1초까지는 자기장의 세기가 일정하여 도선을 통과하는 자기 선속이 변하지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. (나)에서 그래프의 기울기, 즉 자기장의 변화율은 4초일 때가 2초일 때보다 크다. 자기장의 변화율이 클수록 유도 전류의 세기가 크다.

ㄴ. 2초일 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 도선에는 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐르고, 4초일 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 감소하므로 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

12 A. 도선이 자기장 영역으로 들어가는 운동을 함에 따라 도선을 통과하는 자기 선속이 증가하므로 유도 전류가 흐른다.

B. 도선이 자기장 영역에서 빠져나오는 운동을 함에 따라 도선을 통과하는 자기 선속이 감소하므로 유도 전류가 흐른다.

바로알기 C. 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

13 품공 문제 분석



- 점 p가 $x=0$ 을 지날 때: $\odot$ 방향 자기 선속 증가 $\rightarrow$ 시계 방향 유도 전류
- 점 p가 $x=d$ 을 지날 때: $\odot$ 방향 자기 선속 감소, $\times$ 방향 자기 선속 증가 $\rightarrow$ 시계 반대 방향 유도 전류
- 점 p가 $x=2d$ 을 지날 때: $\times$ 방향 자기 선속 증가 $\rightarrow$ 시계 반대 방향 유도 전류
- 점 p가 $x=3d$ 을 지날 때: $\times$ 방향 자기 선속 감소 $\rightarrow$ 시계 방향 유도 전류

금속 고리에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 점 p의 위치에 따라 고리를 통과하는 단위 시간당 자기장의 변화를 나타내면 다음과 같다.

점 p의 위치	자기장 변화	전체 자기장 변화
$x=0$ 을 지날 때	⊙ 방향 B만큼 증가	⊙ 방향 B만큼 증가
$x=d$ 를 지날 때	⊙ 방향 B만큼 감소, × 방향 B만큼 증가	× 방향 2B만큼 증가
$x=2d$ 를 지날 때	× 방향 B만큼 감소, × 방향 2B만큼 증가	× 방향 B만큼 증가
$x=3d$ 를 지날 때	× 방향 2B만큼 감소	× 방향 2B만큼 감소

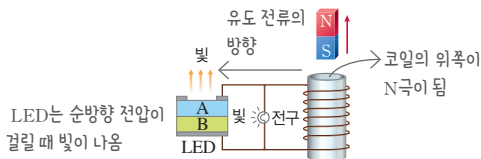
따라서 점 p가 $x=0$ 을 지날 때 시계 방향으로 유도 전류가 흐르며, 이때의 유도 전류의 세기를 I_0 이라고 하면 $x=d$ 를 지날 때는 $-2I_0$, $x=2d$ 를 지날 때는 $-I_0$, $x=3d$ 를 지날 때는 $2I_0$ 의 유도 전류가 흐른다.

14 (나)에서 도선에 유도 전류가 시계 반대 방향으로 흐르므로 막대의 P쪽이 S극이고, 막대는 자기화되어 있는 상태가 유지되고 있으므로 강자성체이다. (가)에서 막대는 P쪽이 S극이 되어야 하므로 전원 장치의 a는 (+)극이고, b는 (-)극이다.

모범 답안 막대는 강자성체이고, 단자 a는 (+)극이다.

채점 기준	배점
자성의 종류와 단자의 극을 모두 옳게 쓴 경우	100 %
두 가지 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

15 품공 문제 분석



ㄱ. 자석의 S극이 코일에서 멀어지므로 코일에는 위쪽이 N극이 되도록, 즉 LED의 A에서 B쪽으로 유도 전류가 흐르도록 유도 기전력이 발생한다. 이때 LED에서 빛이 나오려면 LED에는 순방향 전압이 걸려야 한다. 따라서 A는 p형 반도체이다.

ㄴ. A가 p형 반도체이므로 B는 n형 반도체이다. n형 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

ㄷ. 자석을 아래로 움직이면 유도 기전력의 방향이 바뀌면서 역방향 전압이 걸리므로 LED에서 빛이 나오지 않는다.

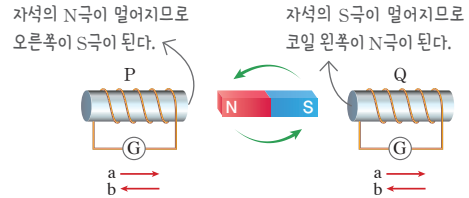
16 원형 도선에 시계 방향으로 유도 전류가 흐르기 위해서는 원형 도선이 있는 곳에서 xy 평면에 들어가는 자기 선속이 감소하거나, xy 평면에서 나오는 자기 선속이 증가해야 한다.

ㄱ. 직선 도선에 흐르는 $+x$ 방향의 전류가 증가하면 원형 도선을 통과하는 xy 평면에서 나오는 자기 선속이 증가한다.

바로알기 ㄴ. 직선 도선에 $-y$ 방향으로 운동시키면 원형 도선을 통과하는 xy 평면에서 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 원형 도선에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

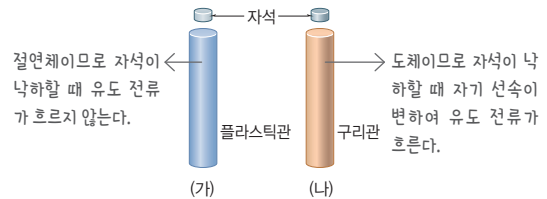
ㄷ. 원형 도선에 $+x$ 방향으로 운동시키면 원형 도선을 통과하는 자기 선속이 변하지 않는다.

17 품공 문제 분석



자석이 회전하면 P의 오른쪽에서는 N극이 멀어지므로 P의 오른쪽이 S극이 되도록 a 방향으로 유도 전류가 흐르고, Q의 왼쪽에서는 S극이 멀어지므로 Q의 왼쪽이 N극이 되도록 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.

18 품공 문제 분석



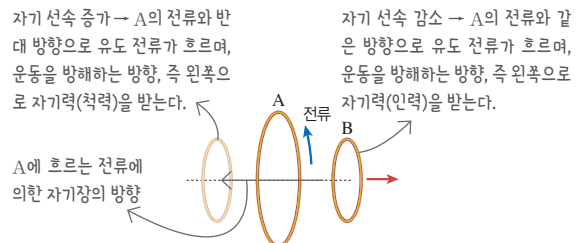
- 자석의 낙하 시간 : 플라스틱관 (가) < 구리관 (나)
- 자석이 바닥에 도달하는 순간 속력 : 플라스틱관 (가) > 구리관 (나)

ㄴ. (가)의 플라스틱관에는 유도 전류가 흐르지 않으므로 자석의 운동이 방해받지 않기 때문에 자석이 바닥에 도달하는 순간의 속력은 (가)에서보다 빠르다.

바로알기 ㄱ. 자석이 떨어질 때 자석이 통과하는 부분의 자기 선속이 변하므로 도체인 (나)의 구리관에는 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 자석이 (나)의 구리관을 통과할 때 유도 전류가 흐르는데, 유도 전류가 자석의 운동을 방해하는 방향으로 흐르므로 자석이 바닥에 도달하는 데 걸리는 시간은 (나)에서보다 길다.

19 품공 문제 분석



ㄱ. A를 통과하기 직전 B에는 A에 의한 자기 선속이 증가하므로 유도 전류가 흐른다. 이때 B는 B의 운동을 방해하는 방향, 즉 왼쪽으로 자기력을 받는다.

ㄷ. 유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율에 비례한다. B의 속력이 클수록 자기 선속의 변화율이 크므로 B에 유도되는 전류의 최댓값이 커진다.

바로알기 ㄴ. A를 통과한 직후에는 B를 통과하는 자기 선속이 감소하므로 B에는 이를 방해하기 위한 방향으로 유도 전류가 흐른다. 즉, A가 만드는 자기장과 같은 방향으로 유도 자기장이 발생해야 하므로 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 A에 흐르는 전류의 방향과 같다.

20 ① 발전기에서는 회전하는 코일의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

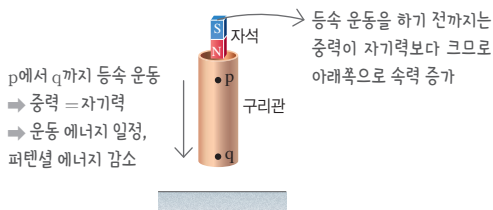
② 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 패러데이 전자기 유도 법칙에 의해 코일에 전류가 유도된다.

④ 코일을 통과하는 자기 선속이 증가할 때와 감소할 때 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 계속 변하는 교류가 발생한다.

⑤ 전류를 얻기 위해서는 코일을 계속 회전시키는 에너지가 필요하며, 발전기의 코일을 회전시키는 데 필요한 에너지원에 따라 수력 발전, 화력 발전, 핵발전 등으로 구분한다.

바로알기 ③ 코일의 단면과 자기장의 방향이 수직일 때 자기 선속이 최대가 되고, 코일의 단면과 자기장의 방향이 나란할 때 자기 선속이 0이 된다. 따라서 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 증가와 감소를 반복한다.

21 꼼꼼 문제 분석



ㄴ. p에서 q까지 자석은 등속도 운동을 하므로 가속도가 0이다. 따라서 자석에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. p에서 q까지 등속도 운동을 하므로 운동 에너지는 일정하다. 하지만 퍼텐셜 에너지가 감소하므로 역학적 에너지는 감소한다. 감소한 역학적 에너지는 전기 에너지로 전환된다.

바로알기 ㄱ. 중력에 의해 가속 운동을 하다가 구리관에 유도 전류가 발생하면 자석에 위쪽으로 자기력이 작용하지만, 입구에서 p까지는 자기력이 중력보다 작기 때문에 알짜힘은 아래쪽이다. 따라서 입구에서 p까지 운동하는 동안 속력이 증가하므로 자석의 가속도 방향은 아래쪽이다.

22 ㄱ. 코일 A는 교류 전원에 연결되어 있으므로 A에는 교류, 즉 주기적으로 변하는 전류가 흐른다.

ㄷ. B에 유도되는 전류의 세기는 B를 통과하는 자기 선속의 시간적 변화율에 비례한다. B를 통과하는 자기 선속의 시간적 변화율은 A에 흐르는 전류의 시간적 변화율에 비례하므로 A에 흐르는 전류의 세기가 커지면 전류의 시간적 변화율이 커져 B에 유도되는 전류의 세기가 커진다.

바로알기 ㄴ. A에 교류가 흐르면 A를 통과하는 자기장이 주기적으로 변하고, 이 자기장이 B의 내부를 통과하므로 B를 통과하는 자기장의 세기와 방향은 주기적으로 변한다.

23 ㄴ. 코일이 아래로 움직여 자석에 가까이 가는 동안 코일의 운동을 방해하는 자기력이 나타난다. 즉, 코일과 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 작용한다.

ㄷ. 마이크는 진동판이 진동하면 전자기 유도에 의해 코일에 유도 전류가 발생하는 과정을 통해 소리를 전기 신호로 변환한다.

바로알기 ㄱ. 코일에 흐르는 유도 전류의 방향을 고려하면 이 순간 코일은 아래쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만들어 자석과 서로 미는 자기력을 작용한다. 따라서 자석의 윗면은 N극이다.

24 ㄴ, ㄷ. 금속 탐지기나 인덕션 레인지는 내부 코일에 흐르는 교류에 의한 자기장의 변화가 금속에 유도 전류를 발생시키는 원리를 이용하여 작동한다.

바로알기 ㄱ. 전기 기타는 줄 아래쪽에 있는 자석에 의해 자기화된 기타줄이 진동하여 코일에 유도 전류가 발생하는 원리를 이용한다.

실력 UP 문제

228쪽

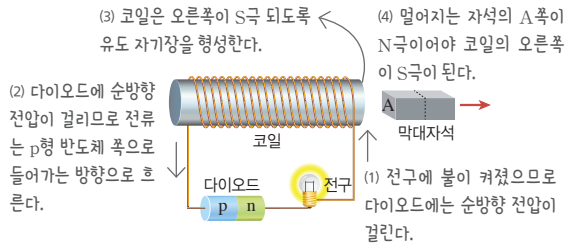
01 ② 02 ③ 03 ③ 04 ⑤

01 ㄷ. 자석이 코일에 가까워질 때는 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하고, 코일에서 멀어질 때는 코일을 통과하는 자기 선속이 감소한다. 따라서 자석이 코일에 가까워질 때와 멀어질 때 코일에 유도되는 전류의 방향은 서로 반대이다.

바로알기 ㄱ. 자석이 코일 근처에서 움직이는 동안 코일에는 유도 전류가 흐르며, 자석의 운동을 방해하는 자기력이 작용한다. 따라서 자석의 진폭은 감소한다.

ㄴ. 자석의 진폭이 감소하면서 자석의 최대 속력도 감소하게 된다. 따라서 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율도 감소하므로 유도 전류의 최댓값도 감소하게 된다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 코일은 오른쪽이 S극이 되어 자석의 운동을 방해하도록 유도 자기장을 형성해야 하므로 자석의 A쪽은 N극이다.

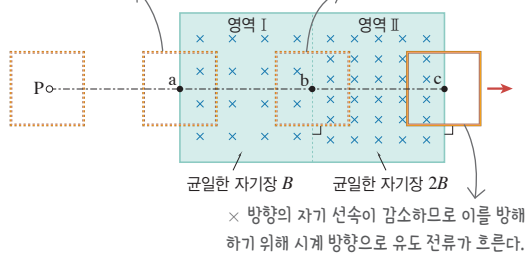
ㄴ. 자석을 코일에 가까워지도록 하면 코일의 오른쪽이 N극이 되도록 유도 기전력이 발생한다. 이때 다이오드에는 역방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르지 않아 전구에 불이 켜지지 않는다.

바로알기 ㄷ. 코일에 유도 전류가 흐르는 동안 코일과 자석 사이에는 자석의 운동을 방해하는 자기력, 즉 서로 당기는 자기력이 작용한다.

03 스위치가 b에 연결되어 있을 때가 a에 연결되어 있을 때보다 닫힌 회로의 면적이 2배이다. 또한 $3t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 자기장 세기의 변화율이 $\frac{1}{2}$ 배이다. 닫힌 회로를 통과하는 자기 선속의 변화율은 자기장 세기의 변화율과 닫힌 회로의 면적의 곱과 같으므로 유도 전류의 세기는 t_0 일 때와 $3t_0$ 일 때가 같다.

04 꼼꼼 문제 분석

× 방향의 자기 선속이 증가하므로 이를 방해하기 위해 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다. a를 지날 때와 마찬가지로 × 방향의 자기 선속이 증가하므로 이를 방해하기 위해 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.



ㄱ. P가 a를 지날 때와 b를 지날 때 모두 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하므로 유도 전류는 시계 반대 방향으로 흐른다.

ㄴ. 자기장의 세기는 영역 II에서가 영역 I에서의 2배이므로 P가 c를 지날 때가 a를 지날 때보다 자기 선속의 변화율이 2배이다. 유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율에 비례한다.

ㄷ. 도선에 유도 전류가 흐르는 동안 도선은 도선의 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 받는다. 즉, 도선이 b를 지날 때와 c를 지날 때 도선이 받는 자기력의 방향은 왼쪽으로 같다.

중단원 핵심 정리

229~230쪽

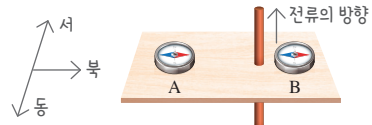
- ① N극 ② 오른손 ③ 직선 ④ 원의 반지름 ⑤ 단위 길이당 코일의 감은 수 ⑥ 전류 ⑦ 자기력 ⑧ 자기화 ⑨ 스핀 ⑩ 자기장 ⑪ 강자성체 ⑫ 반자성체 ⑬ 전자식 ⑭ 액체 자석 ⑮ 초전도체 ⑯ 유도 전류 ⑰ 렌츠 ⑱ 유도 기전력 ⑳ 많을수록 ㉑ 유도 전류

중단원 마무리 문제

231~235쪽

01 ③	02 ③	03 ⑤	04 ①	05 ②	06 ⑤
07 ①	08 ②	09 ⑤	10 ④	11 ③	12 ⑤
13 ②	14 ⑤	15 ④	16 ⑤	17 ③	18 ⑤
19 ④	20 해설 참조	21 해설 참조			

01 꼼꼼 문제 분석



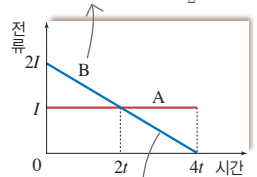
전류가 흐르지 않을 때 두 나침반 자침의 N극이 가리키는 오른쪽 방향이 북쪽이다. 도선에 아래에서 위쪽으로 전류가 흐르면 전류에 의한 자기장에 의해 A의 N극은 동쪽으로 회전하고, B의 N극은 서쪽으로 회전한다. 이때 B가 A보다 도선에 가까이 있으므로 B의 자침의 회전각이 더 크다.

02 꼼꼼 문제 분석

P에서 A와 B에 의한 자기장의 방향은 반대이다.



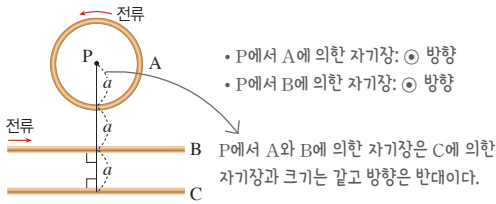
t에서 B의 전류는 A의 $\frac{3}{2}$ 배이다.



3t에서 B에 흐르는 전류는 A의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

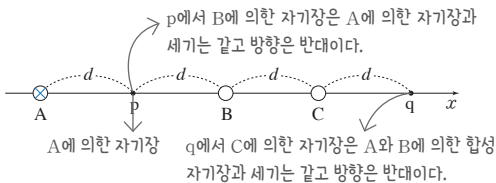
A에 흐르는 전류의 세기가 I 로 일정할 때 t 인 순간과 $3t$ 인 순간 B에 흐르는 전류의 세기는 각각 $\frac{3}{2}I$, $\frac{1}{2}I$ 이다. 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류에 비례하므로, P에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면 t 인 순간 P에서 자기장은 $B - \frac{3}{2}B = -\frac{1}{2}B = -B_0$ 이고, $3t$ 인 순간 P에서 자기장은 $B - \frac{1}{2}B = \frac{1}{2}B$ 이다. 따라서 $3t$ 인 순간 P에서 자기장의 세기는 B_0 이다.

03 품공 문제 분석



- ㄱ. A에 흐르는 전류가 시계 반대 방향이므로 P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
- ㄴ. P에서 C에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 하므로 C에 흐르는 전류의 방향은 B에 흐르는 전류의 방향의 반대인 왼쪽이다.
- ㄷ. P에서 C에 의한 자기장은 A와 B에 의한 자기장의 세기와 같아야 하므로 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.

04 품공 문제 분석



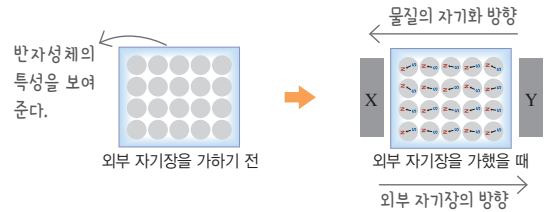
- ㄱ. p에서 A, B에 의한 자기장이 0이므로 B에 흐르는 전류는 세기가 A에 흐르는 전류와 같고 방향도 같다.
- 바로알기** ㄴ, ㄷ. p에서 A에 의한 자기장이 $+B$ 이면, q에서 A에 의한 자기장은 $+\frac{1}{4}B$ 이고 q에서 B에 의한 자기장은 $+\frac{1}{2}B$ 이므로 q에서 A와 B에 의한 합성 자기장은 $+\frac{3}{4}B$ 이다. 따라서 q에서 C에 의한 자기장은 $-\frac{3}{4}B$ 이므로, C에 흐르는 전류의 방향은 A, B에 흐르는 전류의 방향과 반대이고, C에 흐르는 전류의 세기는 A 또는 B에 흐르는 전류의 세기의 $\frac{3}{4}$ 배이다.

- 05** 원형 전류의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 원의 반지름에 반비례한다. O에서 P에 의한 자기장을 B_P , Q에 의한 자기장을 $+B$ 라고 하면, (가)의 O에서 합성 자기장은 B_P+B 이고, (나)의 O에서 합성 자기장은 $B_P+B-\frac{2}{3}B=B_P+\frac{1}{3}B$ 이므로 $B_P+\frac{1}{3}B=2(B_P+B)$ 에서 $B_P=-\frac{5}{3}B$ 이다. 따라서 P에 흐르는 전류의 방향은 시계 반대 방향이고, 반지름은 P가 Q의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 P에 흐르는 전류의 세기는 $\frac{5}{6}I$ 이다.

- 06** 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기와 단위 길이당 감은 수에 비례한다. 자기장의 세기는 B가 A의 2배이므로 B에 흐르는 전류의 세기를 I_B 라고 하면 $I_0 \frac{2N}{L} : I_B \frac{N}{2L} = 1 : 2$ 에서 $I_B=8I_0$ 이다.

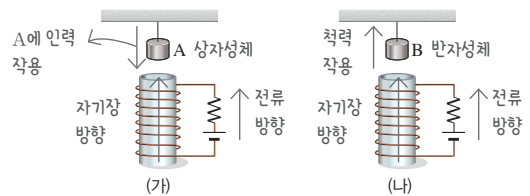
- 07** A. 자성은 전자의 궤도 운동과 스핀 때문에 나타나는데, 대부분의 자성을 띠는 물질은 궤도 운동보다는 주로 스핀에 의해 자성이 나타난다.
- 바로알기** B. 스핀이 서로 반대인 전자들이 완전히 짝을 이루면 원자 자석이 없으므로 반자성이 나타난다.
- C. 반자성을 갖는 물질을 외부 자기장에 놓으면 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 그러나 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

08 품공 문제 분석



- ㄷ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 원자 자석이 없는 상태, 즉 외부 자기장을 가하기 전과 같은 상태가 된다.
- 바로알기** ㄱ. 외부 자기장을 가하기 전 원자 자석이 없으므로 이 물질은 반자성체이다. 반자성체는 외부 자기장을 가하면 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 X는 N극이다.
- ㄴ. 철은 강자성체에 해당한다. 반자성체에 해당하는 물질은 구리, 유리, 금, 은, 수소, 물 등이 있다.

09 품공 문제 분석



- ㄱ. 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향은 위쪽이다.
- ㄴ. 상자성체는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화되어 솔레노이드로부터 인력, 즉 아래쪽으로 자기력을 받고, 반자성체는 솔레노이드에 의한 자기장의 반대 방향으로 자기화되어 솔레노이드로부터 척력, 즉 위쪽으로 자기력을 받는다. 실이 물체를 당기는 힘은 물체의 무게와 자기력의 합력과 같다. 따라서 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 상자성체나 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

10 ㄴ. 자석으로부터 떼어 놓은 철 클립들이 서로 달라붙어 있으므로 철 클립은 자기화된 상태가 계속 유지되는 강자성체이다.
 ㄷ. 철 클립은 자기화된 상태가 유지되고 있으므로 상자성체인 알루미늄 클립에 가까이 하면 알루미늄 클립이 철 클립의 자기화된 방향과 같은 방향으로 자기화되면서 서로 당기는 자기력을 작용한다.

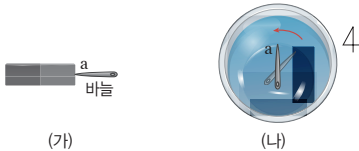
바로알기 ㄱ. 알루미늄 클립은 처음에 자석에 붙어 있었고, 자석에서 떼어 놓았을 때 자기화된 상태가 사라졌으므로 상자성체이다. 반자성체를 자석에 가까이 하면 서로 미는 자기력을 작용하므로 자석에 붙지 않는다.

11 ㄱ. 자석에 가까이 했을 때 서로 미는 자기력이 작용하므로 A는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되는 반자성체이다.
 ㄷ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

바로알기 ㄴ. 반자성체는 자기화된 상태를 유지할 수 없으므로 자기 정보를 저장하는 물질로 이용할 수 없다. 자기 정보는 강자성체를 이용하여 저장한다.

12 고풀 문제 분석

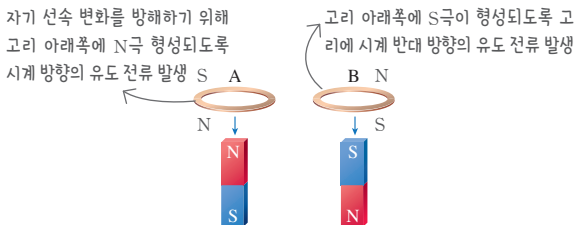
- (2) 바늘은 강자성체이므로 자석의 자기장 방향으로 자기화된다. 따라서 a가 접촉한 자석의 극은 S극이다.
 (1) a 부분이 북쪽을 가리키므로 a는 N극으로 자기화되어 있고, 바늘은 강자성체이다.



ㄱ, ㄴ. (나)에서 a 부분이 북쪽을 가리키므로 (가)에서 a 부분은 N극이 되도록 자기화되어 자석에 붙어야 한다. 따라서 바늘이 접촉한 자석의 극은 S극이다.

ㄷ. (나)에서 바늘은 (가)의 자기화된 상태가 계속 유지되고 있으므로 강자성체이다.

13 고풀 문제 분석

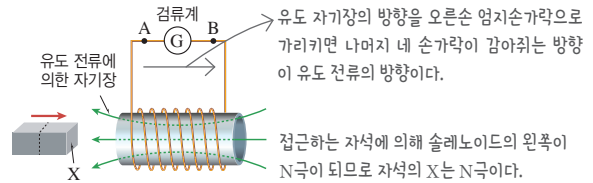


ㄴ. A와 B 모두 운동을 방해 받는 방향, 즉 위쪽으로 자기력을 받는다.

바로알기 ㄱ. 전자기 유도에 의해 A는 아래쪽에 N극이 형성되고, B는 아래쪽에 S극이 형성되므로 A, B에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 유도 전류가 흐르는 동안 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되므로 A와 B의 역학적 에너지는 감소한다.

14 고풀 문제 분석



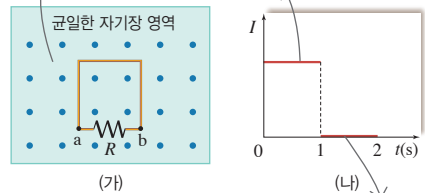
ㄱ. 코일은 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 자기장을 만든다. 즉, 자석이 가까워지면서 오른쪽 방향의 자기 선속이 증가하기 때문에 왼쪽으로 유도 자기장을 만든 것이다. 따라서 자석에 의한 자기장은 오른쪽 방향이어야 하므로 X는 N극이다.

ㄴ. 유도 자기장의 방향을 오른손 엄지손가락으로 가리키면 나머지 네 손가락이 감아주는 방향이 유도 전류의 방향이다. 즉, 유도 전류의 방향은 A → G → B이다.

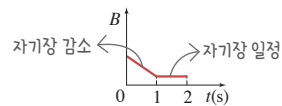
ㄷ. 자석과 솔레노이드 사이에는 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향, 즉 서로 미는 자기력이 작용한다.

15 고풀 문제 분석

유도 전류가 a → R → b로 흐를 때는 종이면에서 나오는 자기장이 감소하는 경우이다.
 유도되는 전류가 (+)값이므로 a → R → b 방향으로 흐른다. ⇒ 자기장이 일정하게 감소함을 의미



유도 전류가 0이므로 자기장의 세기가 변하지 않는다.



유도 전류가 a → R → b 방향으로 일정하게 흐른다는 것은 도선에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다는 것을 의미하므로 종이면에서 수직으로 나오는 자기장이 일정하게 감소해야 한다. 유도 전류가 흐르지 않을 때는 도선을 통과하는 자기장이 변하지 않아야 한다. 따라서 적절한 그래프는 ④번이다.

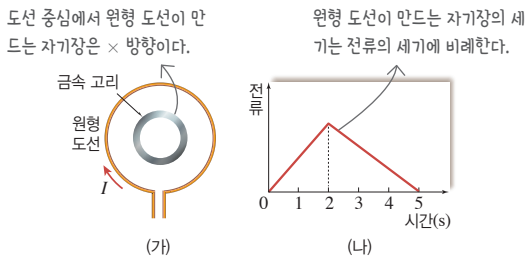
16 ①, ② 도체 막대가 움직이는 동안 ㄷ자형 도선과 도체 막대로 이루어진 사각형을 통과하는 자기 선속이 증가한다. 따라서 이를 방해하기 위해 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐르며, 자기 선속이 일정하게 변하므로 유도 전류의 세기도 일정하다.

③ 유도 전류가 흐르는 동안 도체 막대는 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받는다.

④ v 가 클수록 자기 선속의 변화율이 크므로 유도 전류의 세기도 커진다.

바로알기 ⑤ 전류는 저항에 반비례하므로 R 가 커지면 유도 전류의 세기는 감소한다.

17 품고 문제 분석



- $\times$ 방향의 자기 선속이 증가하면 금속 고리에는 $\odot$ 방향의 유도 자기장이 형성되고,
- $\times$ 방향의 자기 선속이 감소하면 금속 고리에는 $\times$ 방향의 유도 자기장이 형성된다.

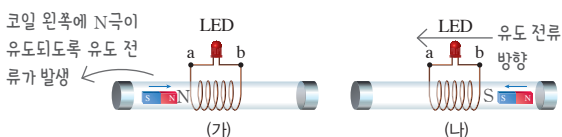
ㄱ. 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 도선에 흐르는 전류의 세기는 1초일 때가 4초일 때보다 $\frac{3}{2}$ 배 크다.

ㄷ. 4초일 때 전류의 세기가 감소하므로 원형 도선이 만드는 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 감소한다. 따라서 이를 방해하기 위해 금속 고리에는 시계 방향, 즉 원형 도선에 흐르는 전류의 방향과 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다.

바로알기 ㄴ. 1초일 때가 3초일 때보다 전류의 변화율(그래프의 기울기의 크기)이 크므로 원형 도선이 만드는 자기장의 변화율도 1초일 때가 3초일 때보다 크다. 따라서 금속 고리에 유도되는 전류의 세기는 1초일 때가 3초일 때보다 크다.

18 상자성 막대는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화되므로 (가)에서 A는 S극이 된다. 상자성 막대가 외부 자기장에서 분리되면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 (나)에서 상자성 막대가 금속 고리를 통과하는 동안 유도 전류가 발생하지 않는다.

19 품고 문제 분석



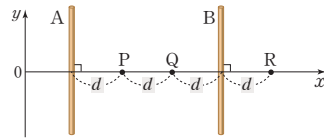
ㄴ. LED는 순방향 전압이 걸렸을 때 불이 켜진다. (가)에서 코일의 왼쪽이 N극이 되었을 때 LED에 불이 켜졌다. (나)에서도 코일의 왼쪽이 N극이 되므로 (가)에서와 같이 LED에 불이 켜진다.

ㄷ. 유도 전류가 흐를 때 자석의 운동을 방해하는 자기력이 나타난다. 따라서 (가)에서 자석은 왼쪽으로 척력을 받고, (나)에서 자석은 오른쪽으로 척력을 받는다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 자석의 N극이 접근하므로 코일에는 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 유도 전류의 방향은 $b \rightarrow \text{LED} \rightarrow a$ 이다.

20 품고 문제 분석

P에서 A와 B에 의한 자기장이 0이므로 P에서 A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장은 서로 크기가 같고 방향이 반대여야 한다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고 전류의 세기는 B가 A의 2배이다.

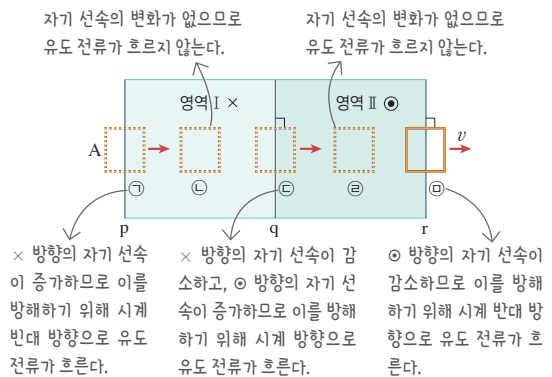


A와 B에 흐르는 전류의 방향을 위쪽이라고 가정하고 P에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면 Q에서 A와 B에 의한 자기장은 $\frac{1}{2}B - 2B = -\frac{3}{2}B = -B_0$ 이다. 따라서 R에서 A와 B에 의한 자기장은 $\frac{1}{4}B + 2B = \frac{9}{4}B = \frac{3}{2}B_0$ 이다.

모범 답안 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고, B에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 2배이다. P에서 A에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면, Q에서 A와 B에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B = B_0$ 이므로 R에서 자기장의 세기는 $\frac{1}{4}B + 2B = \frac{3}{2}B_0$ 이다.

채점 기준	배점
자기장의 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
자기장의 세기만 옳게 쓴 경우	30 %

21 품고 문제 분석



도선에 흐르는 유도 전류는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르며, 유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율에 비례한다. ㉠, ㉡에서는 도선을 통과하는 자기 선속이 변하지 않는다. ㉢에서는 $\times$ 방향의 자기 선속이 감소하고, ㉣ 방향의 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화율이 ㉠이나 ㉡의 2배이다.

- 모범 답안** (1) ㉠ 흐름, 시계 반대 방향, ㉡ 흐르지 않음, ㉢ 흐름, 시계 방향, ㉣ 흐르지 않음, ㉤ 흐름, 시계 반대 방향
 (2) $2I$, ㉢에서는 종이면에 수직으로 들어가는 자기 선속이 감소하고 수직으로 나오는 자기 선속이 증가하므로, ㉢에서 자기 선속의 변화율이 ㉠에서 자기 선속 변화율의 2배이다.

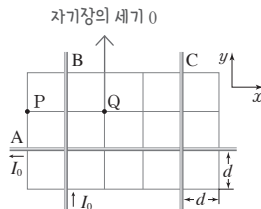
채점 기준	배점
(1) 유도 전류의 흐름 여부와 유도 전류의 방향을 옳게 쓴 경우	50 %
유도 전류의 흐름 여부만 옳게 쓴 경우	20 %
(2) 유도 전류의 세기와 깨달을 옳게 서술한 경우	50 %
유도 전류의 세기만 옳게 쓴 경우	20 %

수능 실전 문제

237~241쪽

01 ④	02 ②	03 ⑤	04 ①	05 ④	06 ⑤
07 ⑤	08 ②	09 ②	10 ③	11 ③	12 ③
13 ④	14 ⑤	15 ③	16 ②	17 ②	18 ④
19 ②	20 ⑤				

01 꼼꼼 문제 분석



- Q에서 A에 의한 자기장은 $\times$ 방향이고 B에 의한 자기장도 $\times$ 방향이다.
 → Q에서 C에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이어야 한다.
 → C에 흐르는 전류는 $+y$ 방향이다.

선택지 분석

- ~~㉠~~ C에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$ 이다. $4I_0$.
 ㉡ C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
 ㉢ P에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

전략적 풀이 ① 직선 전류에 의한 합성 자기장이 0이 되기 위한 조건을 파악한다.

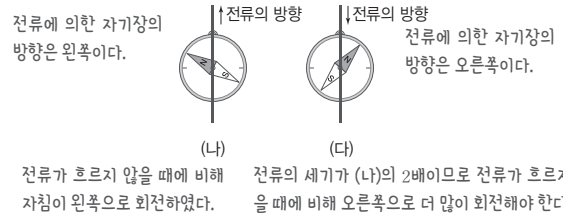
ㄴ. Q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 C에 의한 자기장의 방향은 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. P에서 A와 B에 의한 자기장은 0이므로 P에서 자기장의 방향은 C에 의한 자기장의 방향과 같다.

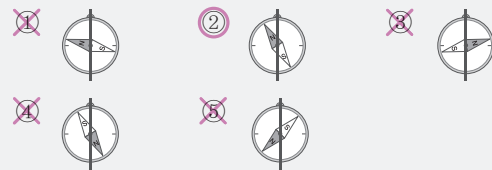
② 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기 및 거리와 어떤 관계가 있는지 이해한다.

ㄱ. Q에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면, Q에서 A와 B에 의한 자기장은 $2B$ 이므로 Q에서 C에 의한 자기장은 $-2B$ 가 되어야 한다. C에서 Q까지의 거리는 A, B에서 Q까지 거리의 2배이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$ 이다.

02 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

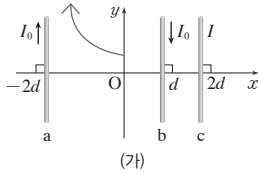


전략적 풀이 ① 직선 전류에 의한 자기장과 지구 자기장의 합성을 이해한다.

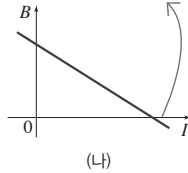
(나)와 (다)에서 자침이 가리키는 방향은 전류에 의한 자기장과 지구 자기장이 합성된 결과이다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하는데 (나)에 비해 (다)에서 전류의 세기가 더 크므로 자기장의 세기도 더 커서 자침이 더 많이 회전해야 한다. 따라서 도선에 전류가 흐르지 않을 때 자침이 가리키는 방향, 즉 지구 자기장의 방향은 ㉡번이다.

03 품공 문제 분석

O에서 a에 의한 자기장의 방향은 $\times$ 방향이고, b에 의한 자기장의 방향도 $\times$ 방향이다.



c에 흐르는 전류가 증가함에 따라 O에서 합성 자기장이 0이 되는 때가 있으므로 O에서 c에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이다.



선택지 분석

- ㉠ $I=0$ 일 때, B 의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.
- ㉡ $B=0$ 일 때, I 의 방향은 $+x$ 방향이다.
- ㉢ $B=0$ 일 때, I 의 세기는 $3I_0$ 이다.

전략적 풀이 ① O에서 a, b에 의한 자기장의 방향과 세기를 파악한다.

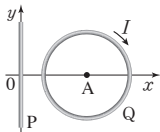
ㄱ. c에 흐르는 전류가 0일 때 O에서 a, b에 의한 자기장은 모두 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 합성 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

② O에서 c에 의한 자기장의 방향과 세기에 따라 c에 흐르는 전류의 방향과 세기를 파악한다.

ㄴ. O에서 a, b, c에 의한 자기장이 0이 되려면 c에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 c에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. O에서 a, b에 의한 합성 자기장과 c에 의한 자기장의 세기가 같아야 하므로 $\frac{kI_0}{2d} + \frac{kI_0}{d} = \frac{kI}{2d}$ 에서 $I=3I_0$ 이다.

04 품공 문제 분석



P에 흐르는 전류		A에서의 P와 Q에 의한 자기장	
세기	방향	세기	방향
I_0	㉠	0	없음 (1)
I_0	$+y$	B_0	㉡ (2)
$2I_0$	$-y$	B_0	㉢ (3)

Q에 의한 자기장: $\times$ 방향

(1) A에서 자기장의 세기가 0이려면 P에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이어야 한다.

→ ㉠은 $-y$ 방향이다.

(2) P에 흐르는 전류가 $+y$ 방향일 때 P와 Q에 의한 자기장 모두 $\times$ 방향이다.

→ ㉡은 $\times$ 방향이다.

(3) A에서 P에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이다.

선택지 분석

㉠ ㉠은 $-y$ 이다.

㉡ ㉡과 ㉢은 같다. 서로 반대이다.

㉢ ㉢은 B_0 보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ① A에서 합성 자기장이 0이 되는 조건을 이해한다.

ㄱ. A에서 Q에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A에서 합성 자기장의 세기가 0이 되려면 P에 흐르는 전류는 $-y$ 방향이다. 이때 A에서 Q에 흐르는 세기 I 인 전류에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 A에서 P에 흐르는 세기 I_0 인 전류에 의한 자기장의 세기도 B 이다.

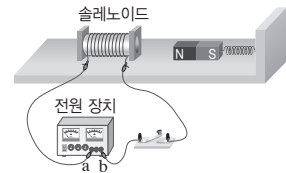
② P에 흐르는 전류의 변화에 따라 A에서 합성 자기장의 세기와 방향이 어떻게 달라지는지 파악한다.

ㄴ. 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 하면 (2)에서 $B+B=B_0$ 이다. (3)에서 P에 $-y$ 방향이고 세기가 $2I_0$ 인 전류가 흐를 때 A에서 P에 의한 자기장은 $-2B$ 이므로 합성 자기장은 $-2B+B=-B$ 이다. 따라서 (2)와 (3)에서 합성 자기장의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. $B_0=2B$ 이므로 (3)에서 합성 자기장의 세기 B 는 B_0 보다 작다.

05 품공 문제 분석

자석이 솔레노이드로부터 인력을 받아야 용수철이 늘어났다.
→ 솔레노이드의 오른쪽이 S극이다.
→ a는 (+)극이다.



선택지 분석

㉠ 전원 장치의 단자 a는 (-)극이다. (+)극

㉡ 솔레노이드의 오른쪽에는 S극이 형성된다.

㉢ 전원 장치의 단자를 바꾸어 연결하고 실험하면 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 나타난다.

전략적 풀이 ① 용수철이 늘어나기 위한 조건과 솔레노이드에 의한 자기장의 방향을 파악한다.

ㄱ. 오른손 엄지손가락이 자기장의 방향을 가리킬 때 네 손가락을 감아쥐는 방향이 전류의 방향이므로 a는 (+)극이다.

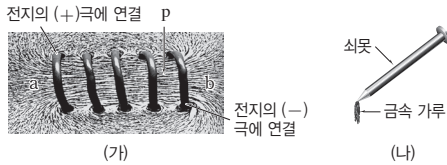
ㄴ. 용수철에 인력이 작용해야 하므로 솔레노이드의 오른쪽에 S극이 형성된다.

ㄷ. 단자를 바꾸어 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되므로 솔레노이드와 자석 사이에는 척력이 작용한다.

06 꼼꼼 문제 분석

전류는 전지의 (+)극에서 나와 (-)극으로 들어간다. → p에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.

쇠못은 철로 되어 있으므로 강자성체이다. 자기화되지 않은 쇠못에 금속 가루가 달라붙었으므로 금속 가루는 자기화된 상태이다.



선택지 분석

- ㉠ (가)의 p점에서 자기장의 방향은 a → b 방향이다.
- ㉡ 이 금속 가루는 강자성체이다.
- ㉢ 쇠못은 강자성체이다.

전략적 풀이 ① 솔레노이드에 의한 자기장의 방향을 파악한다.

ㄱ. 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다.

② 강자성체의 성질과 강자성체에 해당하는 대표적인 물질의 예를 알아둔다.

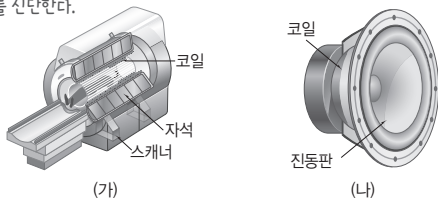
ㄴ. 솔레노이드에 전류가 흐르지 않을 때도 금속 가루가 자성을 유지하므로 금속 가루는 강자성체이다.

ㄷ. 쇠못은 철로 되어 있으며 철은 강자성체에 해당한다.

07 꼼꼼 문제 분석

강한 자기장을 이용하여 인체 내부를 진단한다.

전기 신호를 소리로 전환하기 위해 전류가 자기장에서 받는 자기력을 이용한다.



선택지 분석

- ㉠ (가)는 초전도체를 이용하여 강한 자기장을 만든다.
- ㉡ (나)에는 자석이 들어 있다.
- ㉢ (나)에 직류가 흐르면 소리가 발생하지 않는다.

전략적 풀이 ① 전류에 의한 자기장을 이용하는 장치의 기본 원리를 이해한다.

ㄱ. 자기 공명 영상 장치는 초전도체에 큰 전류를 흘려서 강한 자기장을 만들고 이를 이용하여 질병을 진단한다. 초전도체는 저항이 없으므로 큰 전류가 흘러도 열이 발생하지 않는다.

ㄴ. 스피커는 자석 주위의 코일에 전류가 흐를 때 코일이 자석으로부터 힘을 받아 진동하면서 소리를 발생시킨다.

② 소리가 발생하는 원리를 이해한다.

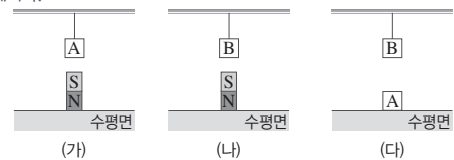
ㄷ. 스피커에 직류가 흐르면 코일이 한쪽 방향으로만 힘을 받아 진동하지 않으므로 소리가 발생하지 않는다.

08 꼼꼼 문제 분석

실 A를 당기는 힘의 크기가 A의 무게보다 작으므로 A는 자석으로부터 미는 자기력을 받는다. 따라서 A는 반자성체이다.

A가 반자성체이므로 B는 상자성체이다.

상자성체와 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 사라진다.



선택지 분석

㉠ A는 상자성체이다. **반자성체**

㉡ B는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

㉢ (다)에서 실 A를 당기는 힘의 크기는 B의 무게보다 크다. **무게와 같다.**

전략적 풀이 ① A, B가 어떤 자성체인지 파악한다.

ㄱ. 실 A를 당기는 힘의 크기가 A의 무게보다 작다는 것은 A가 자석의 자기장과 반대 방향으로 자기화되어 척력을 받는다는 것을 의미한다. 따라서 A는 반자성체이다.

ㄴ. A가 반자성체이므로 B는 상자성체이다. 상자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화된다.

② 외부 자기장을 제거했을 때 자성체의 성질을 이해한다.

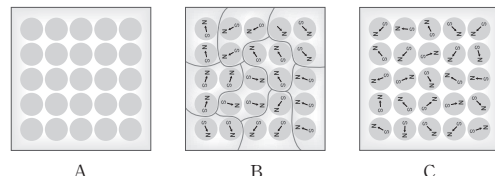
ㄷ. (다)에서 A와 B 모두 자기화된 상태가 사라지므로 서로 자기력을 작용하지 않는다. 따라서 B는 힘의 평형 상태에 있으므로 실 A를 당기는 힘의 크기는 B의 무게와 같다.

09 꼼꼼 문제 분석

원자 자석이 없으므로 반자성체이다.

자기 구역이 있으므로 강자성체이다.

자기 구역이 없으므로 상자성체이다.



선택지 분석

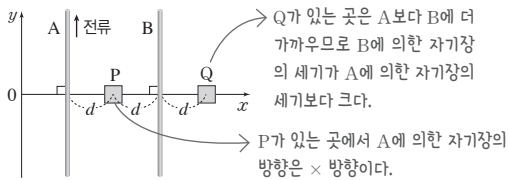
- ✗ 외부 자기장을 가하면 A는 외부 자기장의 방향으로 자기화된다. 반대 방향
- B에서 하나의 자기 구역 내에 있는 원자 자석들은 모두 같은 방향으로 정렬되어 있다.
- ✗ C는 하드디스크의 정보 저장 물질로 이용된다. B

전략적 풀이 ① A, B, C가 어떤 자성체인지 파악한다.

- ㄱ. A는 반자성체, B는 강자성체, C는 상자성체이다. 반자성체는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화되는 성질이 있다.
- ㄴ. 강자성체에서 하나의 자기 구역에 있는 원자 자석들이 자기화된 방향은 모두 같다.
- ② 자성체의 이용 예를 알아둔다.
- ㄷ. 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 정보 저장 물질로 이용될 수 없다. 하드디스크의 정보 저장 물질로 이용되는 것은 강자성체이다.

10 꼼꼼 문제 분석

A, B에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A, B에 흐르는 전류의 방향이 같으면 P가 있는 지점에서 합성 자기장이 0이 되어 P가 자기화되지 않는다.



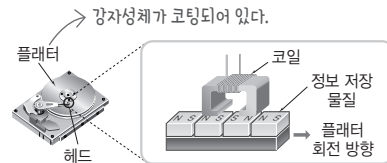
선택지 분석

- B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
- P는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기화된다.
- ✗ Q는 P와 반대 방향으로 자기화된다. 같은

전략적 풀이 ① P가 자기화되기 위한 조건을 이해한다.

- ㄱ. A, B에 흐르는 전류의 방향이 같으면 P가 있는 곳에서 합성 자기장이 0이 되어 P가 자기화되지 않는다. 따라서 B에 흐르는 전류의 방향은 $-y$ 방향이다.
- ② 자성체의 종류에 따라 자기화되는 방향을 파악한다.
- ㄴ. P가 있는 곳에서 A, B에 의한 자기장의 방향이 모두 수직으로 들어가는 방향이고, P는 강자성체이므로 외부 자기장의 방향, 즉 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기화된다.
- ㄷ. Q는 A보다 B에 더 가까이 있으므로 Q가 있는 곳에서 자기장의 방향은 B에 의한 자기장의 방향, 즉 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다. Q는 반자성체이므로 외부 자기장의 방향과 반대 방향, 즉 P가 자기화된 방향과 같은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 자기화된다.

11 꼼꼼 문제 분석



코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향으로 정보 저장 물질이 자기화된다. 저장된 정보는 전원을 꺼도 사라지지 않아야 한다.

선택지 분석

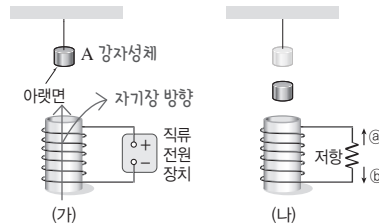
- 플래터의 정보 저장 물질은 강자성체이다.
- 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 정보 저장 물질의 자기화 방향이 바뀐다.
- ✗ 하드디스크에 연결된 전원을 끄면 저장된 정보가 사라진다. 사라지지 않는다.

전략적 풀이 ① 자기 정보의 기록에 이용되는 물질을 안다.

- ㄱ. 정보 저장 물질은 기록된 후 기록 상태가 그대로 유지되어야 하므로 강자성체를 이용한다.
- ② 자기 정보의 기록 원리를 이해한다.
- ㄴ. 전류의 방향이 바뀌면 코일에 의한 자기장의 방향이 바뀌므로 강자성체의 자기화 방향도 바뀐다.
- ㄷ. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 그대로 유지되므로 전원을 꺼도 저장된 정보가 사라지지 않는다.

12 꼼꼼 문제 분석

강자성체는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화된다. 솔레노이드에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.



선택지 분석

- (가)에서 A의 아랫면은 S극으로 자기화된다.
- (나)에서 저항에 흐르는 전류의 방향은 ㉠이다.
- ✗ (가)와 (나)에서 솔레노이드가 A에 작용하는 자기력의 방향은 서로 같다. 반대이다.

전략적 풀이 ① 강자성체의 자기화 방향을 파악한다.

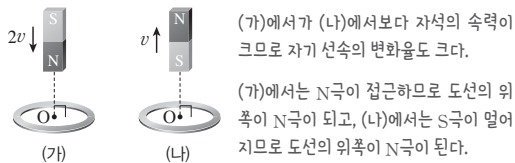
ㄱ. (가)에서 솔레노이드에 의한 자기장의 방향은 위쪽이고 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 A의 아랫면은 S극으로 자기화된다.

② 전자기 유도가 일어날 때 유도 전류의 방향과 자기력의 방향을 이해한다.

ㄴ. (나)에서 강자성체의 자기화된 상태가 그대로 유지되므로 코일에 S극이 접근한다. 따라서 이를 방해하기 위해 유도 전류는 ㉞ 방향으로 흐른다.

ㄷ. (가)에서는 A가 아래쪽으로 자기력을 받고, (나)에서는 A가 위쪽으로 자기력을 받는다.

13 꼼꼼 문제 분석



(가)에서가 (나)에서보다 자석의 속력이 크므로 자기 선속의 변화율도 크다.

(가)에서는 N극이 접근하므로 도선의 왼쪽이 N극이 되고, (나)에서는 S극이 멀어지므로 도선의 왼쪽이 N극이 된다.

선택지 분석

- ✗ ㉠은 시계 방향이다. **시계 반대 방향**
- ㉡ ㉢은 I_0 보다 작다.
- ㉣ ㉤은 위쪽이다.

전략적 풀이 ① 자석의 운동 방향에 따라 도선에 발생하는 유도 전류의 방향을 파악한다.

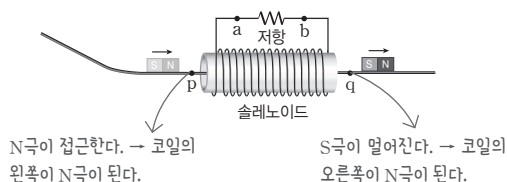
ㄱ. (나)에서 S극이 멀어지므로 도선의 왼쪽에 N극이 형성되어야 한다. 따라서 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

② 자석의 속력에 따른 유도 전류의 세기를 비교하고 자석의 운동 방향에 따른 자기력의 방향을 파악한다.

ㄴ. (나)에서가 (가)에서보다 자석의 속력이 느리므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화율도 작다. 따라서 유도 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 작다.

ㄷ. (가)에서 자석이 도선을 향하여 아래쪽으로 접근하므로 이를 방해하기 위해 도선은 자석에 위쪽으로 자기력을 작용한다.

14 꼼꼼 문제 분석



N극이 접근한다. → 코일의 왼쪽이 N극이 된다.

S극이 멀어진다. → 코일의 오른쪽이 N극이 된다.

선택지 분석

- ㉠ 자석이 p를 지날 때, 유도 전류의 방향은 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 이다.
- ㉡ 자석의 속력은 p에서가 q에서보다 크다.
- ㉢ 자석이 q를 지날 때, 솔레노이드 내부에서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 $p \rightarrow q$ 이다.

전략적 풀이 ① 솔레노이드에 대한 자석의 상대적인 운동에 따라 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향을 파악한다.

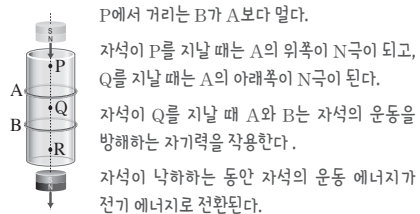
ㄱ. 자석이 p를 지날 때 N극이 접근하므로 솔레노이드의 왼쪽에 N극이 형성되어야 한다. 따라서 유도 전류는 $a \rightarrow$ 저항 $\rightarrow b$ 방향으로 흐른다.

ㄷ. 자석이 q를 지날 때 S극이 멀어지므로 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 되어야 한다. 따라서 솔레노이드 내부에서 유도 자기장은 $p \rightarrow q$ 방향으로 형성된다.

② 전자기 유도에서 에너지 전환 관계를 이해한다.

ㄴ. 자석이 솔레노이드를 통과하는 동안 자석의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되면서 유도 전류가 발생한다. 따라서 운동 에너지가 감소하므로 속력은 p에서가 q에서보다 크다.

15 꼼꼼 문제 분석



P에서 거리는 B가 A보다 멀다.

자석이 P를 지날 때는 A의 왼쪽이 N극이 되고, Q를 지날 때는 A의 아래쪽이 N극이 된다.

자석이 Q를 지날 때 A와 B는 자석의 운동을 방해하는 자기력을 작용한다.

자석이 낙하하는 동안 자석의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

선택지 분석

- ㉠ 자석이 P를 지나는 순간, 유도 전류의 세기는 A에서가 B에서보다 크다.
- ㉡ A에서 유도 전류의 방향은 자석이 P를 지날 때와 Q를 지날 때가 서로 반대이다.
- ✗ 자석이 Q를 지나는 순간, A와 B가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 서로 반대이다. **같다.**
- ㉣ 자석의 역학적 에너지는 Q에서가 R에서보다 크다.
- ㉤ 자석이 R를 지나는 순간, 자석의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

전략적 풀이 ① 운동하는 자석의 도선에 대한 위치에 따라 도선에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기를 이해한다.

① 자석이 P를 지날 때 A가 B보다 자석에 가까우므로 자기 선속의 변화율은 A에서 B에서보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 A에서 B에서보다 크다.

② 자석이 P를 지날 때와 Q를 지날 때 A에 생기는 유도 자기장의 방향은 각각 위쪽과 아래쪽이다. 유도 자기장의 방향이 서로 반대이므로 유도 전류의 방향도 반대이다.

② 렌츠 법칙에 따라 자석이 받는 자기력의 방향을 파악한다.

③ 도선은 자석의 운동을 방해하는 자기력을 작용하므로 자석이 Q를 지날 때 A는 위쪽으로 인력을 작용하고, B는 위쪽으로 척력을 작용한다.

⑤ 자석이 R를 지날 때 위쪽으로 자기력을 받으므로 알짜힘의 크기는 중력의 크기보다 작다. 따라서 운동 제2법칙에 따라 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

③ 전자기 유도 현상에서 에너지 전환 관계를 이해한다.

④ A와 B에 유도 전류가 흐르는 동안 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되므로 낙하하는 자석의 역학적 에너지는 계속 감소한다. 따라서 역학적 에너지는 Q에서 R에서보다 크다.

전략적 풀이 ① 유도 전류의 방향과 자기 선속의 변화 사이의 관계를 이해한다.

ㄱ. t_1 일 때 자기장이 증가하는데 원형 도선에 시계 방향으로 유도 전류가 흐르므로 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다. 따라서 t_2 일 때는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 감소한다.

ㄴ. t_2 일 때는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장이 감소하므로 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이고, t_3 일 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다. 따라서 유도 전류의 방향은 t_2 일 때와 t_3 일 때가 서로 같다.

② 자기장의 변화율과 유도 전류의 세기와의 관계를 이해한다.

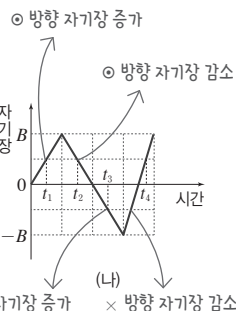
ㄷ. 그래프에서 기울기의 크기, 즉 자기장의 변화율의 크기는 t_4 일 때와 t_3 일 때보다 크므로 유도 전류의 세기도 t_4 일 때가 t_3 일 때보다 크다.

16 꼼꼼 문제 분석

시계 방향으로 유도 전류가 흐르기 위해서는 ⊙ 방향의 자기장이 증가해야 한다.



(가)



× 방향 자기장 증가 × 방향 자기장 감소

선택지 분석

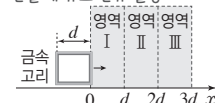
✗ t_2 일 때 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

✗ 유도 전류의 방향은 t_2 일 때와 t_3 일 때가 서로 반대이다.

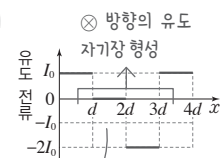
㉠ 유도 전류의 세기는 t_4 일 때가 t_3 일 때보다 크다.

17 꼼꼼 문제 분석

금속 고리를 통과하는 자기 선속이 변할 때 유도 전류 발생



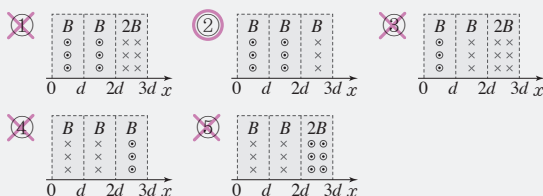
(가)



유도 자기장 생기지 않음

⊙ 방향으로 처음보다 2배의 유도 자기장 형성

선택지 분석



전략적 풀이 ① 금속 고리에 발생하는 유도 전류의 방향과 세기를 통해 각 영역에서의 자기장의 방향과 세기를 추론한다.

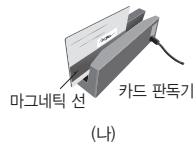
도선이 I에 들어가는 동안 시계 방향으로 유도 전류가 흐르므로 I에서 자기장의 방향은 종이면에서 나오는 방향이다. 도선이 I에서 II로 들어가는 동안 유도 전류가 0이므로 자기 선속의 변화가 없다. 즉, I과 II에서의 자기장은 같다. 또한 III에서 나오는 동안 I에 들어갈 때와 같은 전류가 흐르므로 III에서 자기장의 방향은 종이면에 들어가는 방향이고 세기는 I에서와 같다. II에서 III으로 들어가는 동안은 종이면에서 나오는 자기 선속이 감소하고 들어가는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화가 2배가 된다.

18 꼼꼼 문제 분석

무선 충전기에 교류가 흐르면 자기장이 변하여 휴대 전화 내부 코일에 유도 전류가 흐르면서 충전된다.



마그네틱 선에 저장된 자기 정보가 판독기를 지나면 판독기에 유도 전류가 흘러 정보를 읽는다.



선택지 분석

- ㄱ. (가)와 (나) 모두 전자기 유도를 이용한다.
- ✗. (가)가 작동할 때 휴대 전화를 통과하는 자기장은 균일하다. 균일하지 않다.
- ㄴ. (나)의 마그네틱 선 내부에는 자기화된 물질이 들어 있다.

전략적 풀이 ① 무선 충전기 작동 원리와 마그네틱 카드 판독의 원리를 이해한다.

ㄱ. 무선 충전기와 마그네틱 카드 판독기 모두 코일을 통과하는 자기장이 변하면 코일에 유도 전류가 발생하는 전자기 유도를 이용한다.

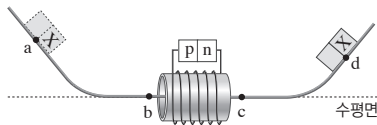
ㄴ. 자기장이 균일하면 코일을 통과하는 자기 선속이 변하지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다. 무선 충전기에 교류가 흐르면 휴대 전화 내부 코일을 통과하는 자기장이 주기적으로 변하면서 유도 전류가 흐르게 된다.

② 마그네틱 카드에 저장된 정보의 형태를 이해한다.

ㄴ. 마그네틱 선 내부에는 강자성체인 물질이 자기화되면서 정보를 저장한다. 자기화된 정보가 카드 판독기 내부 코일을 통과하면 코일에 유도 전류가 흐르면서 정보를 읽는다.

19 꼼꼼 문제 분석

(1) 자석이 b를 지날 때 LED에는 순방향 전압이 걸려야 한다. 즉, 유도 전류가 p형 반도체 쪽으로 흘러야 한다.



(2) p형 반도체 쪽으로 유도 전류가 흐르기 위해서는 솔레노이드의 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성되어야 한다.

선택지 분석

- ✗. X는 S극이다. N
- ㉠. d에서 내려온 자석이 c를 지날 때 LED에서 빛이 방출된다.
- ✗. 자석이 c에서 d로 올라가는 동안 자석의 역학적 에너지는 감소한다. 일정하다.

전략적 풀이 ① LED에서 빛이 방출되는 조건을 이해한다.

ㄱ. 자석의 X가 b를 지날 때 LED에는 순방향 전압이 걸려야 한다. 즉, 솔레노이드의 왼쪽이 N극이 되도록 유도 전류가 흘러야 한다. 이때 솔레노이드는 자석의 운동을 방해하는 자기력을 자석에 작용해야 하므로 X는 N극이다.

ㄴ. 자석이 d에서 내려와 c를 지날 때는 솔레노이드의 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장을 형성하므로 자석이 a에서 내려와 b를 지날 때와 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다. 따라서 LED에는 순방향 전압이 걸려 빛이 방출된다.

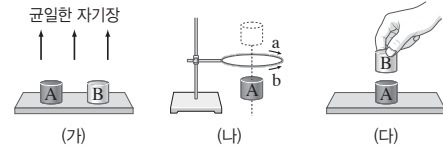
② 유도 전류의 발생 유무에 따른 역학적 에너지 보존을 이해한다.

ㄴ. 자석이 c에서 d로 올라가는 동안에는 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되도록 유도 기전력이 발생한다. 이때 LED에는 역방향 전압이 걸리므로 유도 전류가 흐르지 않아 불이 켜지지 않는다. 유도 전류가 흐르지 않으면 자석의 운동을 방해하는 자기력이 작용하지 않으므로 자석의 역학적 에너지는 보존된다.

20 꼼꼼 문제 분석

강자성체와 상자성체 모두 자기장 방향으로 자기화된다.

자기화된 상태가 유지되어야 유도 전류를 발생시킬 수 있다.



선택지 분석

- ✗. (나)에서 유도 전류는 a 방향으로 흐른다. b
- ㉠. (나)에서 A 대신 B를 통과시키면 도선에 유도 전류가 흐르지 않는다.
- ㄷ. (다)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

전략적 풀이 ① 강자성체와 상자성체의 특징을 파악한다.

강자성체와 상자성체 모두 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 (가)에서 A, B 모두 윗면이 N극이 된다. 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 (나)에서 유도 전류를 발생시킨 A는 강자성체, B는 상자성체이다.

② 유도 전류의 발생 원리를 파악한다.

ㄱ. (나)에서 N극이 멀어지므로 도선에는 b 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. B는 상자성체이다. (나)에서 B를 통과시키면 B는 자성을 띠지 않으므로 유도 전류가 발생하지 않는다.

ㄴ. (다)에서 B는 A에 의해 A가 만드는 자기장 방향으로 자기화되면서 서로 인력을 작용한다.

파동과 정보 통신

1 파동의 성질과 이용

1 파동의 진행과 굴절

248쪽

완자샘
비법 특강 Q1 굴절
Q2 위, 아래

Q1 빛의 속력이 공기의 온도에 따라 변하므로 온도가 변하는 공기층을 지날 때 빛이 연속적으로 굴절되면서 신기루가 생긴다.

Q2 낮에는 지면에 가까운 쪽이 상층에 비해 빨리 가열되어 온도가 높고, 밤에는 지면에 가까운 쪽이 상층에 비해 빨리 냉각되어 온도가 낮다. 공기의 온도가 높을수록 소리의 진행 속력이 빠르며, 파동은 속력이 더 느린 쪽으로 굴절하므로 소리가 낮에는 온도가 낮은 위쪽으로, 밤에는 아래쪽으로 굴절한다.

개념 확인 문제

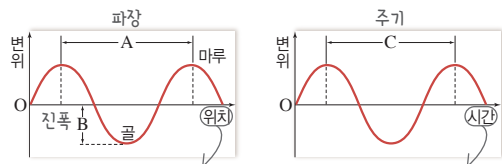
249쪽

- ① 진폭 ② 파장 ③ 진동수 ④ 주기 ⑤ 파장
⑥ 파장 ⑦ 속력 ⑧ 사인값 ⑨ 굴절률

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 A: 파장, B: 진폭, C: 주기 3 (1) ×
(2) ○ (3) ○ (4) × 4 L, c 5 (1) ○ (2) × (3) ○
6 파동의 굴절

- 1 (1) 파동이 진행할 때 매질은 제자리에서 진동만 할 뿐 이동하지 않는다.
(2) 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 파동은 횡파, 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동은 종파이다.
(3) 횡파의 예로는 전자기파, 지진파의 S파 등이 있고, 종파의 예로는 음파, 지진파의 P파 등이 있다.

2 꼼꼼 문제 분석



- 어느 순간 파동의 모습을 위치에 따라 나타낸 그래프로, 진폭과 파장을 알 수 있다.
• 매질의 한 점이 진동하는 모습을 시간에 따라 나타낸 그래프로, 진폭, 주기, 진동수를 알 수 있다.

A는 이웃한 마루 사이의 거리이므로 파장에 해당하고, B는 진동 중심에서 골까지의 거리이므로 진폭에 해당한다. 또, C는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸리는 시간이므로 주기에 해당한다.

3 (1) 매질이 달라질 때 소리의 속력은 고체 > 액체 > 기체 순으로 빠르다.

(2) 공기의 온도가 높을수록 공기 입자의 운동이 활발해져 소리가 더 빠르게 전달되므로, 소리의 속력은 공기의 온도가 높을수록 빠르다.

(3) 파동의 속력은 매질의 성질에 따라 달라지므로, 파동이 서로 다른 매질의 경계면에서 굴절할 때 속력이 달라진다.

(4) 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르므로, 물결파가 깊은 곳에서 얕은 곳으로 진행할 때 속력이 느려진다.

4 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은 입사각과 굴절각의 사인값의 비와 같고, 두 매질에서의 속력의 비 또는 파장의 비와 같으므로, $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}$ 가 성립한다.

5 (1), (3) 공기와 물의 경계면에서 입사각 > 굴절각이므로 공기에서의 속력이 물에서의 속력보다 빠르다.

(2) 파동의 진동수는 매질의 종류에 관계없이 일정하므로, 공기에서의 빛의 진동수와 물에서의 빛의 진동수가 같다.

6 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때, 두 매질의 경계면에서 파동의 진행 방향이 바뀌는 파동의 굴절에 의한 현상이다.

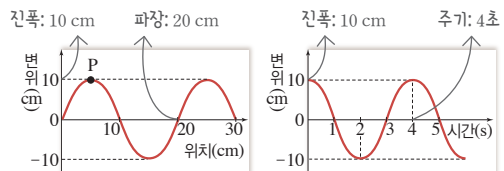
대표 자료 분석

250쪽

- 자료 ①** 1 10 cm 2 20 cm 3 4초 4 5 cm/s
5 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○
자료 ② 1 깊은 물 > 얕은 물 2 입사각 > 굴절각 3 60°
4 $\sqrt{3}$ 5 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○ (6) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석

변위-위치 그래프에서 파장과 진폭을 구할 수 있고, 변위-시간 그래프에서 진폭, 주기, 진동수를 구할 수 있다.



진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 10 cm이다.

1-2 변위-위치의 그래프에서 파장은 마루에서 이웃한 마루까지의 거리 또는 골에서 이웃한 골까지의 거리이므로 20 cm이다.

1-3 변위-시간의 그래프에서 주기는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸리는 시간이므로 4초이다.

1-4 파동의 속도 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{20 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = 5 \text{ cm/s}$ 이다.

1-5 (1) 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{4 \text{ s}} = 0.25 \text{ Hz}$ 이다.

(2) 진동수가 0.25 Hz이므로, P점은 1초 동안 0.25회 진동한다.

(3) 주기가 4 s이므로, P점이 1회 진동하는 데 4초가 걸린다.

(4) 1초는 주기의 $\frac{1}{4}$ 에 해당하므로, 1초 후 P점의 변위는 0이다.

(5) 파장이 20 cm이므로 한 주기 동안 20 cm만큼 진행한다.

(6) 속력이 5 cm/s이므로 1초 동안 5 cm만큼 진행한다.

2-1 물의 깊이가 알아지는 경계에서 물결파의 진행 방향이 변하면서 파장이 짧아진다. 물결파의 진동수는 일정하며, 속도 = 진동수 × 파장에서 진동수가 일정할 때 속력은 파장에 비례한다. 물결파의 파장이 깊은 물에서가 얇은 물에서보다 길므로, 물결파의 속력은 깊은 물에서가 얇은 물에서보다 빠르다.

2-2 파동의 진행 방향이 법선과 이루는 각을 비교해 보면 입사각이 굴절각보다 큰 것을 알 수 있다.

2-3 입사각은 입사파의 진행 방향과 법선이 이루는 각, 또는 입사파의 파면과 경계면이 이루는 각이다. 입사파의 파면과 경계면이 이루는 각이 60°이므로, 입사각은 60°이다.

2-4 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률은 깊은 물과 얇은 물에서의 파장의 비와 같으므로, $\frac{\text{깊은 물에서의 파장}}{\text{얇은 물에서의 파장}} = \frac{3 \text{ cm}}{\sqrt{3} \text{ cm}} = \sqrt{3}$ 이다.

2-5 (1) 이 물결파의 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률이 $\sqrt{3}$ 이므로, $\frac{\sin 60^\circ}{\sin r} = \sqrt{3}$ 에서 굴절각 $r = 30^\circ$ 이다.

(2) 얇은 물에서도 물결파의 진동수는 2 Hz로 일정하므로, 속도 = 진동수 × 파장 = 2 Hz × $\sqrt{3} \text{ cm} = 2\sqrt{3} \text{ cm/s}$ 이다.

(3) 물결파의 파장은 깊은 물에서가 얇은 물에서보다 길다.

(4) 물의 깊이가 달라져도 물결파의 진동수는 일정하므로, 물의 깊이가 알아져도 물결파의 주기는 일정하다.

(5) 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률은 깊은 물과 얇은 물에서의 속력의 비, 또는 파장의 비와 같으므로 $\frac{\text{깊은 물에서의 속도}}{\text{얇은 물에서의 속도}}$

= $\frac{\text{깊은 물에서의 파장}}{\text{얇은 물에서의 파장}}$ 이다. 깊은 물에서 물결파의 속력과 파장

이 더 크므로, 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률은 1보다 크다.

(6) 입사각의 크기와 관계없이 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률은 일정하다.

내신 **안정** 문제

251~254쪽

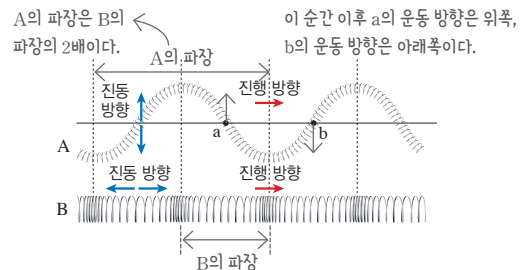
01 ③	02 ①	03 ③	04 ④	05 ①	06 0.2 m/s
07 ③	08 ⑤	09 ②	10 ②	11 해설 참조	12 ③
13 ①	14 ①	15 ④	16 해설 참조	17 ①	18 ③
19 ①	20 ②	21 ②			

01 ㄷ. 파동의 주기가 0.8초이므로 파장은 파동이 0.8초 동안 진행한 거리인 0.4 m이다. 따라서 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{0.4 \text{ m}}{0.8 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직이므로 이 파동은 횡파이다.

ㄴ. 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{0.8 \text{ s}} = 1.25 \text{ Hz}$ 이다.

02 **품문 문제 분석**



ㄱ. A 파동을 진행하는 방향으로 약간 이동시켜 그려보면 a의 운동 방향은 위쪽, b의 운동 방향은 아래쪽이다. (반파장 차가 나는 두 곳의 운동 방향은 서로 반대이다.)

바로알기 ㄴ. A와 같은 횡파의 파장은 이웃한 마루(골)와 마루(골) 사이의 거리이고, B와 같은 종파의 파장은 이웃한 밀한 지점 사이의 거리 또는 이웃한 소한 지점 사이의 거리이다. 따라서 A의 파장은 B의 파장의 2배이다.

ㄷ. 빛은 매질이 없어도 진행하며, 전기장과 자기장의 진동 방향이 전자기파의 진행 방향에 수직이므로 횡파이다. B는 용수철의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 파동이므로 종파이다.

03 파동의 전파 속도 $v=f\lambda$ 이므로 $340 \text{ m/s}=680 \text{ Hz} \times \lambda$ 에서 파장 $\lambda=0.5 \text{ m}$ 이다.

04 꼼꼼 문제 분석

종류가 같은 줄 A, B에서 파동의 속력은 같다. $v=\frac{\lambda}{T}$ 에서 파동의 속력이 같을 때 파장과 주기는 비례한다.



ㄱ. 같은 종류의 줄에 생기는 파동의 속력은 같으므로, A에 생긴 파동의 속력과 B에 생긴 파동의 속력은 같다.

ㄴ. 줄을 빨리 흔들수록 진동수가 크므로 주기가 짧다. 따라서 줄을 더 빠르게 흔들 때 생기는 파동은 B이다.

바로알기 ㄴ. $v=\frac{\lambda}{T}$ 에서 파동의 속력이 같을 때 파장과 주기는 비례하므로, A에 생긴 파동의 주기는 B에 생긴 파동의 주기보다 길다.

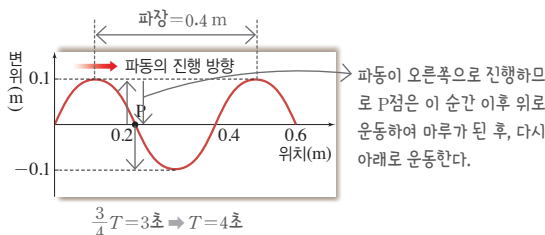
05 꼼꼼 문제 분석



파장은 C가 D보다 짧으며, 손이 줄을 흔드는 진동수와 줄에 생긴 파동의 진동수가 같으므로 C와 D에서 파동의 진동수는 같다. 또 파동의 전파 속도 $v=f\lambda$ 에서 파동의 진동수 f 가 같을 때 속력은 파장에 비례하므로, C에 생긴 파동의 속력은 D에 생긴 파동의 속력보다 느리다.

06 종파의 파장은 밀한 곳에서 다음 밀한 곳까지, 또는 소한 곳에서 다음 소한 곳까지 거리이므로 $10 \text{ cm}=0.1 \text{ m}$ 이고, 진동수는 2 Hz 이다. 파동의 속력은 진동수와 파장의 곱과 같으므로, 속력=진동수×파장= $2 \text{ Hz} \times 0.1 \text{ m}=0.2 \text{ m/s}$ 이다.

07 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 파장은 마루에서 이웃한 마루까지의 거리이므로 0.4 m 이다.
ㄴ. 파장 λ 가 0.4 m , 주기 T 가 4 초 이므로, 파동의 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=0.1 \text{ m/s}$ 이다.

바로알기 ㄴ. 파동이 오른쪽으로 진행하므로 P점은 위로 운동한다. 따라서 P점의 변위는 1 초 때 0.1 m , 2 초 때 0 , 3 초 때 -0.1 m 가 된다. 즉, 3 초 는 주기의 $\frac{3}{4}$ 에 해당하는 시간이므로 $\frac{3}{4}T=3 \text{ 초}$ 에서 $T=4 \text{ 초}$ 이다.

08 (가)에서 A, B에 생긴 파동의 파장의 비는 $1:2$ 이고, (나)에서 A, B에 생긴 파동의 주기의 비는 $2:3$ 이다. 파동의 속력은 파장을 주기로 나눈 값이므로, A, B에 생긴 파동의 속력의 비는 $\frac{1}{2} : \frac{2}{3} = 3:4$ 이다.

09 ㄴ. 파장이 8 cm , 주기가 0.8 초 이므로, 파동의 속력= $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}=\frac{8 \text{ cm}}{0.8 \text{ s}}=10 \text{ cm/s}$ 이다. 또는 파동의 마루가 P에서 P'까지 2 cm 이동하는 데 걸린 시간이 0.2 초 이므로, 속력= $\frac{\text{거리}}{\text{시간}}=\frac{2 \text{ cm}}{0.2 \text{ s}}=10 \text{ cm/s}$ 로 구할 수 있다.

바로알기 ㄱ. 파동의 마루가 P에서 P'까지 진행할 때 $\frac{1}{4}$ 파장이 이동한 것이다. 이때 걸린 시간이 0.2 초 이므로, 한 파장이 이동하는 데 걸리는 시간, 즉 주기는 0.8 초 이다.

ㄴ. 횡파의 진행 방향과 매질의 진동 방향은 수직이므로, P점의 매질의 운동 방향은 위아래 방향이다. 따라서 파동의 마루가 P에서 P'까지 진행할 때 P점의 매질은 마루의 위치에서 아래쪽 방향인 진동 중심 쪽으로 운동한다.

10 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은 두 매질에서의 파장의 비(매질 1과 매질 2에서 파장의 비)와 같으므로 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다. 또한,

$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 에서 $\lambda_1>\lambda_2$ 이므로 $i>r$ 이다. 따라서 이 파동이 매질 1에서 매질 2로 비스듬히 입사하는 경우 굴절각이 입사각보다 작다.

11 **모범 답안** 진공에 대한 매질 A의 굴절률은 진공에서 매질 A로 빛이 입사할 때 입사각과 굴절각의 사인값의 비와 같으므로 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{2}$ 이다.

채점 기준	배점
굴절률을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
굴절률만 옳게 쓴 경우	50 %

12 ㄱ. 빛의 진동수는 매질이 달라져도 일정하므로 매질 A에서 빛의 진동수는 진공에서와 같다.

ㄴ. 진공에 대한 매질 A의 굴절률 $n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{c}{v} = \sqrt{2}$ 이므로 $v = \frac{c}{\sqrt{2}}$ 이다. 따라서 매질 A에서 빛의 속력은 진공에서보다 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배로 느려진다.

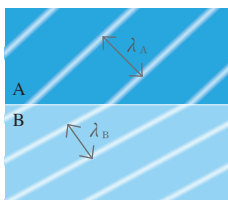
바로알기 ㄷ. 진공과 매질 A에서 빛의 파장이 각각 λ_1, λ_2 이면 진공에 대한 매질 A의 굴절률 $n = \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{2}$ 이므로 $\lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\lambda_1$ 이다. 따라서 빛의 파장은 매질 A에서가 진공에서보다 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배로 짧다.

13 ㄱ. $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{v_{\text{공기}}}{v_1}$ 에서 $v_1 = \frac{v_{\text{공기}}}{\sqrt{3}}$ 이고, $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{v_1}{v_2}$ 에서 $v_1 = \frac{v_2}{\sqrt{2}}$ 이다. 따라서 $v_1 < v_2 < v_{\text{공기}}$ 이므로 빛의 속력은 매질 1 < 매질 2 < 공기 순으로 빠르다.

바로알기 ㄴ. 굴절률은 빛의 속력이 가장 느린 매질 1에서 가장 크고, 빛의 속력이 가장 빠른 공기에서 가장 작다.

ㄷ. 빛이 매질 2에서 공기로 나올 때 굴절각을 θ 라고 하면 $n_2 \sin 45^\circ = n_{\text{공기}} \sin \theta$ 가 성립하므로 $\frac{n_2}{n_{\text{공기}}} = \frac{\sin \theta}{\sin 45^\circ}$ 이다. $\frac{n_2}{n_{\text{공기}}} = \frac{n_1}{n_{\text{공기}}} \times \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} \times \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ}$ 이므로 빛이 매질 2에서 공기로 나올 때 굴절각 $\theta = 60^\circ$ 이다.

14 품공 문제 분석



- 파장: $\lambda_A > \lambda_B$
- 파동의 속력: $v = f\lambda$ 에서 진동수 f 가 일정할 때 속력 v 와 파장 λ 는 비례하므로 $v_A > v_B$ 이다.
- 물의 깊이: 깊이가 깊을수록 물결파의 속력이 빠르므로 A가 B보다 깊다.

② 물결파의 파장은 파면과 파면 사이의 거리로 알 수 있으므로, 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

③ 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 에서 진동수가 같을 때 속력은 파장에 비례하므로, 물결파의 속력은 파장이 긴 A에서가 파장이 짧은 B에서보다 빠르다.

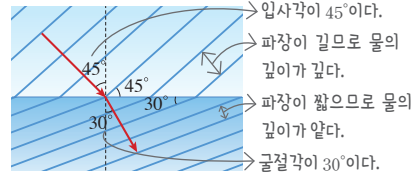
④ 파동의 진행 방향을 파면에 수직이 되게 그려 보면, 입사각의 크기가 굴절각의 크기보다 큰 것을 알 수 있다.

⑤ 물의 깊이가 달라져도 물결파의 진동수가 일정하므로, 진동수의 역수인 주기도 변하지 않는다.

바로알기 ① 물의 깊이가 깊을수록 속력이 빠르므로, 물의 깊이는 A가 B보다 깊다.

15 품공 문제 분석

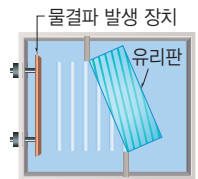
파동의 진행 방향과 파면은 수직이다. 따라서 파면과 매질의 경계면이 이루는 각이 입사각 또는 굴절각과 같다.



굴절 법칙에 의해 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$ 의 식이 성립하므로 깊은 물과 얇은 물에서 물결파의 속력의 비는 입사각과 굴절각의 사인값의 비와 같다. 따라서 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2}$ 이다.

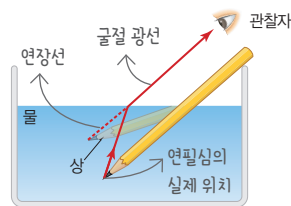
16 유리판을 넣어 물의 깊이가 얕아진 곳에서는 물결파의 속력이 느려진다. 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 에서 물결파의 진동수가 일정할 때 속력과 파장은 비례하므로 물의 깊이가 얕아진 곳에서는 파장도 짧아진다.

모범 답안



채점 기준	배점
물결파의 모습을 모범 답안과 같이 옳게 그린 경우	100 %
물결파의 파장은 옳게 그렸으나 진행 방향이 옳지 않은 경우	50 %

17 품공 문제 분석

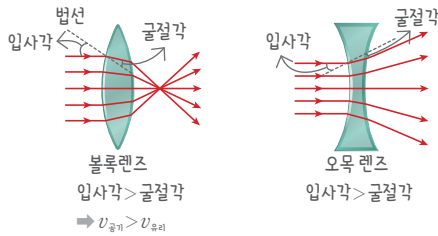


ㄱ. 공기의 굴절률이 물의 굴절률보다 작으므로, 빛이 물속에서 공기로 나올 때 속력이 빨라진다.

바로알기 ㄴ. 물에 일부 잠긴 연필이 꺾여 보이는 것은 물에 잠긴 부분에서 반사된 빛이 물과 공기의 경계면에서 굴절하기 때문이다. 따라서 연필심에서 반사하는 빛은 굴절하여 눈에 들어온다.

ㄷ. 연필심에서 반사하는 빛이 굴절하여 눈에 들어올 때 물 밖에서 연필을 관찰하는 사람은 굴절 광선의 연장선상에 연필이 있는 것으로 인식하므로 연필이 잠긴 부분은 실제 위치보다 위쪽에 떠 보이게 된다. 따라서 연필심의 실제 깊이는 눈에 보이는 것보다 아래쪽에 있다.

18 꼼꼼 문제 분석



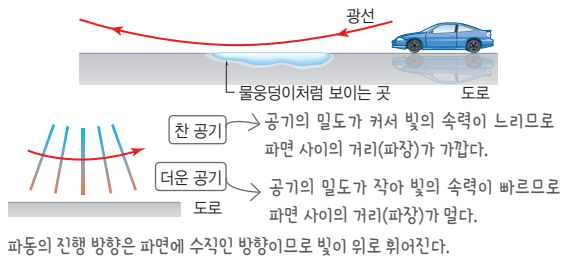
ㄱ. 공기와 렌즈의 경계면에 법선을 그어 입사각과 굴절각의 크기를 비교하면 입사각이 굴절각보다 크다. 법선과 이루는 각이 작을수록 빛의 속력이 느리므로, 빛의 속력은 유리에서가 공기에 서보다 느리다.

ㄴ. 관찰자는 굴절 광선의 연장선상에 물체가 있는 것으로 인식하므로, 볼록 렌즈를 책에 가까이 대고 보면 굴절 광선의 연장선 상에 글자가 확대되어 크게 보인다.

바로알기 ㄷ. 오목 렌즈의 경우에도 빛이 공기에서 유리로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 크다.

19 꼼꼼 문제 분석

더운 여름날 아스팔트 도로에 물웅덩이가 있는 것처럼 보이는 까닭은 가열된 공기층을 지나가는 빛의 속력이 달라져서 연속적으로 굴절하기 때문이다.



ㄱ. 공기의 온도가 높을수록 빛의 속력이 빠르고, 빛의 속력이 빠를수록 굴절률이 작다. 따라서 온도가 높은 공기일수록 굴절률이 작다.

바로알기 ㄴ. 공기의 밀도가 작을수록 빛의 속력은 빠르다.

ㄷ. 도로면에 가까울수록 공기의 온도가 높아서 밀도가 작으므로 빛의 속력은 빠르다.

20 ①, ⑤ 신기루나 아지랑이가 나타나는 현상은 빛이 밀도가 불균일한 공기를 지나며 굴절하기 때문이다.

③ 물이 담긴 컵 속의 빨대가 꺾여 보이는 현상은 빛이 물에서 공기로 나올 때 굴절하기 때문이다.

④ 소리가 낮보다 밤에 더 멀리까지 퍼지는 현상은 공기의 온도에 따라 소리의 속력이 달라 굴절하기 때문이다.

바로알기 ② 호수의 물에 주변 경치가 비쳐 보이는 것은 빛의 반사에 의한 현상이다.

21 빛이나 소리가 연속적으로 굴절할 때는 빛이나 소리의 속력이 느려지는 쪽으로 굴절한다.

ㄷ. 지면에 가까울수록 소리의 속력은 느리므로, 공기의 온도는 지면에 가까울수록 낮다.

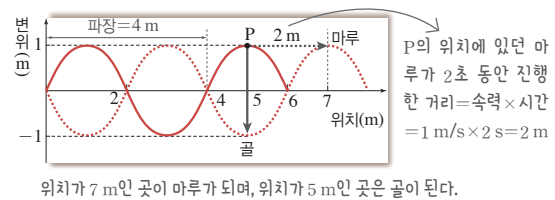
바로알기 ㄱ, ㄴ. 지면에 가까울수록 공기의 온도가 낮아 소리의 속력이 느려지므로, 소리가 지면을 향해 굴절하는 현상은 밤에 나타난다.

실력 UP 문제

255쪽

01 -1 m 02 ② 03 ⑤ 04 ③ 05 ③

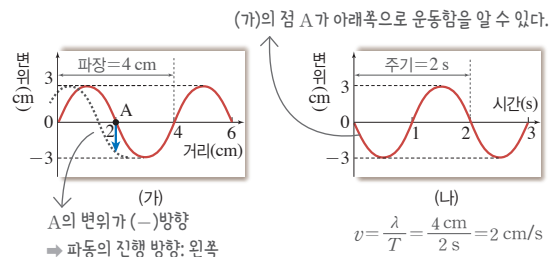
01 꼼꼼 문제 분석



파동이 오른쪽으로 진행하는 동안 P의 위치에 있던 마루는 오른쪽으로 진행하지만, P점의 매질은 아래 방향으로 이동한다. P의 위치에 있던 마루가 2초 동안 오른쪽으로 진행한 거리를 구하면, 거리=속력×시간=1 m/s×2 s=2 m이므로 위치가 7 m인 곳이 마루가 되고, 위치가 5 m인 곳은 골이 된다. 즉, 2초 동안 P점의 매질은 아래로 운동하여 골이 되므로, 2초 후 점 P의 변위는 -1 m이다.

다른 풀이 파동의 파장 $\lambda=4$ m, 속력 $v=1$ m/s이므로, 주기 $T=\frac{\lambda}{v}=\frac{4 \text{ m}}{1 \text{ m/s}}=4$ 초이다. 2초는 $\frac{T}{2}$ 에 해당하는 시간이므로, 이 시간 동안 파동의 마루는 골이 된다. 따라서 2초 후 점 P의 변위는 -1 m이다.

02 꼼꼼 문제 분석



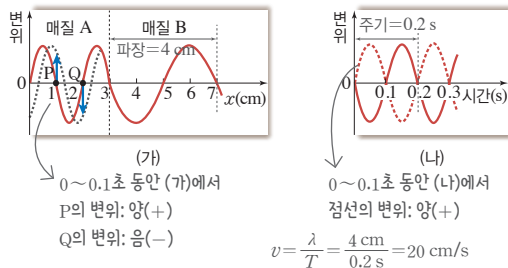
ㄴ. (가)에서 파장 $\lambda=4$ cm이고, (나)에서 주기 $T=2$ 초인 것을 알 수 있으므로, 이 파동의 속력 $v=\frac{\lambda}{T}=\frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ s}}=2 \text{ cm/s}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (나)의 그래프에서 0~1초 동안 A의 변위가 (-)방향이다. (가)의 그래프에서 파동이 왼쪽 방향으로 진행할 때 A의 변위가 (-)방향이 되므로, 파동의 진행 방향은 왼쪽이다.

ㄴ. 이 파동의 주기 $T=2$ 초이므로, 1초는 $\frac{T}{2}$ 에 해당하는 시간이다. 주기 T 동안 매질은 한 번 진동하지만, $\frac{T}{2}$ 동안에는 평형점 → 마루 → 평형점으로 운동한다. 따라서 $x=4$ cm인 지점의 1초 후의 변위는 0이다.

다른 풀이 (나)에서 변위=0인 지점이 1초 후에 다시 변위가 0이 되는 것을 알 수 있다. $x=4$ cm인 지점의 변위가 0이므로, 이 지점의 1초 후 변위는 0이 된다.

03 곱셈 문제 분석

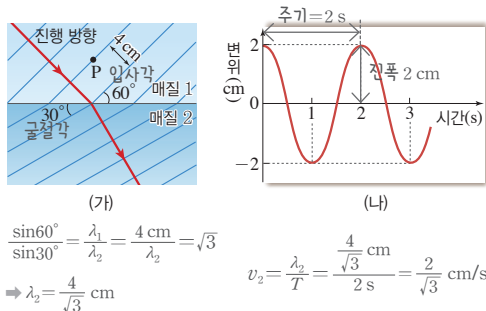


ㄴ. 한 파동의 진동수는 매질의 종류에 관계없이 일정하므로, 매질 A와 매질 B에서 진행하는 파동의 진동수는 일정하다. 주기는 진동수의 역수이므로, A와 B에서 파동의 주기도 같다.

ㄴ. 매질 B에서 진행하는 파동의 파장 $\lambda=4$ cm이다. (나)에서 이 파동의 주기 $T=0.2$ 초인 것을 알 수 있으므로, 이 파동의 속력 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4 \text{ cm}}{0.2 \text{ s}} = 20 \text{ cm/s}$ 이다.

바로알기 ㄱ. A에서 파동이 +x 방향으로 진행할 때 (가) 순간 이후 P는 위 방향으로 운동하므로 0.1초 동안 P의 변위는 양(+)의 값이고, Q는 아래 방향으로 운동하므로 0.1초 동안 Q의 변위는 음(-)의 값이다. 따라서 (나)에서 점선은 P의 변위를 시간에 따라 나타낸 것이다.

04 곱셈 문제 분석



ㄱ. 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지 거리이므로 2 cm이다.

ㄴ. 입사파의 파면과 경계면 사이의 각은 입사각, 굴절파의 파면과 경계면 사이의 각은 굴절각이므로, 입사각은 60° 이고 굴절각은 30° 이다.

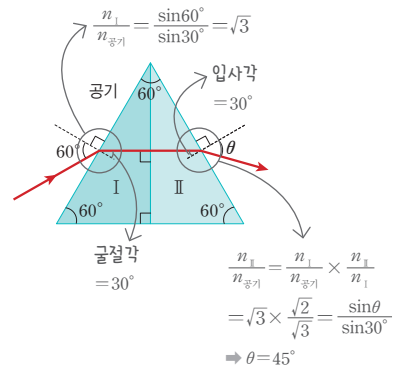
$$\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{4 \text{ cm}}{\lambda_2} = \sqrt{3} \text{이므로 매질 2에서 물결파의 파장}$$

$$\lambda_2 = \frac{4}{\sqrt{3}} \text{ cm이다. 따라서 매질 2에서 물결파의 속력 } v_2 = \frac{\lambda_2}{T}$$

$$= \frac{\frac{4}{\sqrt{3}} \text{ cm}}{2 \text{ s}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \text{ cm/s이다.}$$

바로알기 ㄴ. 매질 1과 2에서 물결파의 주기가 같으므로, 매질 2에서 물결파의 주기는 2초이다.

05 곱셈 문제 분석



ㄱ. 단색광이 공기에서 매질 I로 진행할 때 입사각은 60° , 굴절각은 30° 이다. 굴절 법칙에 의해 $n_{\text{공기}} \sin 60^\circ = n_I \sin 30^\circ$ 이므로, 공기에 대한 매질 I의 굴절률 $\frac{n_I}{n_{\text{공기}}} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 이다.

ㄴ. 빛이 매질 II에서 공기로 입사할 때 $n_{II} \sin 30^\circ = n_{\text{공기}} \sin \theta$ 가 성립하므로 $\frac{n_{II}}{n_{\text{공기}}} = \frac{\sin \theta}{\sin 30^\circ}$ 이다. 매질 I에 대한 매질 II의 굴절률 $\frac{n_{II}}{n_I} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ 이므로, $\frac{n_{II}}{n_{\text{공기}}} = \frac{n_I}{n_{\text{공기}}} \times \frac{n_{II}}{n_I} = \sqrt{3} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{\sin \theta}{\sin 30^\circ}$ 이다. 따라서 $\sin \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$ 이므로 $\theta = 45^\circ$ 이다.

바로알기 ㄴ. 공기에 대한 매질 I과 II의 굴절률은 각각 $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$, $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$ 이다. 굴절률이 큰 매질일수록 빛의 파장이 짧으므로, 빛의 파장은 I에서가 II에서보다 짧다.



개념 확인 문제

259쪽

- ① 전반사 ② 느린 ③ 빠른 ④ 큰 ⑤ 임계각

- ⑥ $\frac{1}{n}$ ⑦ 광섬유 ⑧ 클래딩 ⑨ > ⑩ 전반사 ⑪ 광통신

- 1 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ 2 $\neg$, $\equiv$ 3 45° 4 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ 5 ㉠ 작은, ㉡ 큰, ㉢ 전반사 6 (1) ㉤ (2) ㉦ (3) ㉨

1 일반적으로 빛이 다른 매질의 경계면을 통과할 때 일부는 굴절하고 일부는 반사하는데, 빛이 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상을 전반사라고 한다.

- (1) 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 때 일어날 수 있다.
(2) 굴절각이 90° 가 될 때의 입사각을 임계각이라고 한다.
(3) 입사각이 임계각보다 커야 전반사가 일어날 수 있다.

2 $\neg$. 빛이 굴절률이 작은 매질인 공기에서 큰 매질인 물로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 작으며, 굴절과 반사가 동시에 일어난다.

$\neg$. 빛이 굴절률이 작은 매질인 공기에서 큰 매질인 물로 진행할 때에는 전반사가 일어나지 않는다.

$\neg$. 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 굴절각이 입사각보다 크다.

$\neg$. 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 클 경우에 전반사가 일어난다.

3 $\sin i_c = \frac{1}{n} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 에서 $i_c = 45^\circ$ 이다.

4 (1) 굴절각은 90° 이다.

- (2) 반사 법칙에 따라 반사각은 입사각과 같은 30° 이다.
(3) 입사각 45° 는 임계각보다 크므로 전반사가 일어난다.

5 광섬유는 굴절률이 작은 클래딩이 굴절률이 큰 코어 부분을 감싸고 있는 구조이다. 광섬유의 코어에 입사한 빛은 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하며 코어를 따라 진행한다.

6 (1) 송신기는 신호를 보내는 장치로, 전기 신호를 빛 신호로 변환시킨다.

(2) 광섬유는 빛의 전반사에 의해 빛 신호를 전송한다.

(3) 수신기는 정보를 수신하는 장치로, 빛 신호가 광센서에서 전기 신호로 변환된다.

개념 확인 문제

263쪽

- ① 전자기파 ② 빛 ③ 적외선 ④ 자외선 ⑤ 적외선
⑥ 자외선 ⑦ 마이크로파 ⑧ 라디오파 ⑨ X선 ⑩ 감마(γ)선

- 1 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$ 2 감마(γ)선-X선-자외선-가시광선-적외선-마이크로파-라디오파 3 가시광선 4 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$ 5 (1) 적외선 (2) 전파(라디오파) (3) 자외선
6 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉤ (5) ㉥

1 (1), (3) 전자기파는 매질 없이도 전기장과 자기장이 진동하며 진행하는 파동이다.

(2) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향과 진행 방향이 수직인 횡파이다.

(4) 진공에서 전자기파의 속력은 파장과 진동수에 관계없이 일정하며 빛의 속력과 같다.

2 빛의 속력을 c 라고 할 때 전자기파의 진동수 f 와 파장 λ 사이에는 $c = f\lambda$ 가 성립한다. 한 매질에서 빛의 속력이 일정할 때 진동수와 파장은 반비례한다. 따라서 진동수는 감마(γ)선 > X선 > 자외선 > 가시광선 > 적외선 > 마이크로파 > 라디오파 순이다.

3 전자기파 중 사람이 맨눈으로 감지할 수 있는 것은 가시광선이다.

4 (1) 적외선은 햇빛의 스펙트럼에서 빨간색 바깥쪽에 나타나는 전자기파이다.

(2) 물체에 흡수되어 온도를 높이는 열작용을 하는 전자기파는 적외선이다.

(3) 자외선에 오래 노출되면 피부가 그을려 탈 수 있다.

5 (1) 열화상 카메라는 물체에서 방출되는 적외선을 감지하여 온도에 따라 각각 다른 색을 보여주므로, 열화상 카메라에 이용되는 전자기파는 적외선이다.

(2) 라디오의 방송에 이용되는 전자기파는 라디오파로, 보통 라디오파를 전파라고 한다.

(3) 식기 소독기에 이용되는 전자기파는 살균 작용이 있는 자외선이다.

6 (1) X선은 투과력이 강해 뼈 사진을 찍는 데 이용된다.

(2) 자외선은 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하는 형광 작용을 하므로 위조지폐를 감별하는 데 이용된다.

(3) 적외선은 주로 열을 내는 물체에서 방출되므로, 이를 감지하여 온도를 측정하는 온도계에 이용된다.

(4) 마이크로파는 음식물 속에 포함된 물 분자를 진동시켜 열을 발생하므로 전자레인지에 이용된다.

(5) 감마(γ)선은 투과력이 매우 강하고 큰 에너지를 가지고 있어 암세포를 파괴하여 암을 치료할 수 있다.

대표 자료 분석

264~265쪽

- 자료 1** 1 (1) 임계각 (2) $\frac{1}{n_1}$ (3) $\frac{n_2}{n_1}$ 2 유리>물>공기
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○
- 자료 2** 1 (1) 작 (2) 크 (3) 없 2 (1) 크다 (2) 느리다 (3) 없다
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×
- 자료 3** 1 (1) 수직 (2) 자기장 (3) +z (4) 길 2 (1) 횡파
(2) 반비례 (3) 클수록 3 (1) × (2) ○ (3) ×
- 자료 4** 1 A: 자외선, B: 적외선 2 자외선 3 X선
4 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○

1-1 (1) 굴절각이 90°일 때의 입사각을 임계각이라고 한다.
(2) 빛이 굴절률이 n_1 인 유리에서 굴절률이 1인 공기로 진행할 때, 입사각이 임계각 θ_1 일 경우 굴절각이 90°이므로 임계각 θ_1 은 굴절 법칙에 따라 $\frac{\sin \theta_1}{\sin 90^\circ} = \frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{유리}}} = \frac{1}{n_1}$ 에서 $\sin \theta_1 = \frac{1}{n_1}$ 이다.
(3) 빛이 굴절률이 n_1 인 유리에서 굴절률이 n_2 인 물로 진행할 때의 임계각이 θ 이면 $\frac{\sin \theta}{\sin 90^\circ} = \frac{n_{\text{물}}}{n_{\text{유리}}} = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 $\sin \theta = \frac{n_2}{n_1}$ 이다.

1-2 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 전반사가 일어날 수 있으므로, 굴절률은 (가)에서 유리>공기, (나)에서 물>공기이다. 또 굴절률이 클수록 임계각이 작으므로, $\theta_1 < \theta_2$ 이면 굴절률은 유리가 물보다 크다.

1-3 (1) 입사각이 임계각보다 클 때 전반사가 일어나므로, (가)에서 입사각이 θ_1 보다 클 때 전반사가 일어난다.
(2) 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 일어날 수 있으므로, (나)에서 빛이 굴절률이 작은 공기에서 굴절률이 큰 물로 진행할 때는 전반사가 일어날 수 없다.
(3) 전반사의 임계각이 θ 이면 $\sin \theta = \frac{n_2}{n_1}$ ($n_1 > n_2$)이다. 따라서 두 매질의 굴절률 n_1 , n_2 의 차가 클수록 임계각 θ 의 크기는 작다.
(4) 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때 일어날 수 있다.
(5) 반사 법칙에 따라 입사각과 반사각의 크기가 같다. (가)에서 입사각이 θ_1 이므로 반사각도 θ_1 이다.

2-1 (1) 입사각>임계각일 때 전반사가 일어나므로, A와 C 사이의 임계각은 θ 보다 작다.

(2) A와 B의 경계면에서 전반사가 일어나지 않으므로 $\theta < \theta_1$ 임계각이다. 임계각이 작을수록 두 매질의 굴절률 차가 크므로, 굴절률 차는 A와 C 사이가 A와 B 사이보다 크다. 따라서 굴절률은 $C < B < A$ 이므로, 굴절률은 B가 C보다 크다.

(3) 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로, B를 코어로 사용한 광섬유에 굴절률이 더 큰 A를 클래딩으로 사용할 수 없다.

2-2 (1) 코어로 입사한 빛이 전반사하며 광섬유를 따라 진행하려면, 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 한다.
(2) 굴절률은 코어가 클래딩보다 크고 굴절률이 클수록 빛의 속력이 느리므로, 빛의 속력은 코어에서가 클래딩에서보다 느리다.
(3) 광섬유는 끊어지면 쉽게 다시 연결하여 사용할 수 없다.

2-3 (1) P가 A에서 B로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 작다. 법선과 이루는 각이 작을수록 빛의 속력이 느리므로, P의 속력은 A에서가 B에서보다 느리다.
(2) P가 A에서 B로 입사할 때 입사각이 굴절각보다 작다. 법선과 이루는 각이 작을수록 빛의 파장이 짧으므로, P의 파장은 A에서가 B에서보다 짧다.
(3) P가 A에서 C로 입사할 때 전반사가 일어나므로, 굴절률은 A가 C보다 크다. 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로, A를 코어로 사용해야 한다.
(4) 빛은 외부 전자기파의 영향을 받지 않으므로, 광통신은 외부 전자기파에 의한 간섭이 없고 도청이 어렵다.
(5) 구리 도선을 따라 전류가 흐를 때는 열이 발생하여 에너지 손실이 생기지만, 광섬유를 따라 빛이 전반사하며 진행할 때는 빛의 세기가 거의 약해지지 않는다. 따라서 광섬유를 이용한 광통신은 구리 도선을 이용한 통신보다 에너지 손실이 적다.

3-1 (1), (2) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 전자기파의 진행 방향과 수직인 파동이다. 따라서 ㉠은 자기장이다.
(3) 전자기파는 진행 방향이 전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직이며, 전기장의 방향에서 자기장의 방향으로 오른나사를 돌릴 때 오른나사의 진행 방향이 전자기파의 진행 방향이므로 +z 방향이다.
(4) ㉠은 전자기파의 파장으로, 파장이 길수록 전자기파의 에너지가 작다.

3-2 (1) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 진행 방향과 수직인 횡파이다.
(2) 빛의 속력을 c 라고 할 때 전자기파의 진동수 f 와 파장 λ 사이에는 $c = f\lambda$ 가 성립한다. 한 매질에서 빛의 속력이 일정할 때 진동수와 파장은 반비례한다.
(3) 전자기파의 에너지는 진동수가 클수록 크다.

3-3 (1) 전자기파는 매질이 없어도 전파되는 파동이며, 전기장과 자기장의 진동으로 전파된다.

(2) 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 빛의 속력과 같다.

(3) 전자기파의 속력은 진공에서는 빛의 속력과 같지만, 진공이 아닌 매질에서는 온도나 밀도 등의 매질의 상태에 따라 속력이 변한다.

4-1 가시광선보다 파장이 짧은 A는 자외선이고, 가시광선보다 파장이 긴 B는 적외선이다.

4-2 미생물을 파괴할 수 있는 살균 기능과 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하는 형광 작용은 자외선이 가지는 성질이다.

4-3 투과력이 강해 물체의 내부나 인체 내부의 모습을 알아보는 데 이용되는 전자기파는 X선이다.

4-4 (1) 체온 측정을 위한 열화상 카메라에 사용되는 전자기파는 B(적외선)이다.

(2) 살균 작용이 있어 식기 소독기에 사용되는 전자기파는 A(자외선)이다.

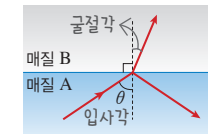
(3) 가시광선은 파장에 따라 다른 색으로 보인다. 파장이 가장 긴 가시광선은 빨간색으로 보이고, 파장이 가장 짧은 가시광선은 보라색으로 보인다.

(4) 전자기파 중 진동수가 가장 큰 것은 감마(γ)선이며, 전파는 진동수가 가장 작다.

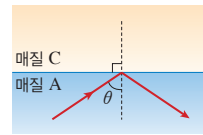
(5) 감마(γ)선은 전자기파 중에서 에너지가 가장 커서 암세포를 파괴하는 데 이용된다.

바로알기 $\perp$. 임계각은 굴절각이 90° 일 때의 입사각이다.

02 품공 문제 분석



(가)
입사각 > 굴절각
→ 빛의 파장: 매질 A > 매질 B
→ 굴절률: 매질 A < 매질 B



(나)
전반사가 일어남
→ 입사각 > 임계각
→ $\theta > \theta_c$
→ 굴절률: 매질 C < 매질 A

① (가)에서 입사각이 굴절각보다 크다. 법선과 이루는 각이 클수록 빛의 파장이 길므로, 단색광의 파장은 A에서 B에서보다 길다.

② 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 큰 매질일수록 굴절률이 작으므로 (가)에서 굴절률은 A가 B보다 작다. 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 빛이 입사할 때 전반사가 일어나지 않으므로, (가)에서 입사각의 크기를 증가시켜도 전반사가 일어나지 않는다.

③ 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로, (나)에서 입사각 θ 는 임계각보다 크다. 즉, 임계각은 θ 보다 작다.

⑤ 굴절률이 작을수록 빛의 속력이 빠르다. 굴절률의 크기는 $C < A < B$ 이므로, 빛의 속력은 C에서 가장 빠르다.

바로알기 ④ 굴절률은 (가)에서 $A < B$ 이고 (나)에서 $C < A$ 이므로, 굴절률은 B가 C보다 크다.

03 빛이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 보통은 경계면에서 굴절과 반사가 동시에 일어난다. 그러나 빛이 굴절률이 큰(속력이 느린) 매질에서 굴절률이 작은(속력이 빠른) 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 클 경우에는 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상이 일어나는데, 이를 전반사라고 한다.

모범 답안 전반사는 빛이 서로 다른 매질의 경계면에서 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상으로, 굴절률이 큰(속력이 느린) 매질에서 굴절률이 작은(속력이 빠른) 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 클 경우에 일어난다.

채점 기준	배점
전반사의 정의와 전반사의 조건을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전반사의 정의를 옳게 서술하고, 전반사의 조건 두 가지 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %
전반사의 정의와 전반사의 조건 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

04 빛이 굴절률이 n_A 인 A에서 굴절률이 n_B 인 B로 진행할 때의 임계각의 사인값 $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A}$ 이다. 따라서 $\sin 60^\circ = \frac{n_B}{n_A} = \frac{n_B}{2}$ 에서 B의 굴절률 $n_B = \sqrt{3}$ 이다.

내신 안정 문제

266~268쪽

- 01 ④ 02 ④ 03 해설 참조 04 $\sqrt{3}$ 05 ④ 06 ①
07 ③ 08 ⑤ 09 ③ 10 ④ 11 해설 참조 12 ⑤
13 ② 14 회절 15 ① 16 ②

01 $\neg$. 전반사는 빛의 속력이 느린 매질(굴절률이 큰 매질)에서 빛의 속력이 빠른 매질(굴절률이 작은 매질)로 빛이 진행할 때 일어날 수 있다.

$\perp$. 빛이 매질에서 굴절률이 1인 공기로 진행할 때, 전반사의 임계각 i_c 와 매질의 굴절률 n 은 $\sin i_c = \frac{1}{n}$ 의 관계가 있으므로 굴절률이 클수록 임계각이 작다.

- 05** ㄴ. 현재 조건에서 60° 가 임계각이므로, 입사각 60° 에서 전반사가 일어나려면 임계각의 크기가 작아지도록 굴절률이 다른 매질로 바꾸어야 한다. 빛이 굴절률이 n_A 인 A에서 굴절률이 n_B 인 B로 진행할 때의 관계식 $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A}$ 에서 n_B 가 작을수록 임계각은 작아진다. 따라서 B를 굴절률이 더 작은 물질로 바꾸면 임계각의 크기가 작아져 입사각 60° 에서 전반사가 일어난다.
- ㄷ. 현재 60° 가 임계각이므로 입사각을 60° 보다 크게 하면 전반사가 일어난다.

바로알기 ㄱ. $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A}$ 에서 n_A 가 클수록 임계각은 작아지므로, A를 굴절률이 큰 물질로 바꾸면 임계각의 크기가 작아져 입사각 60° 에서 전반사가 일어난다.

- 06** ㄴ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 때 일어난다. P가 A와 B의 경계면에서 전반사하므로, 굴절률은 $B < A$ 이다. 굴절률은 B가 C보다 크므로, 굴절률의 크기는 $C < B < A$ 이다. 굴절률이 클수록 빛의 속력이 느리므로, 매질에서의 P의 속력은 $A < B < C$ 순이다.

바로알기 ㄱ. 전반사할 때 입사광과 반사광의 세기가 같으므로, P는 A와 B의 경계면에서 전반사할 때 세기가 감소하지 않는다.

ㄷ. C의 굴절률이 전반사가 일어나는 B의 굴절률보다 작으므로, P가 A에서 C로 입사할 때 굴절하지 않고 전반사한다.

- 07** ㄱ. 두 매질의 굴절률 차가 클수록 임계각이 작다. 굴절각을 r , 원의 반지름을 R 라고 할 때 공기에 대한 매질의 굴절률은

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\overline{PQ}}{\overline{RS}} = \frac{\overline{PQ}}{\overline{RS}}$$

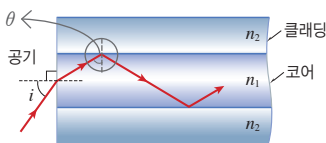
이다. $\frac{\overline{PQ}}{\overline{RS}}$ 값이 A가 B보다 작으므로, 굴절

률은 A가 B보다 작다. 따라서 임계각은 P가 A에서 공기로 입사할 때가 B에서 공기로 입사할 때보다 크다.

- ㄴ. 반원형 모양의 매질을 사용하면 점 S에서 빛이 매질과 공기의 경계면에 수직으로 입사하므로 빛의 진행 방향이 꺾이지 않는다.

바로알기 ㄷ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 때 일어날 수 있다. 굴절률은 A가 B보다 작으므로, 빛이 A에서 B로 진행할 때 전반사가 일어나지 않는다.

08 고품 문제 분석



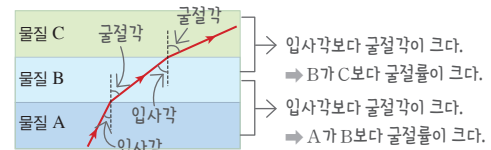
공기에서 코어로 입사하는 빛의 입사각은 i , 굴절각은 $(90^\circ - \theta)$ 이다. 입사각 i 가 커지면 굴절각 $(90^\circ - \theta)$ 도 커지지만, θ 는 작아진다.

- ㄴ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 향하여 빛이 진행할 때 일어날 수 있으므로, 코어와 클래딩의 굴절률의 관계는 $n_1 > n_2$ 이다.

ㄷ. 코어에서 클래딩을 향해 빛이 진행할 때 전반사의 임계각 θ_c 의 사인값 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 n_2 가 작을수록 임계각은 작아진다. 따라서 코어와 클래딩의 경계면에 더 작은 각으로 입사해도 전반사가 일어날 수 있다. 이는 공기와 코어의 경계면에 입사하는 빛의 굴절각이 더 커질 수 있다는 것을 의미하며 입사각 i 도 더 커질 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 i 의 최댓값 i_m 은 커진다.

바로알기 ㄱ. 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질을 향하여 빛이 진행할 때 일어날 수 있으므로, 빛의 속력은 코어에서 가 클래딩에서보다 느리다.

09 고품 문제 분석



- ㄱ. θ 의 각으로 코어와 클래딩의 경계면에 입사한 빛이 전반사하므로, θ 는 임계각보다 크다.

ㄴ. A에서 B로 진행하는 빛의 입사각보다 굴절각이 크므로, A의 굴절률이 B의 굴절률보다 크다. 또 B에서 C로 진행하는 빛의 입사각보다 굴절각이 크므로, B의 굴절률이 C의 굴절률보다 크다. 따라서 A, B, C의 굴절률의 크기는 $A > B > C$ 이다.

바로알기 ㄷ. 코어의 굴절률이 클래딩보다 커야 하므로, 클래딩을 B로 만들었다면 코어는 B보다 굴절률이 큰 A로 만들어야 한다.

- 10** ①, ②, ③ 광통신은 광섬유에서의 빛의 전반사를 이용하여 에너지의 손실이 거의 없이 많은 양의 정보를 동시에 교환하는 것이 가능하다. 그러나 빛의 전반사를 이용하더라도 코어 내에서 빛이 일부 흡수되어 세기가 약해지므로, 중간에 광 증폭기를 사용하여 빛 신호를 증폭한다.

⑤ 광섬유의 구조상 광섬유가 끊어졌을 때 연결하기 어렵다.

바로알기 ④ 광섬유 속으로 진행하는 빛은 외부 전자기파의 영향을 받지 않으므로 혼선이나 잡음이 없으며, 도청이 불가능하다.

- 11** **모범 답안** • 대용량의 정보를 동시에 주고받을 수 있다. • 에너지 손실이 적으므로 증폭기 설치 구간 사이의 거리가 길다. • 외부 전자기파의 영향을 받지 않아 혼선이나 잡음이 없고 도청이 어렵다. 등

채점 기준	배점
광통신의 장점을 세 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
광통신의 장점을 두 가지만 옳게 서술한 경우	60 %
광통신의 장점을 한 가지만 옳게 서술한 경우	30 %

12 ① 전자기파는 전기장과 자기장의 진동으로 전파되는 파동으로 매질이 없어도 전파될 수 있다.

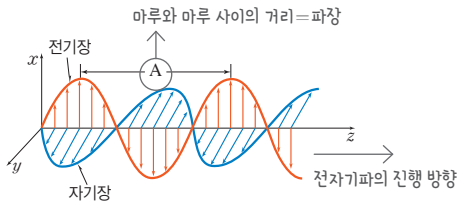
② 눈으로 볼 수 있는 영역의 전자기파를 가시광선이라고 한다.

③ 진공에서의 속력이 가장 빠르며, 매질에서의 속력은 진공에서의 속력보다 느리다.

④ 전자기파는 진동수가 클수록(파장이 짧을수록) 직진성이 강하다.

바로알기 ⑤ 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 3×10^8 m/s로 일정하다.

13 품공 문제 분석



ㄷ. A는 전자기파의 파장에 해당하는 길이이다.

바로알기 ㄱ. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 파동의 진행 방향과 수직인 횡파이다.

ㄴ. 전자기파는 전기장의 크기가 최대일 때 자기장의 크기도 최대이다.

14 파동이 장애물 뒤로 넓게 퍼져 나가는 현상을 회절이라고 하며, 회절은 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다.

15 전자기파의 파장은 감마(γ)선 < X선 < 자외선 < 가시광선 < 적외선 < 마이크로파 < 라디오파 순으로 길므로, A는 감마(γ)선, B는 마이크로파, C는 라디오파이다.

ㄱ. A는 감마(γ)선으로 투과력이 가장 강하고 암 치료에 이용된다.

바로알기 ㄴ. B는 마이크로파로 전자레인지, 통신 등에 이용된다. 전자 제품을 작동시키는 리모컨에 이용되는 것은 적외선이다.

ㄷ. C는 라디오파로 라디오나 텔레비전 방송 등에 이용된다. 물체에서 방출되며 열작용을 하는 것은 적외선이다.

16 체온계는 귀의 고막에서 나오는 적외선을 분석해 체온을 측정하며, 전자레인지는 마이크로파를 이용해 음식물에 포함된 물 분자를 진동시켜 열이 발생하게 하며, 식기 소독기는 자외선의 살균 기능을 이용하여 식기를 소독한다.

ㄴ. 진공에서 전자기파의 속력은 종류에 관계없이 모두 같다.

바로알기 ㄱ. (가)는 적외선을, (나)는 마이크로파를, (다)는 자외선을 이용한 예이다. 파장은 (가)의 적외선이 (다)의 자외선보다 길다.

ㄷ. (다)의 전자기파는 자외선이다.

실력 UP 문제

269쪽

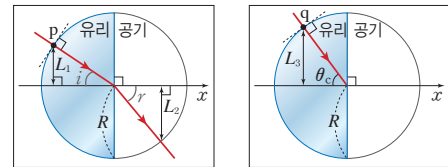
01 ⑤

02 ③

03 ③

04 ④

01 품공 문제 분석



(가)

$$n_{\text{유리}} \sin i = n_{\text{공기}} \sin r$$

$$\Rightarrow \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{유리}}}$$

$$\Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = \text{상대 굴절률} = \text{일정}$$

(나)

$$n_{\text{유리}} \sin \theta_c = n_{\text{공기}} \sin 90^\circ$$

$$\Rightarrow \sin \theta_c = \frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{유리}}} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{L_3}{R}$$

ㄴ. 입사각이 임계각보다 클 때 전반사하므로 (나)에서 입사각이 θ_c 보다 크면 전반사한다.

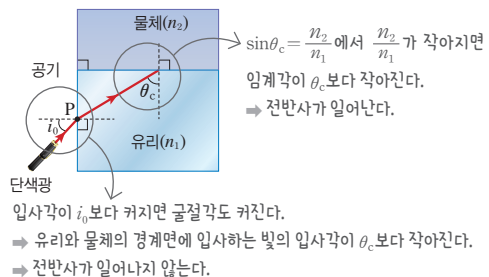
ㄷ. (가)에서 굴절 법칙 $n_{\text{유리}} \sin i = n_{\text{공기}} \sin r$ 이므로 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{유리}}} = \frac{L_1}{L_2}$ 이다.

(나)에서 굴절 법칙 $n_{\text{유리}} \sin \theta_c = n_{\text{공기}} \sin 90^\circ$ 이므로 $\sin \theta_c = \frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{유리}}} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{L_3}{R}$ 이다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 입사각을 i , 굴절각을 r 라고 할 때 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{L_1}{L_2}$ 이므로, $\frac{L_1}{L_2}$ 은 유리에 대한 공기의 상대 굴절률이다.

두 물질의 상대 굴절률은 일정하므로 입사각을 증가시켜도 $\frac{L_1}{L_2}$ 은 일정하다.

02 품공 문제 분석

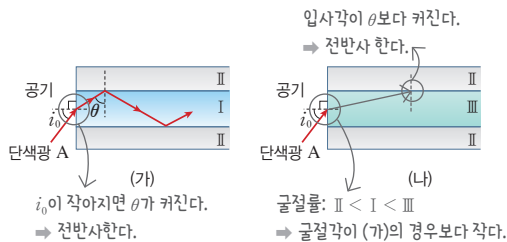


ㄱ. P에서 굴절각은 $(90^\circ - \theta_c)$ 이다. 따라서 굴절 법칙 $1 \times \sin i_0 = n_1 \sin(90^\circ - \theta_c) = n_1 \cos \theta_c$ 에서 $\cos \theta_c = \frac{\sin i_0}{n_1}$ 이고, 유리라 물체의 경계면에서 $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$ 이므로 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이다. 따라서 $\sin^2 \theta_c + \cos^2 \theta_c = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 + \left(\frac{\sin i_0}{n_1}\right)^2 = 1$ 에서 $\sin i_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ 이다.

ㄷ. $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$ 에서 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 이다. 이때 $\frac{n_2}{n_1}$ 가 작아지면 유리라 물체 사이의 임계각은 θ_c 보다 작아진다. 따라서 P에 i_0 의 각으로 입사한 단색광이 유리라 물체의 경계면에서 θ_c 의 각으로 입사할 때, $\frac{n_2}{n_1}$ 가 작아지면 임계각이 θ_c 보다 작아지므로 전 반사한다.

바로알기 ㄴ. P점에서 입사각이 i_0 일 때 굴절각은 $(90^\circ - \theta_c)$ 이다. 입사각이 i_0 보다 커지면 굴절각도 $(90^\circ - \theta_c)$ 보다 커지므로, 유리라 물체의 경계면에서 입사각은 θ_c 보다 작아진다. 입사각이 임계각 θ_c 보다 작아지면 전반사가 일어나지 않는다. 따라서 단색광을 P에 i_0 보다 큰 각으로 입사시키면 유리라 물체의 경계면에서 전 반사하지 않는다.

03 품공 문제 분석

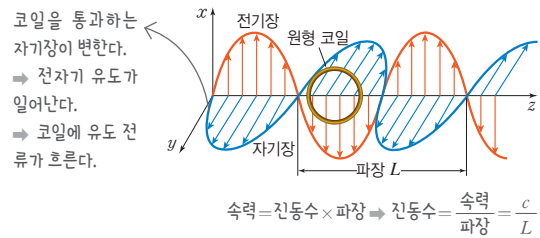


ㄱ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다. (가)에서 I과 II 사이에 전반사가 일어나므로, 임계각은 입사각 θ 보다 작다.

ㄷ. 두 매질의 굴절률 차가 클수록 굴절하는 정도가 커진다. 굴절률은 III이 I보다 크므로 (가)와 (나)에서 A를 각각 I과 III으로 같은 입사각 i_0 로 입사시켰을 때, 굴절각은 (가)에서보다 (나)에서가 더 작다. 따라서 (나)의 III에서 II로 입사하는 A의 입사각은 θ 보다 크다. 이때 A는 I과 II의 경계면보다 임계각이 작은 III과 II의 경계면에 더 큰 입사각으로 입사하는 것이므로, A는 III과 II의 경계에서 전반사한다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 매질 I로 입사하는 A의 입사각이 i_0 보다 작아지면 굴절각도 작아지게 되고, 매질 I에서 II로 입사하는 A의 입사각은 커진다. 커진 입사각이 임계각보다 크므로, A는 I과 II의 경계에서 전반사한다.

04 품공 문제 분석



ㄱ. 전자기파는 자기장과 전기장의 진동으로 전달되므로, 코일면을 수직으로 통과하는 자기장이 변하게 된다. 이때 코일에 전자기 유도가 일어나 코일에 유도 전류가 발생한다.

ㄴ. 파동의 속력은 진동수와 파장의 곱이므로, 전자기파의 진동수 $= \frac{\text{속력}}{\text{파장}} = \frac{c}{L}$ 이다.

바로알기 ㄷ. 파동이 다른 매질을 통과할 때 속력이 변하지만 진동수는 일정하다. 속력 = 진동수 $\times$ 파장에서 진동수가 일정할 때 속력과 파장은 비례한다. 따라서 이 전자기파가 다른 매질로 진행할 때 속력에 비례해서 파장 L 도 변한다.

3 파동의 간섭

개념 확인 문제

273쪽

- | | | | | |
|------|-------|------|-------|------|
| ① 중첩 | ② 독립성 | ③ 간섭 | ④ 보강 | ⑤ 상쇄 |
| ⑥ 커 | ⑦ 작아 | ⑧ 밝아 | ⑨ 어두워 | |
- 1 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ 2 파동의 독립성 3 7 cm 4 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄 5 P: 보강 간섭, Q: 상쇄 간섭 6 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ 7 간섭 8 ㄱ, ㄴ, ㄷ

1 (1) 두 파동의 마루와 골이 만나면 합성파의 진폭이 작아진다. (2) 중첩 원리에 의해 두 파동이 겹쳐질 때 합성파의 각 지점의 변위는 그 점을 지나는 두 파동의 변위를 더한 것과 같다.

2 두 파동이 만나 중첩된 후 각각의 파동이 다른 파동에 영향을 주지 않고 원래 파동의 모양을 그대로 유지하면서 독립적으로 진행되는 성질을 파동의 독립성이라고 한다.

3 중첩 원리에 의해 최대 진폭은 $4 \text{ cm} + 3 \text{ cm} = 7 \text{ cm}$ 이다.

4 진폭이 같은 파동이 ㉠보강 간섭을 하면 합성파의 진폭은 2배가 되고, ㉡상쇄 간섭을 하면 합성파의 진폭은 0이 된다.

5 P점은 가장 밝은 곳으로, 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어난 것이다. Q점은 밝기 변화가 거의 없는 곳으로, 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난 것이다.

- 6** (1) 진동수가 같은 두 소리가 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭을 하므로 공기의 진폭이 작아져 작게 진동한다.
 (2) 진동수가 같은 두 소리가 같은 위상으로 만나면 보강 간섭이 일어나므로 소리가 커진다.
 (3) 진동수와 위상이 같은 두 소리의 경로차가 반파장의 홀수 배일 때 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 만나므로 상쇄 간섭을 한다.

7 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 가시광선 영역의 빛이 간섭을 일으켜 여러 가지 색의 무늬가 나타난다.

8 ㄱ, ㄴ, ㄷ. 소음 제거 헤드폰, 무반사 코팅, 홀로그램은 모두 파동의 간섭 원리를 이용한 것이다.
 ㄴ. 광통신은 빛의 전반사를 이용한 것이다.

대표 자료 분석

274쪽

- 자료 1** 1 (1) 보강 (2) 보강 (3) 상쇄 2 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄
 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○
자료 2 1 A: 보강 간섭, B: 상쇄 간섭 2 ㉠ 간섭, ㉡ 경로차
 3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

1-1 (1) P점에서는 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다.
 (2) Q점에서는 마루와 마루가 만나므로 보강 간섭이 일어난다.
 (3) R점에서는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

1-2 두 점파원 S_1 , S_2 에서 진폭과 파장이 같은 물결파를 같은 위상으로 발생시키면 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타나는 부분과 밝기가 일정한 부분이 나타난다. 이때 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타나는 부분은 ㉠보강 간섭이 일어난 곳이고, 밝기가 일정한 부분은 ㉡상쇄 간섭이 일어난 곳이다.

1-3 (1) 실선과 실선이 만나는 지점은 마루와 마루가 만나 중첩되는 곳이므로 보강 간섭이 일어나는 곳이다.
 (2) 점선과 점선이 만나는 지점은 골과 골이 만나 중첩되는 곳이므로 보강 간섭이 일어나는 곳이다.
 (3) P에서는 두 파동의 골과 골이 만난다.
 (4) Q에서 두 파원 S_1 , S_2 까지의 거리가 같으므로, 두 파동의 경로차가 0이다.

(5) R에서 두 파원 S_1 , S_2 까지의 거리의 차는 $\left| 3\lambda - \frac{3}{2}\lambda \right| = \frac{3}{2}\lambda = \frac{\lambda}{2} \times 3$ 이므로, 경로차는 반파장 $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ 의 홀수 배이다.

2-1 (가)의 A에서는 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어나고, B에서는 두 파동이 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

2-2 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 두 빛이 ㉠간섭을 일으킬 때, 두 빛의 ㉡경로차에 따라 다른 색깔의 빛이 보인다.

2-3 (1) 소음 제거 헤드폰은 주위의 소음과 반대 위상의 파동을 만들어 이 파동과 소음이 상쇄 간섭을 일으키게 하는 것이므로, (가)의 B와 같은 원리를 이용한 것이다.
 (2) A에서는 두 파동이 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어나므로 소리가 크게 들린다.
 (3) (나)에서 비눗방울을 바라보는 각도에 따라 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛의 경로차가 달라져 보강 간섭을 하는 빛의 파장이 달라지므로 보이는 색깔이 달라진다.
 (4) (나)의 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛 중 보강 간섭을 하는 파장의 빛이 보인다.
 (5) 물 위에 뜬 기름 막의 색깔이 다양하게 보이는 것도 빛의 간섭 현상에 의한 것이다.

내신 안정 문제

275~278쪽

- | | | | | | |
|------|------|----------|------|------|------|
| 01 ④ | 02 ③ | 03 해설 참조 | 04 ④ | 05 ⑤ | 06 ⑤ |
| 07 ③ | 08 ① | 09 ⑤ | 10 ③ | 11 ③ | 12 ⑤ |
| 13 ⑤ | 14 ① | 15 ④ | 16 ③ | 17 ③ | 18 ③ |

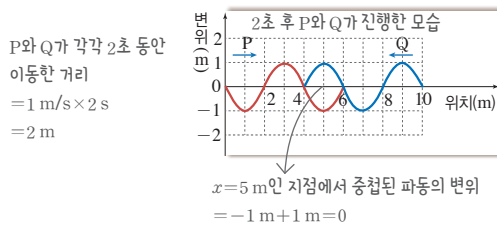
01 ㄱ. 중첩 원리에 의해 두 파동이 서로 만나 중첩된 합성파의 변위는 각 파동의 변위의 합과 같다.

ㄴ. 파동이 반대 위상으로 중첩될 때 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 중첩되므로 합성파의 진폭은 작아진다.

바로알기 ㄷ. 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 중첩되는 경우 상쇄 간섭이 일어난다.

02 여러 파동이 만나더라도 파동의 독립성 때문에 서로 영향을 주지 않고 각 파동의 특성이 그대로 유지된 채로 각자 진행하기 때문에, 여러 악기가 동시에 연주되어도 각각의 소리를 구분할 수 있고 여러 방송국에서 나온 여러 전파들 중에서 특정한 방송국의 전파를 선택하여 들을 수 있다.

03 꼼꼼 문제 분석

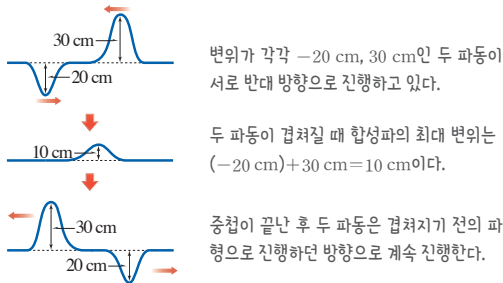


모범 답안 속력이 1 m/s 인 P, Q가 2초 동안 진행한 거리는 2 m 이다. P와 Q가 2 m 진행했을 때 $x=5 \text{ m}$ 인 지점에서 P와 Q의 변위는 각각 -1 m , 1 m 이므로 중첩된 파동의 변위는 $-1 \text{ m} + 1 \text{ m} = 0$ 이다.

채점 기준	배점
중첩된 파동의 변위를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
중첩된 파동의 변위만 옳게 쓴 경우	30 %

04 꼼꼼 문제 분석

두 파동이 만나 겹쳐지면 합성파의 변위는 각 파동의 변위를 합한 것과 같고, 중첩 후 두 파동은 겹쳐지기 전의 파동의 모양을 유지하며 독립적으로 진행한다.



파동의 독립성에 의해 두 파동은 중첩된 후 각각 원래의 파형을 그대로 유지한다. 따라서 ④와 같은 모습으로 멀어진다.

05 $x=0$ 인 지점에서 A와 B의 마루(골)까지의 거리가 같으므로, 속력이 같은 A와 B는 $x=0$ 인 지점에서 같은 위상으로 만나 보강 간섭을 한다. 파동 A, B의 속력이 1 cm/s 이므로 $x=0$ 인 지점에 도달하기까지 1초가 걸린다. 따라서 1초 후부터 중첩되어 진폭이 변하기 시작하고, 2초 때 두 파동의 마루와 마루가 중첩되므로 변위는 2 cm 가 된다. 따라서 ⑤가 적절한 그래프이다.

06 ㄴ. (나)에서 위치가 25 cm 인 지점의 변위가 2 cm 이므로, 위치가 25 cm 인 지점은 A의 마루와 B의 마루의 마루가 만나 보강 간섭이 일어나는 지점이다. 따라서 (나) 순간 이후로 위치가 25 cm 인 지점의 진폭은 2 cm 이다.

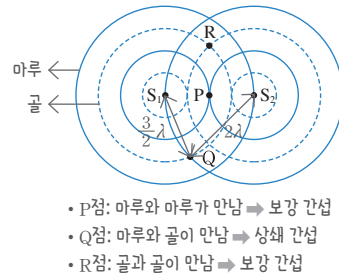
ㄷ. (가)에서 (나)까지 두 파동은 2초 동안 10 cm 를 이동하였으므로, 4초 동안에는 20 cm 를 이동한다. 4초 후 위치가 20 cm 인 지점에서 파동 A, B의 변위는 모두 0이므로, 중첩된 파동의 변위는 0이다. 따라서 $t=4$ 초일 때 위치가 20 cm 인 지점의 변위는 0이다.

바로알기 ㄱ. (나)에서 위치가 25 cm 인 지점에서 A의 마루와 B의 마루의 마루가 만나므로, 두 파동은 2초 동안 10 cm 를 진행한다. 따라서 두 파동의 속력은 $\frac{10 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 5 \text{ cm/s}$ 이다.

07 ㄷ. C에서는 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타나므로 수면이 크게 진동한다. 보강 간섭이 일어날 때 수면이 크게 진동하므로, C에서는 두 물결파가 같은 위상으로 만난다.

바로알기 ㄱ, ㄴ. A, B는 무늬의 밝기가 변하지 않는 마디선 위에 있는 점들이다. 상쇄 간섭이 일어날 때 수면이 진동하지 않으므로 무늬의 밝기가 변하지 않는다. 따라서 A, B에서 수면의 높이는 변하지 않으며, 상쇄 간섭이 일어난다.

08 꼼꼼 문제 분석

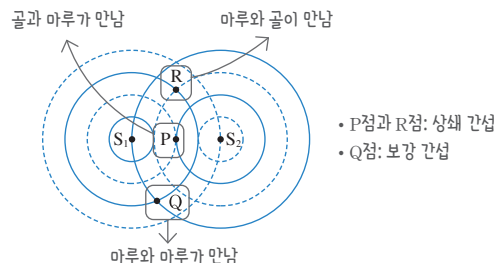


ㄱ. P점에서는 두 파동의 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어나고 Q점에서는 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어나므로, P점의 진폭이 Q점의 진폭보다 크다.

바로알기 ㄴ. Q점은 S_1 로부터 한 파장 반의 거리에 있고, S_2 로부터 두 파장의 거리에 있으므로, Q점에서 두 파동의 경로차는 반 파장이다.

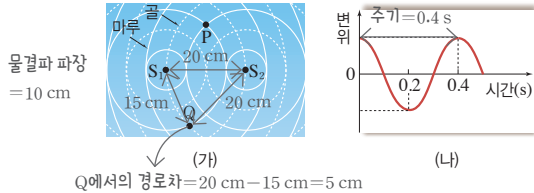
ㄷ. R점에서는 두 파동의 골과 골, 즉 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

09 꼼꼼 문제 분석



S_1 의 위상이 S_2 와 반대가 되도록 파동을 발생시킨다면, S_1 에서 발생하는 파동의 마루와 골의 위치가 처음과 반대가 된다. Q점에서는 두 파동의 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어나고, P, R점에서는 두 파동의 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난다.

10 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. (나)는 수면이 크게 진동하는 지점의 변위를 나타내므로 보강 간섭을 하는 지점의 변위를 나타낸다. P에서 두 물결파의 마루와 마루가 만나는 보강 간섭이 일어나므로, (나)는 P의 변위를 나타낸 것이다.

ㄷ. $\overline{S_1Q} = 15$ cm, $\overline{S_2Q} = 20$ cm이다. 따라서 Q에서 S_1 , S_2 로부터의 경로차는 $\overline{S_2Q} - \overline{S_1Q} = 20$ cm - 15 cm = 5 cm이다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 물결파의 파장은 10 cm, (나)에서 물결파의 주기는 0.4초이므로 물결파의 속력은 $\frac{10 \text{ cm}}{0.4 \text{ s}} = 25 \text{ cm/s}$ 이다.

11 ㄱ. A 지점에서 소리가 크게 들리므로 두 스피커에서 발생하는 소리가 보강 간섭을 한다.

ㄴ. B 지점에서 소리가 처음으로 가장 작게 들렸으므로, 두 스피커에서 발생한 소리가 상쇄 간섭을 한다. 따라서 B 지점에서는 두 스피커에서 발생한 소리가 반대 위상으로 만난다.

바로알기 ㄷ. 소리의 진동수가 커질수록 파장은 짧아지며, 파장이 짧아질수록 간섭이 일어나는 간격이 작아진다. 따라서 소리의 진동수가 커질수록 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 B 지점은 A에 가까워진다.

12 ㄱ. 검게 보이는 윗부분에서는 막의 두 면에서 반사하는 모든 색깔의 빛이 상쇄 간섭을 한다.

ㄴ. 비누 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛의 위상이 같아 보강 간섭을 하면 빛을 볼 수 있는데, 이때 나타나는 빛의 색깔은 막의 두께에 따라 달라진다.

ㄷ. 단색광을 비추면 막의 두께에 따라 상쇄 간섭과 보강 간섭이 번갈아 일어나 밝고 어두운 무늬가 나타난다.

13 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 같은 위상으로 만나는 지점에서는 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타나고, 반대 위상으로 만나는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

ㄱ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 만날 때 간섭 현상을 일으킨다.

ㄴ. 스크린에 밝은 무늬가 생기는 지점에서는 두 빛이 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어난다.

ㄷ. 스크린에 어두운 무늬가 생기는 지점에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 두 빛이 반대 위상으로 만난다.

14 ② 빛이 분광기의 좁은 틈을 통과하여 퍼질 때, 관측 각도에 따라 빛의 경로차가 달라져 각 지점으로 특정 파장의 빛이 보강 간섭한 결과를 스펙트럼으로 관찰한다.

③ 공연장을 설계할 때 벽이나 천장에 반사하는 소리가 상쇄 간섭하지 않도록 설계한다.

④ 비눗방울 표면이 무지갯빛을 띠는 현상은 비누 막에 의해 빛이 간섭하여 나타나는 것이다.

⑤ 모르포 나비는 날개 표면의 얇은 층에서 파란색 빛이 보강 간섭을 하여 파란색으로 보인다.

바로알기 ① 무지개는 공기 중에 떠 있는 물방울에 햇빛이 입사할 때, 빛의 파장에 따라 굴절하는 정도가 달라져 여러 색으로 나누어져 보이는 것이다.

15 ㄱ. 일반 헤드폰에서는 주변의 소음이 제거되지 않으므로 음악이 소음과 함께 들린다.

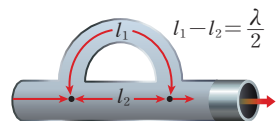
ㄴ. 소음 제거 헤드폰에서는 소음을 상쇄 간섭으로 제거하기 위해 소음 채집용 마이크 주변의 소음을 입력받으면서 소음과 반대 위상의 파동을 만들어 스피커를 통해 발생시킨다.

바로알기 ㄷ. 소음 제거 헤드폰의 ㉠은 스피커에서 발생한 소음과 반대 위상인 파동이 소음과 상쇄 간섭을 하는 과정이다.

16 ㄷ. 초음파 발생기에서 발생하는 초음파가 신장 결석이 있는 위치에서 보강 간섭을 해야 결석을 깨뜨려 제거할 수 있다. 따라서 (다)는 초음파의 보강 간섭을 이용한다.

바로알기 ㄱ. 태양 전지의 코팅막은 반사 방지막으로, 코팅막의 아랫면과 윗면에서 반사하는 빛의 세기를 감소시키기 위한 것이다. 반사광의 세기를 감소시키면 투과하는 빛의 세기가 그만큼 증가하여 더 많은 전기 에너지를 얻을 수 있다. 따라서 (가)는 반사되는 빛의 세기를 감소시키기 위한 것이다.

ㄴ. 자동차 소음기의 구조는 배기음(소음)이 지나는 통로가 2개로 나뉘어져 한 통로가 다른 통로보다 반파장만큼 길게 되어 있다. 따라서 소음기를 통과한 두 소음이 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭을 하므로 소음이 줄어든다. 따라서 (나)에서는 소음과 반대 위상의 소리를 발생시키지 않는다.



17 ㄱ. 무반사 코팅은 렌즈에 얇은 막을 코팅함으로써 얇은 막이 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 하도록 하여 반사광을 없앤다.

ㄴ. 무반사 코팅을 한 렌즈는 렌즈 표면에서 반사광이 나타나지 않는 (가)이다.

바로알기 ㄷ. 렌즈에서 빛이 투과하는 정도는 반사하는 빛의 세기가 작을수록 크다. 무반사 코팅을 한 (가)가 (나)보다 반사하는 빛의 세기가 작으므로 빛이 투과하는 정도는 (가)에서가 더 크다.

18 ㄱ, ㄴ. 숫자 부분에 재료로 사용된 잉크의 표면과 아래에서 반사하는 빛이 간섭을 일으킬 때, 보는 각도에 따라 보강 간섭을 하는 빛의 파장이 달라져 다른 색깔이 나타난다.

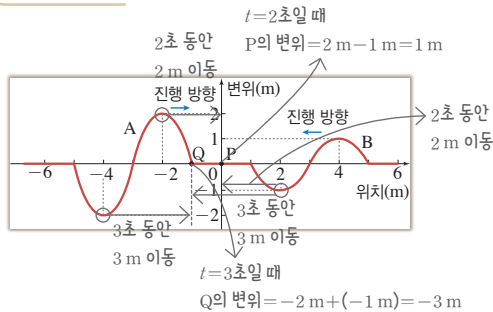
바로알기 ㄷ. (다)에서는 잉크의 표면과 아래에서 반사하는 초록색 빛이 같은 위상으로 만나 보강 간섭을 일으키므로 초록색 빛을 볼 수 있다. 따라서 (다)에서는 초록색 빛이 보강 간섭을 한다.

실력 UP 문제

279쪽

01 ④ 02 ③ 03 ① 04 ⑤

01 품공 문제 분석

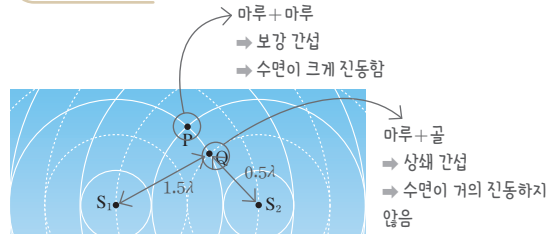


ㄱ. 두 파동 A, B의 속력이 1 m/s이므로 2초 동안 이동한 거리는 각각 2 m이다. 따라서 $t=2\text{초일 때}$ P에서 만나는 A와 B의 변위는 각각 2 m, -1 m이므로 중첩된 파동의 변위는 $2\text{ m} - 1\text{ m} = 1\text{ m}$ 이다. 즉, $t=2\text{초일 때}$ P의 변위는 1 m이다.

ㄴ. 두 파동 A, B가 3초 동안 이동한 거리는 각각 3 m이다. 따라서 $t=3\text{초일 때}$ Q에서 만나는 A와 B의 변위는 각각 -2 m, -1 m이므로 중첩된 파동의 변위는 $-2\text{ m} + (-1\text{ m}) = -3\text{ m}$ 이다. 즉, $t=3\text{초일 때}$ Q의 변위는 -3 m이다.

바로알기 ㄷ. P에서 A의 마루와 B의 골까지의 거리가 같고, A의 골과 B의 마루까지의 거리가 같다. 따라서 P에서 두 파동 A와 B는 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다. 즉, P의 최대 변위의 크기는 $2\text{ m} - 1\text{ m} = 1\text{ m}$ 이다.

02 품공 문제 분석



ㄱ. P에서는 두 물결파의 마루와 마루가 만나므로 보강 간섭이 일어나 수면이 크게 진동하고, Q에서는 두 물결파의 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어나 수면이 거의 진동하지 않는다. 따라서 물결파의 진폭은 P에서가 Q에서보다 크다.

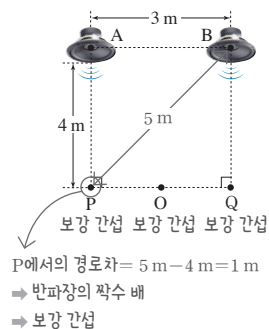
ㄷ. 두 물결파의 진동수만 2배로 하면 파장은 $\frac{1}{2}$ 배가 된다. 파장이 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 그림에서 점선으로 나타낸 부분은 모두 마루가 된다. 따라서 Q에서 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄴ. $t=0\text{일 때}$ P에서 두 물결파의 마루와 마루가 만나는 순간이므로 수면의 높이가 가장 높고, $t=\frac{T}{2}\text{일 때}$ P에서 두 물결파의 골과 골이 만나므로 수면의 높이가 가장 낮다. 따라서 P에서 수면의 높이는 $t=\frac{T}{2}\text{일 때}$ 가 $t=0\text{일 때}$ 보다 낮다.

다른 풀이 ㄷ. 물결파의 파장을 λ 라고 할 때 Q에서의 경로차는 $1.5\lambda - \lambda = 0.5\lambda = \frac{1}{2}\lambda$ 이므로, 경로차가 반파장의 홀수 배가 되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점이다. 물결파의 진동수만 2배로 하면 파장은 $\frac{1}{2}\lambda$ 가 된다. 새로운 파장을 $\lambda' (= \frac{\lambda}{2})$ 라 할 때 Q에서의 경로차는 $\frac{1}{2}\lambda = \lambda' \times 2$ 로 새로운 반파장의 짝수 배가 된다. 따라서 두 물결파의 진동수만 2배로 하면 Q에서 보강 간섭이 일어난다.

03 품공 문제 분석

$$\text{소리의 파장} = \frac{\text{속력}}{\text{진동수}} = \frac{340\text{ m/s}}{340\text{ Hz}} = 1\text{ m} \Rightarrow \text{반파장} = 0.5\text{ m}$$



보강 간섭은 두 파원으로부터의 경로차가 반파장의 짝수 배일 때 일어나고, 상쇄 간섭은 두 파원으로부터의 경로차가 반파장의 홀수 배일 때 일어난다.

$$\gamma. \text{스피커에서 발생하는 소리의 파장} = \frac{\text{속력}}{\text{진동수}} = \frac{340 \text{ m/s}}{340 \text{ Hz}} = 1 \text{ m}$$

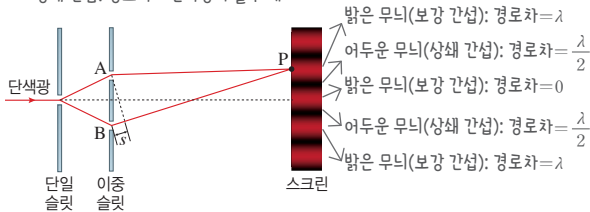
이다. P에서 두 스피커로부터의 경로차는 $5 \text{ m} - 4 \text{ m} = 1 \text{ m}$ 이다. 1 m는 반파장(0.5 m)의 짝수 배이므로 P에서 보강 간섭이 일어난다.

바로알기 ㄴ. 두 스피커로부터의 경로차에 따라 보강 간섭과 상쇄 간섭이 교대로 일어나며, 경로차는 O를 중심으로 좌우 대칭을 이룬다. P, O, Q에서 각각 보강 간섭이 일어나므로, P와 O 사이에 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있고, O와 Q 사이에도 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다. 따라서 PQ에서 상쇄 간섭을 하는 지점은 짝수 개이다.

ㄷ. A와 B에서 발생하는 소리의 위상이 같을 때 Q에서 보강 간섭이 일어나므로, Q에서 두 소리가 같은 위상으로 만난다. 만약 B에서 발생하는 소리의 위상만을 반대로 하면 Q에서 두 소리가 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

04 품공 문제 분석

보강 간섭: 경로차=반파장의 짝수 배
상쇄 간섭: 경로차=반파장의 홀수 배



ㄱ. 스크린에 생기는 밝은 무늬는 보강 간섭에 의한 무늬이며, 이중 슬릿으로부터의 경로차가 반파장의 짝수 배인 지점에 생긴다. 스크린의 중앙에 생긴 밝은 무늬의 경로차는 0이며, 중앙으로부터 첫 번째 밝은 무늬가 나타나는 P 지점에서의 경로차는 반파장의 2배이므로 $\frac{\lambda}{2} \times 2 = \lambda$ 이다. 따라서 $s = \lambda$ 이다.

ㄴ. 파장이 짧을수록 간섭이 일어나는 간격이 작아지므로, 단색광의 파장을 감소시키면 첫 번째 어두운 무늬의 스크린의 중앙에 더 가까워진다.

ㄷ. 파장이 2λ 인 단색광으로 실험을 하는 경우, 새로운 파장을 $\lambda' = 2\lambda$ 라고 할 때 반파장은 $\frac{\lambda'}{2} = \lambda$ 이다. 이중 슬릿으로부터 P까지의 경로차 $s = \lambda = \frac{\lambda'}{2} \times 1$ 로 반파장의 홀수 배이므로 상쇄 간섭이 일어난다.

중단원 핵심 정리

280~281쪽

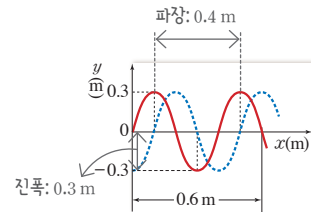
- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| ① 파장 | ② 진동수 | ③ 주기 | ④ 진동수 | ⑤ 일정 |
| ⑥ 사인값 | ⑦ 코어 | ⑧ 클래딩 | ⑨ 자외선 | ⑩ 적외선 |
| ⑪ 크게 | ⑫ 작게 | ⑬ 상쇄 | | |

중단원 마무리 문제

282~285쪽

- | | | | | | |
|----------|----------|---------------|------|------|------|
| 01 ② | 02 ④ | 03 2 | 04 ③ | 05 ⑤ | 06 ① |
| 07 ⑤ | 08 ① | 09 30° | 10 ④ | 11 ③ | 12 ① |
| 13 ② | 14 ① | 15 ① | 16 ⑤ | 17 ⑤ | 18 ⑤ |
| 19 해설 참조 | 20 해설 참조 | 21 해설 참조 | | | |

01 품공 문제 분석



ㄴ. $\frac{1}{4}$ 파장이 진행하는 데 걸리는 시간이 0.2초이므로, 한 파장이 진행하는 데 걸리는 시간인 주기는 0.8초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{0.8 \text{ s}} = 1.25 \text{ Hz}$ 이다.

바로알기 ㄱ. 진폭은 진동 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 0.3 m이다.

ㄷ. 파동이 0.1 m 진행하는 데 0.2초가 걸렸으므로 속력 = $\frac{0.1 \text{ m}}{0.2 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$ 이다.

02 ㄱ. 빛의 굴절은 서로 다른 매질의 경계면을 통과할 때 빛의 속력이 달라지기 때문에 일어난다. 입사각보다 굴절각이 작은 경우는 빛이 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행하는 경우이다. 따라서 매질 1보다 매질 2에서 빛의 진행 속력이 느리다.

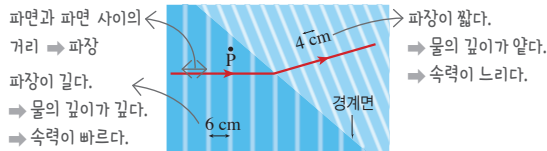
ㄴ. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이므로 법선과 이루는 각이 큰 매질에서 빛의 파장이 길다. 입사각이 굴절각보다 크므로, 빛의 파장은 매질 1에서가 매질 2에서보다 길다.

바로알기 ㄷ. $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 에서 $i > r$ 이면 $n_1 < n_2$ 이다.

03 입사각은 입사 광선과 법선이 이루는 각이므로 45° 이고, 굴절각은 굴절 광선과 법선이 이루는 각이므로 30° 이다. 굴절 법칙(스넬 법칙)에 의해 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 이 성립하므로, $\sqrt{2} \sin 45^\circ = n_2 \sin 30^\circ$ 에서 매질 B의 굴절률은 $n_2 = 2$ 이다.

04 물질의 굴절률 n 은 그 물질에서의 빛의 속력 v 에 대한 진공에서의 빛의 속력 c 의 비와 같다. 따라서 $n = \frac{c}{v} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{v} = 1.5$ 에서 물질에서의 빛의 속력 $v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.

05 꼼꼼 문제 분석



물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 더 빠르다. 파동의 속력 $v = f\lambda$ 에서 진동수가 일정하므로 속력과 파장은 비례한다. 이때 파장은 이웃한 두 파면 사이의 거리에 해당하므로, 파면 사이의 거리가 더 넓은 쪽이 깊은 물이다.

⑤ 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률은 깊은 물과 얇은 물에서의 파장 비와 같다. 즉, 굴절률 $= \frac{\text{깊은 물에서의 파장}}{\text{얇은 물에서의 파장}} = \frac{6 \text{ cm}}{4 \text{ cm}} = 1.5$ 이다.

바로알기 ① P점을 한 파면이 통과한 후 다음 파면이 통과하는 데 걸리는 시간은 주기에 해당하므로, 물결파의 주기는 0.5초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 2 Hz이다.

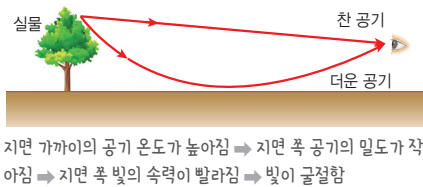
② 물결파가 진행할 때 물의 깊이가 달라져도 진동수와 주기가 일정하므로, 얇은 물에서 물결파의 주기도 0.5초이다.

③ 깊은 물에서의 물결파의 파장 $\lambda = 6 \text{ cm}$, 진동수 $f = 2 \text{ Hz}$ 이므로, 물결파의 속력 $v = f\lambda = 2 \text{ Hz} \times 6 \text{ cm} = 12 \text{ cm/s}$ 이다.

④ 얇은 물에서의 물결파의 파장 $\lambda = 4 \text{ cm}$, 진동수 $f = 2 \text{ Hz}$ 이므로, 물결파의 속력 $v = f\lambda = 2 \text{ Hz} \times 4 \text{ cm} = 8 \text{ cm/s}$ 이다.

06 꼼꼼 문제 분석

신기루는 빛이 밀도가 균일하지 않은 공기층을 통과하면서 속력이 변하여 연속적으로 굴절하여 나타나는 현상이다.



ㄱ. 같은 매질이라도 온도, 밀도와 같은 특성이 달라지면 빛의 속력이 달라져서 빛의 굴절이 일어난다. 신기루는 공기층의 밀도 차에 의한 빛의 굴절로 발생하는 현상이다.

바로알기 ㄴ. 더운 공기는 밀도가 작아서 빛의 속력이 빠르며, 찬 공기는 밀도가 커서 빛의 속력이 느리다.

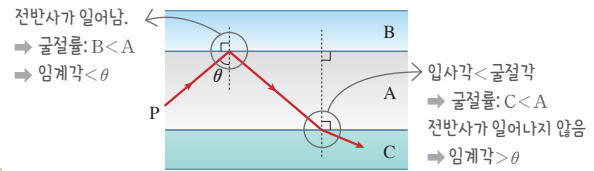
ㄷ. 지표 근처의 공기가 차갑고, 위쪽의 공기가 더울 때에도 빛의 굴절이 일어나 물체가 공중에 떠 보이는 신기루가 발생한다.

07 ㄱ. (가)는 낮과 밤에 각각 지표면으로부터의 높이에 따라 공기의 온도가 연속적으로 변하고, 그에 따라 소리의 속력이 변하여 굴절하는 현상이며, (나)는 해안선이 바다 쪽으로 돌출한 부분과 오목한 부분의 물의 깊이가 연속적으로 변함에 따라 물결파의 속력이 변하여 굴절하는 현상이다.

ㄴ. (가)에서는 공기의 온도가 높을수록 공기의 밀도가 작아 소리의 속력이 빠르다.

ㄷ. (나)에서는 해안선에 가까울수록 물의 깊이가 얕아서 물결파의 속력이 느리다.

08 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 때 일어날 수 있다. P가 A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어날 수 있으므로, 굴절률은 $B < A$ 이다. 또 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 작은 쪽 매질의 굴절률이 크다. 빛이 A에서 C로 입사할 때 입사각 $<$ 굴절각이므로 굴절률은 $C < A$ 이다. 따라서 굴절률은 A가 가장 크다.

바로알기 ㄴ. 굴절률이 A가 C보다 크므로, P가 굴절률이 작은 C에서 굴절률이 큰 A로 진행할 때 전반사하지 않는다.

ㄷ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다. P가 A와 B의 경계면에서 전반사하므로 A와 B 사이의 임계각은 θ 보다 작고, A와 C의 경계면에서 전반사하지 않으므로 A와 C 사이의 임계각은 θ 보다 크다. 따라서 임계각은 P가 A에서 B로 입사할 때가 A에서 C로 입사할 때보다 작다.

09 입사각을 i , 굴절각을 r , 원의 반지름을 R 라 할 때 공기에 대한

$$\text{A의 굴절률} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{PQ}{R}}{\frac{RS}{R}} = \frac{PQ}{RS} = \frac{3}{1.5} = 2 \text{이다. A에서 공기로}$$

빛이 입사할 때 임계각을 θ_c 라 하면 $\sin \theta_c = \frac{1}{2}$ 이므로 $\theta_c = 30^\circ$ 이다.

10 ㄱ. 광섬유에서 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 크고 굴절률이 클수록 빛의 속력이 느리므로, 빛의 속력은 코어에서 클래딩에서보다 느리다.

ㄷ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어난다. (나)에서 입사각 θ_2 는 (가)에서의 임계각 θ_1 보다 크므로 $\theta_1 < \theta_2$ 이다.

바로알기 ㄴ. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 일어날 수 있으므로, 굴절률은 B가 A보다 크다. 따라서 광섬유의 코어로 굴절률이 큰 B를 사용해야 한다.

11 ㄱ, ㄴ. 광섬유에서는 빛의 전반사가 일어나 에너지 손실이 적으므로, 대용량의 정보를 먼 곳까지 전달할 수 있다.

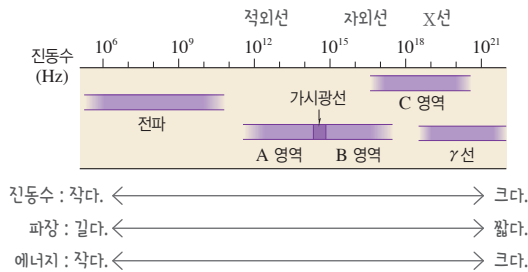
바로알기 ㄷ. 광통신은 송신기에서 전기 신호가 빛 신호로 바뀌어 광섬유를 통해 전달되고 수신기에서 빛 신호가 전기 신호로 바뀌므로, 전기 신호 → 빛 신호 → 전기 신호의 변환을 거친다.

12 ㄱ. A는 가시광선으로 전자기파의 한 종류이므로 매질이 없어도 전파된다.

바로알기 ㄴ. B는 소리의므로 공기 또는 다른 매질의 진동으로 전파된다.

ㄷ. 리모컨에 사용되는 파동 C는 적외선이다. 적외선(C)의 파장이 가시광선(A)의 파장보다 길므로, 파장은 A가 C보다 짧다.

13 품목 문제 분석



A 영역은 적외선, B 영역은 자외선, C 영역은 X선에 해당한다.

ㄴ. 위조지폐 감별에 이용되는 전자기파는 자외선으로 B 영역에 해당한다.

바로알기 ㄱ. A 영역은 적외선에 해당한다.

ㄷ. 전자레인지에 사용되는 전자기파는 마이크로파로 전파에 속한다. C 영역은 X선으로 의료 장비에 이용된다.

14 ㄱ. (가)는 X선으로 투과력이 강하므로 공항에서 수하물 검색에도 이용된다.

바로알기 ㄴ. 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 일정하므로, 진공에서의 속력은 (나)와 (다)가 같다.

ㄷ. (가)는 X선, (나)는 가시광선, (다)는 마이크로파이다. 파장의 길이는 $X선 < 가시광선 < 마이크로파$ 이므로, 파장은 (다)가 가장 길다.

15 중첩 원리에 의해 파동 A, B가 점 P를 지날 때 겹쳐진 파동의 모습은 두 파동을 합한 모습이므로 최대 진폭은 3 cm이다.

16 ㄱ. Q에서 중첩된 소리의 세기가 최소가 되는 상쇄 간섭이 일어나므로, O에서 $-x$ 방향으로 Q와 같은 거리만큼 떨어진 P에서도 상쇄 간섭이 일어난다.

ㄴ. O에서 중첩된 소리의 세기가 최대가 되는 보강 간섭이 일어나므로, O에서는 두 소리가 같은 위상으로 중첩된다.

ㄷ. 소리의 진동수를 증가시키면 소리의 파장이 짧아진다. 파장이 짧아지면 간섭이 일어나는 간격이 작아지므로 O에 더 가까운 지점에서 상쇄 간섭이 일어난다. 따라서 소리의 진동수를 증가시키면 O와 Q 사이에 소리의 세기가 최소인 점이 생긴다.

17 ㄴ. B는 두 파원으로부터의 거리가 같으므로 두 물결파가 같은 위상으로 만나는 보강 간섭이 일어난다. 보강 간섭이 일어나는 곳의 수면은 크게 진동하므로, 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타난다. 즉, B에서는 밝기가 크게 변한다.

ㄷ. C는 S_1, S_2 로부터의 거리가 각각 2.5 cm, 2 cm인 지점이므로, C에 도달하는 두 물결파의 경로차는 $2.5\text{ cm} - 2\text{ cm} = 0.5\text{ cm}$ 이다.

바로알기 ㄱ. A에서는 두 파동의 골과 골이 만나므로, 두 파동이 같은 위상으로 만난다. 따라서 A에서는 보강 간섭이 일어난다.

18 ㄱ. (가)는 두 파동이 같은 위상으로 만나 진폭이 커지는 보강 간섭이다.

ㄴ. 악기에서 발생한 소리가 울림통에서 보강 간섭을 하면 더 큰 소리가 나므로, 악기의 울림통은 (가)의 원리를 이용한다.

ㄷ. 소음 제거 기술은 소음과 반대인 소리를 발생시켜서 소음과 상쇄 간섭을 하도록 하여 소음을 줄이는 기술이다. 따라서 소음 제거 기술은 (나)의 원리를 이용한다.

19 매질에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에 진행 방향이 꺾여 빛이 굴절한다.

모범 답안 빛의 굴절은 매질에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 매질의 굴절률은 매질에서의 빛의 속력에 대한 진공에서의 빛의 속력의 비로, 매질에서의 빛의 속력이 느릴수록 굴절률이 크다.

채점 기준	배점
굴절 현상이 일어나는 까닭과 매질에서의 빛의 속력과 굴절률의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
굴절 현상이 일어나는 까닭과 매질에서의 빛의 속력과 굴절률의 관계 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

20 광통신은 대용량의 정보를 먼 곳까지 전달할 수 있고, 외부 전자기파의 간섭을 받지 않아 잡음과 혼선이 없으며 도청이 어렵다. 또 빛에너지의 손실이 매우 작아 광 증폭기를 설치하는 구간 사이의 거리가 길다는 장점이 있다.

모범 답안 광통신의 원리: 광섬유에서의 빛의 전반사를 이용하는 통신이다.

장점: • 대용량의 정보 전송이 쉽다.

• 잡음과 혼선이 없고 도청이 불가능하다.

• 빛에너지의 손실이 적어 증폭기를 설치하는 구간 사이의 거리가 길다. 등

채점 기준	배점
광통신의 원리와 장점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
광통신의 원리와 장점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

21 비행기 외부의 큰 소음이 비행기 내부로 들리는 것을 줄이기 위해, 마이크로 외부 소음을 입력 받아 비행기 내부에 외부 소음과 같은 소리를 내는 스피커를 설치하고 발생하는 소리에 시차를 두어 소음의 파동과 위상이 반대가 되도록 조작하여 두 소리가 상쇄 간섭을 하게 한다.

모범 답안 마이크로 외부 소음을 입력 받아 스피커를 통해 소음과 반대 위상인 파동을 발생시키면 소음과 상쇄 간섭을 하여 소음을 줄인다.

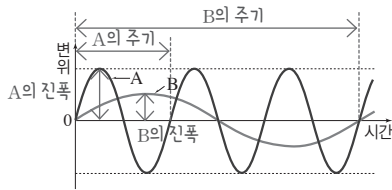
채점 기준	배점
소음 제거 원리와 함께 마이크로와 스피커의 역할을 옳게 서술한 경우	100 %
소음 제거 원리만 옳게 서술한 경우	50 %

수능 실전 문제

287~291쪽

- | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|
| 01 ③ | 02 ④ | 03 ④ | 04 ② | 05 ① | 06 ③ |
| 07 ③ | 08 ⑤ | 09 ③ | 10 ③ | 11 ① | 12 ② |
| 13 ④ | 14 ④ | 15 ③ | 16 ⑤ | 17 ② | 18 ② |
| 19 ③ | 20 ④ | | | | |

01 품공 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 진폭은 A가 B보다 크다.
 ✕ 파장은 A가 B의 $\frac{1}{3}$ 배이다.
 ㉡ 진동수는 A가 B의 3배이다.

전략적 풀이 ① 최대 변위의 크기가 진폭임을 알고, A, B의 최대 변위의 크기를 비교한다.

㉠. 최대 변위의 크기는 A가 B보다 크므로, 진폭은 A가 B보다 크다.

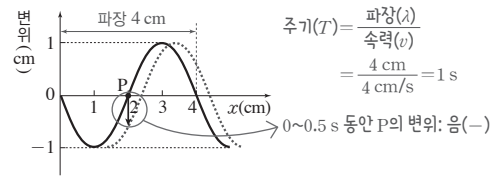
② 변위-시간 그래프에서 A, B 주기의 비를 구하고, 파동의 속력의 식에서 A, B의 파장을 비교한다.

㉡. 파동의 속력($v = \frac{\lambda}{T}$)은 파장을 주기로 나눈 값이다. A, B의 속력이 같을 때, 파장은 주기에 비례한다. 주기는 A가 B의 $\frac{1}{3}$ 배이므로, 파장도 A가 B의 $\frac{1}{3}$ 배이다.

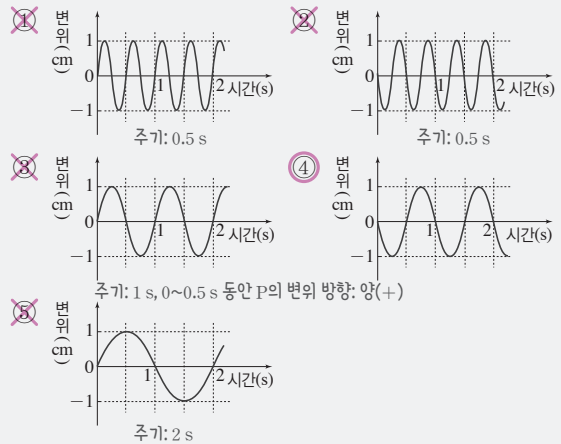
③ 진동수는 주기의 역수임을 알고, A와 B의 진동수를 비교한다.

㉢. 주기는 A가 B의 $\frac{1}{3}$ 배이므로, 진동수는 A가 B의 3배이다.

02 품공 문제 분석



선택지 분석



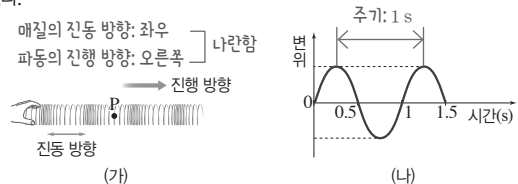
전략적 풀이 ① 변위-위치 그래프에서 파장을 구한 후, 문제에서 주어진 속력으로부터 파동의 주기를 구한다.

파동의 속력($v = \frac{\lambda}{T}$)에서 주기 $T = \frac{\lambda}{v} = \frac{4 \text{ cm}}{4 \text{ cm/s}} = 1 \text{ s}$ 이다.

② 파동의 진행 방향으로 파동을 약간 이동시켜 그려 $\frac{T}{2}$ 동안 P의 변위의 방향을 파악한 후, P의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프를 찾는다. +x 방향으로 파동을 약간 이동시켜 그려보면 P의 운동 방향은 아래 방향이다. 따라서 주기가 1초이고, 0~0.5초 동안 P의 변위가 음(-)인 ④가 적절한 그래프이다.

03 품공 문제 분석

종파의 변위-시간 그래프는 용수철상의 한 점이 앞뒤로 진동하는 모습을 시간에 따라 나타낸 것으로, 횡파의 변위-시간 그래프와 같이 분석할 수 있다.



선택지 분석

- ㉠ 파장은 0.2 m이다.
 ㉡ P의 진동 방향은 파동의 진행 방향과 나란하다.
 ✕ P는 1초에 2회 진동한다. 1회

전략적 풀이 ① 파동의 진행 방향과 진동 방향의 관계에 따라 파동의 종류를 구분한다.

파동의 진행 방향과 진동 방향이 나란하면 종파, 수직이면 횡파 이므로 (가)는 종파이다.

ㄴ. (가)는 종파이므로 P의 진동 방향은 파동의 진행 방향과 나란하다.

② 변위-시간 그래프에서 파동의 주기와 진동수를 파악한다.

주기는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간이므로 1초이다. 진동수는 매질이 1초 동안 진동하는 횟수로 주기와 역수 관계이므로 1 Hz이다.

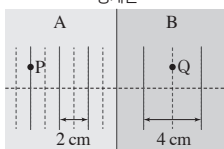
ㄷ. P의 진동수는 1 Hz이므로 1초에 1회 진동한다.

③ 파동의 속력과 파장, 진동수의 관계를 파악한다.

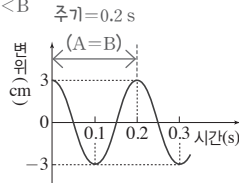
ㄱ. 파동의 속력 $v = f\lambda$ 에서 파장 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{0.2 \text{ m/s}}{1 \text{ Hz}} = 0.2 \text{ m}$ 이다.

04 공공 문제 분석

파장: $A < B \Rightarrow$ 속력: $A < B \Rightarrow$ 깊이: $A < B$



(가)



(나)

선택지 분석

- ☒ 물의 깊이는 A에서가 B에서보다 깊다. 얕다.
- ☒ B에서 속력은 20 cm/s이다.
- ☒ 0.3초 때 Q의 변위는 -3 cm이다. +3 cm

전략적 풀이 ① 진동수가 일정한 물결파의 파장과 속력의 관계를 이해 하고 A와 B에서 물결파의 속력을 비교한 후, A와 B에서 물의 깊이를 비교한다.

ㄱ. 물결파의 진동수 f 는 일정하므로, 파동의 속력의 식 $v = f\lambda$ 에서 물결파의 속력 v 는 파장 λ 에 비례한다. 파장은 A에서가 B에서보다 짧으므로, 물결파의 속력은 A에서가 B에서보다 느리다. 한편, 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르므로, 물의 깊이는 A에서가 B에서보다 얕다.

② 한 파동의 주기는 일정함을 이해하고, B에서의 파장과 주기를 파악하여 속력을 구한다.

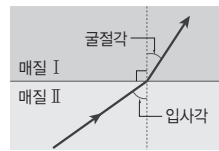
ㄴ. (나)에서 P의 주기가 0.2초이므로, A와 B 영역에서 물결파의 주기는 0.2초로 일정하다. (가)의 B 영역에서의 파장이 4 cm

이므로, 파동의 속력 $v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4 \text{ cm}}{0.2 \text{ s}} = 20 \text{ cm/s}$ 이다.

③ (나)에서 0.3초 때 P의 변위를 파악하여 Q의 변위를 구한다.

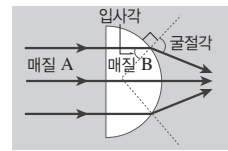
ㄷ. (가)에서 P는 마루, Q는 골이다. (나)에서 0.3초 때 P가 골이 되므로 Q는 마루가 된다. 따라서 0.3초 때 Q의 변위는 +3 cm이다.

05 공공 문제 분석



(가)

입사각 > 굴절각
 $\Rightarrow$ 파장: 매질 II > 매질 I
 $\Rightarrow$ 굴절률: 매질 II < 매질 I



(나)

입사각 < 굴절각
 $\Rightarrow$ 속력: 매질 B < 매질 A
 $\Rightarrow$ 굴절률: 매질 B > 매질 A

선택지 분석

- ☒ (가)에서 파동의 파장은 II에서가 I에서보다 길다.
- ☒ (나)에서 파동의 속력은 B에서가 A에서보다 빠르다. 느리다.
- ☒ I은 A이다. B

전략적 풀이 ① (가)에서 파동이 매질 II에서 매질 I로 입사할 때 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 매질 I, II에서의 파장을 비교한다.

ㄱ. 법선과 이루는 각이 큰 매질에서의 파장이 더 길다. (가)에서 파동이 매질 II에서 매질 I로 입사할 때 입사각 > 굴절각이므로, 파동의 파장은 II에서가 I에서보다 길다.

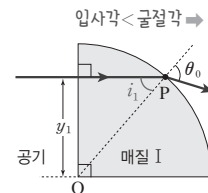
② (나)에서 파동이 매질 B에서 매질 A로 입사할 때 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 매질 A, B에서의 속력을 비교한다.

ㄴ. 법선과 이루는 각이 큰 매질에서의 속력이 더 빠르다. (나)에서 파동이 B에서 A로 입사할 때 입사각 < 굴절각이므로, 파동의 속력은 B에서가 A에서보다 느리다.

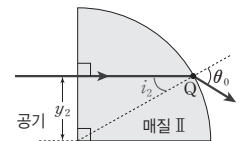
③ 굴절률을 비교하여 매질 I, II가 매질 A, B 중 무엇인지 파악한다.

ㄷ. 굴절 법칙 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 에서 $i > r$ 일 때 $n_1 < n_2$ 이므로, 법선과 이루는 각이 작은 매질의 굴절률이 더 크다. (가)에서 입사각 > 굴절각이므로, 매질 II는 굴절률이 작은 매질이고, 매질 I은 굴절률이 큰 매질이다. (나)에서 입사각 < 굴절각이므로, 매질 B는 굴절률이 큰 매질이고, 매질 A는 굴절률이 작은 매질이다. 따라서 I은 B이다.

06 공공 문제 분석



(가)



(나)

굴절되는 정도: $P < Q \Rightarrow$ 굴절률: 매질 I < 매질 II

선택지 분석

- ☒ 빛의 속력은 I에서가 공기에서보다 느리다.
- ☒ 입사각은 P에서가 Q에서보다 크다.
- ☒ 굴절률은 I이 II보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ① (가)에서 빛이 매질 I에서 공기로 진행할 때 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 매질 I과 공기에서의 속력을 비교한다.

ㄱ. (가)에서 빛이 매질 I에서 공기로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 작다. 법선과 이루는 각이 작은 매질에서의 빛의 속력이 더 느리므로, 빛의 속력은 I에서가 공기에서보다 느리다.

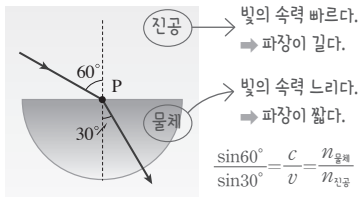
② y_1, y_2 를 비교하여 P와 Q에서 입사각의 크기를 비교한다.

ㄴ. P와 Q에서 입사각을 각각 i_1, i_2 라고 할 때 $\sin i_1 = \frac{y_1}{OP}$ 이고, $\sin i_2 = \frac{y_2}{OQ}$ 이다. $OP = OQ$ 이고 $y_1 > y_2$ 이므로, 입사각은 P에서가 Q에서보다 크다.

③ P와 Q에서 굴절되는 정도를 비교하여 I와 II의 굴절률을 비교한다.

ㄷ. 굴절각은 P에서와 Q에서가 같지만 입사각은 P에서가 Q에서보다 크므로, 굴절되는 정도는 P에서가 Q에서보다 작다. 굴절되는 정도가 작을수록 굴절률이 작으므로, 굴절률은 I이 II보다 작다.

07 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ. 물체에서 빛의 속력은 $\frac{c}{\sqrt{3}}$ 이다.
- ㄴ. 빛의 파장은 물체에서가 진공에서보다 짧다.
- ✕. 물체의 굴절률은 2이다. $\sqrt{3}$

전략적 풀이 ① 굴절 법칙을 이용하여 식을 세우고 물체에서의 빛의 속력을 구한 후 파장의 변화를 파악한다.

ㄱ. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v}$ 에서 $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{c}{v}$ 이므로, 물체에서 빛의 속력 $v = \frac{c}{\sqrt{3}}$ 이다.

② 빛의 속력은 굴절률이 큰 매질을 통과할 때 느려짐을 이해한다.

ㄴ. 진동수가 일정할 때 빛의 파장은 속력에 비례하므로, 파장은 물체에서가 진공에서보다 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배로 짧아진다.

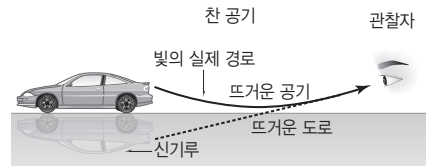
③ 굴절 법칙을 이용하여 식을 세우고 물체의 굴절률을 구한다.

ㄷ. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{물체}}}{n_{\text{진공}}}$ 에서 $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{n_{\text{물체}}}{1}$ 이므로, 물체의 굴절률은 $n_{\text{물체}} = \sqrt{3}$ 이다.

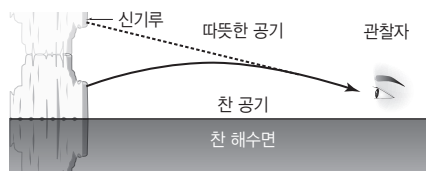
08 꼼꼼 문제 분석



(가) 지표면 가까이에 있는 더운 공기의 밀도는 상층의 공기보다 작아서 빛의 속력은 빠르다. 이 경우에 물체에서 나오는 빛은 두 개의 경로를 통해서 눈에 들어오는데, 그 중에서 굴절에 의한 빛은 마치 지표면에서 반사된 것과 같은 물체의 모습을 만든다. 이 때문에 중간에 반사면이 있는 것처럼 보이며, 이것은 마치 물과 같이 보인다.



(나) 물의 온도가 낮은 수면 가까이에 있는 찬 공기의 밀도가 상층의 따뜻한 공기보다 큰 경우에 빛의 굴절로 인해 물체가 공중에 떠돌아 보이는 신기루가 나타난다.



선택지 분석

- ㄱ. (가), (나)는 모두 빛이 굴절하여 생긴 현상이다.
- ㄴ. (가)는 지면에 가까울수록 공기의 굴절률이 작다.
- ㄷ. (나)에서 빛의 경로는 맑은 날 밤에 먼 곳의 소리가 잘 들릴 때 소리가 진행하는 경로와 같다.

전략적 풀이 ① 지표면으로부터의 높이에 따라 밀도가 다르기 때문에 대기 중에서 나타나는 빛의 굴절 현상이 신기루임을 이해한다.

ㄱ. 먼 곳에서 오는 빛이 밀도가 다른 공기층을 통과할 때 연속적으로 굴절하여 관찰자의 눈에 들어오기 때문에 생기는 현상이다.

② 신기루가 보이는 위치에 따라 빛의 굴절 방향을 파악하여 지표면으로부터 높이에 따라 빛의 속력 변화를 분석한 후, 빛의 속력과 공기의 굴절률의 관계를 이해한다.

ㄴ. (가)는 신기루가 아래쪽에 보이므로, 먼 곳에서 지면을 향하는 빛이 위로 굴절하여 관찰자의 눈으로 들어온다. 빛은 속력이 느린 매질을 향하는 방향으로 굴절하므로, 지면에 가까울수록 빛의 속력이 빠르며 빛의 속력이 빠를수록 공기의 굴절률은 작다.

③ 낮과 밤에 일어나는 소리의 굴절 현상을 이해한 후 (나)와 비교한다.

ㄷ. (나)에서 빛이 아래로 굴절하므로, 맑은 날 밤에 먼 곳에서 위로 향하는 소리가 아래로 굴절하여 지면에서 잘 들릴 때 소리가 진행하는 경로와 같다.



선택지 분석

철수: 소리가 굴절되는 것은 공기의 온도에 따라 소리의 속력이 달라지기 때문이야.

영희: 소리는 찬 공기에서보다 따뜻한 공기에서 더 빠르게 전달돼.

민수: 소리는 굴절되는 과정에서 진동수가 달라져. 일정해.

전략적 풀이 ① 소리가 굴절되는 까닭을 파악한다.

철수: 소리의 굴절은 소리가 진행하다가 온도가 다른 공기층을 만났을 때 소리의 진행 방향이 꺾이는 현상이다. 즉, 소리가 굴절되는 것은 공기의 온도에 따라 소리의 속력이 달라지기 때문이다.

② 온도에 따라 소리의 속력이 어떻게 달라지는지 파악한다.

영희: 소리(음파)는 공기 분자의 진동에 의해 에너지가 전달되는 현상이다. 온도가 높으면 공기 분자의 진동 속도가 커지므로 소리가 더 빠르게 전달된다.

③ 소리가 굴절할 때 소리의 속력과 파장, 진동수의 관계를 파악한다.

민수: 소리가 굴절할 때 파장과 속력은 달라지지만 진동수는 일정하다.

10 품공 문제 분석

입사각	매질 A	매질 B
34°	×	×
38°	○	×
42°	○	○
46°	○	○

전반사의 조건: 입사각 > 임계각
 ➔ 공기와 A 사이의 임계각 < 38°
 ➔ 공기와 B 사이의 임계각 < 42°
 ➔ 굴절률: A > B

(○: 전반사가 일어남. ×: 전반사가 일어나지 않음)

선택지 분석

㉠ 공기와 매질 사이의 임계각은 A일 때가 B일 때보다 작다.

✗ B의 임계각은 42°보다 크다. 작다.

㉡ A와 B로 광섬유를 만든다면 A를 코어로 사용해야 한다.

전략적 풀이 ① 전반사의 조건을 파악하여 A, B의 임계각을 비교한다.

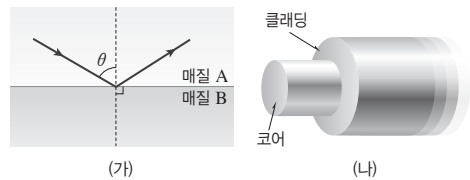
ㄱ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로, A의 경우는 임계각이 38°보다 작고 B의 경우는 42°보다 작다. 따라서 공기와 매질 사이의 임계각은 A일 때가 B일 때보다 작다.

ㄴ. 공기와 B 사이의 임계각은 42°보다 작다.

② 임계각과 굴절률의 관계로부터 A, B의 굴절률의 크기를 비교하고, 광섬유에서 코어와 클래딩의 굴절률의 조건으로부터 A, B 중 어떤 것을 코어로 사용해야 하는지 파악한다.

ㄷ. 두 물질의 굴절률 차가 클수록 임계각이 작다. 공기와 매질 사이의 임계각은 A일 때가 B일 때보다 작으므로, 굴절률은 B가 A보다 작다. 광섬유에서 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커야 하므로, A를 코어로 사용해야 한다.

11 품공 문제 분석



전반사가 일어났으므로 매질 A의 굴절률은 매질 B의 굴절률보다 크다.

선택지 분석

㉠ (가)의 매질 B에서 매질 A로 빛을 입사각 θ 로 입사시키면 전반사가 일어나지 않는다.

✗ (나)의 코어와 클래딩의 경계에서 임계각은 θ 보다 크다. 작다.

✗ (나)에서 클래딩은 A로, 코어는 B로 만든다.

전략적 풀이 ① 전반사의 조건에서 두 매질의 굴절률의 관계를 이해하고, 매질 A와 매질 B의 굴절률을 비교한다.

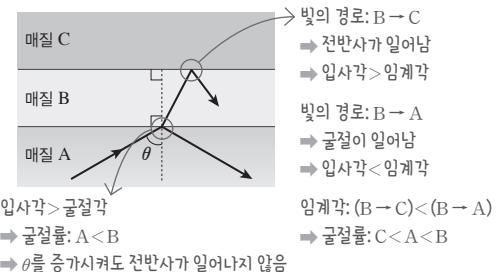
ㄱ. 매질 A와 B의 경계면에 입사각 θ 로 입사한 빛이 전반사하므로, 매질 A의 굴절률은 매질 B의 굴절률보다 크다. 따라서 굴절률이 작은 매질 B에서 큰 매질 A로 빛을 입사각 θ 로 입사시키면 전반사가 일어나지 않는다.

② 광섬유의 구조에서 빛이 코어를 따라 전반사하며 진행하기 위한 조건을 이해하고, 임계각의 크기와 코어와 클래딩의 굴절률을 파악한다.

ㄴ. (가)에서 빛이 전반사하므로 θ 는 임계각보다 크다. 따라서 (나)에서 코어와 클래딩의 경계에서 임계각은 θ 보다 작다.

ㄷ. (나)에서 클래딩은 굴절률이 작은 B로, 코어는 굴절률이 큰 A로 만든다.

12 품공 문제 분석



입사각 > 굴절각
 ➔ 굴절률: A < B
 ➔ θ 를 증가시켜도 전반사가 일어나지 않음

빛의 경로: B → C
 ➔ 전반사가 일어남
 ➔ 입사각 > 임계각

빛의 경로: B → A
 ➔ 굴절이 일어남
 ➔ 입사각 < 임계각

임계각: (B → C) < (B → A)
 ➔ 굴절률: C < A < B

선택지 분석

✗ 입사각 θ 를 증가시키면 A와 B의 경계면에서 전반사가 일어날 수 있다. 없다.

㉠ 굴절률은 A가 C보다 크다.

✗ B와 C사이의 임계각은 θ 보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ① A와 B의 경계면에서 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 A와 B의 굴절률의 크기를 비교한 후, 전반사가 일어나는 조건인지 파악한다.

ㄱ. 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 작은 쪽 매질의 굴절률이 크다. 빛이 A에서 B로 입사할 때 입사각 > 굴절각이므로 굴절률은 $A < B$ 이다. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 때 일어날 수 있으므로, 입사각 θ 의 크기와 관계없이 A와 B의 경계면에서 전반사가 일어날 수 없다.

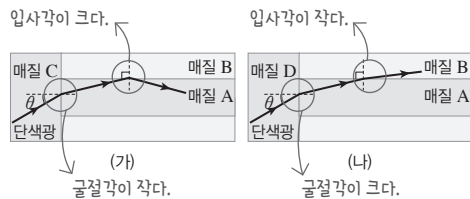
② 빛이 B에서 C로 진행할 때의 입사각과 B에서 A로 진행할 때의 입사각이 같은 조건에서 전반사의 여부에 따라 A, B, C의 굴절률의 크기를 비교한다.

ㄴ. A와 B의 경계면에서의 굴절각을 r 라고 하면, 단색광은 B와 C의 경계면에 입사각 r 로 입사하며 전반사하므로, 입사각 r 는 B와 C 사이의 임계각보다 크다. 빛이 B에서 A로 입사각 r 로 입사할 때의 경로는 빛이 A에서 B로 입사각 θ 로 입사할 때의 경로와 같으므로 굴절한다. 즉, 빛이 B에서 A로 입사각 r 로 입사할 때 전반사하지 않으므로, 입사각 r 는 B와 A 사이의 임계각보다 작다. 따라서 임계각은 B와 C 사이에서 B와 A 사이에서보다 작다. 두 매질의 굴절률 차가 클수록 임계각의 크기가 작으므로, 굴절률의 차는 B와 C 사이에서 B와 A 사이에서보다 크다. 즉, 굴절률은 $C < A < B$ 이므로, 굴절률은 A가 C보다 크다.

③ 전반사의 조건으로부터 B와 C 사이의 입사각과 임계각의 크기를 비교한다.

ㄷ. B와 C 사이의 입사각은 임계각보다 크고, B와 C 사이의 입사각은 θ 보다 작으므로, B와 C 사이의 임계각은 θ 보다 작다.

13 꼼꼼 문제 분석



매질 C, D에서 광섬유의 코어(매질 A)로 빛이 입사할 때, 굴절각 r 는 매질 C 또는 매질 D와 A의 경계면에 법선을 그려 찾는다. 또 코어(매질 A)에서 클래딩(매질 B)으로 빛이 입사할 때는 매질 A와 B의 경계면의 법선에 대해 입사각을 찾아야 한다.

선택지 분석

- ㉠ 굴절률은 A가 B보다 크다.
- ㉡ 단색광의 속력은 C에서 D에서보다 빠르다.
- ✕ (나)에서 θ 를 증가시키면 A와 B의 경계면에서 전반사가 일어난다. 일어나지 않는다.

전략적 풀이 ① 매질 A와 B의 경계면에서 일어나는 전반사의 조건으로부터 두 매질의 굴절률을 파악한다.

ㄱ. (가)에서 매질 A에서 매질 B로 입사한 빛이 전반사하므로, 굴절률은 A가 B보다 크다.

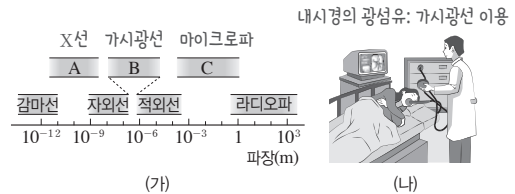
② (가)와 (나)에서 같은 입사각 θ 에 대해 굴절각의 크기를 비교하여, C와 D에서의 단색광의 속력을 비교한다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 같은 입사각 θ 에 대해 굴절각은 (가)의 경우가 더 작다. $\frac{\sin \theta}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 굴절각 r 가 작을수록 입사하는 매질의 굴절률 n_1 이 더 작으므로, (가)의 매질 C의 굴절률이 (나)의 매질 D의 굴절률보다 작다. 굴절률이 작을수록 빛의 속력은 빠르므로, 단색광의 속력은 C에서 D에서보다 빠르다.

③ (나)에서 θ 를 증가시킬 때 A와 B의 경계면에서의 입사각은 어떻게 변하는지 파악한다.

ㄷ. (나)에서 입사각 θ 를 증가시키면 굴절각이 커지며, 매질 A와 B의 경계면에서 입사각은 작아지므로 전반사가 일어나지 않는다.

14 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ✕ 내시경의 광섬유를 따라 진행하는 전자기파는 A이다. B
- ㉠ B는 가시광선이다.
- ㉡ 레이더에 사용되는 전자기파는 C에 속한다.

전략적 풀이 ① 전자기파를 파장에 따라 분류한 전자기파 스펙트럼에서 A, B, C의 종류를 파악한다.

ㄴ. A는 X선, B는 가시광선, C는 마이크로파이다.

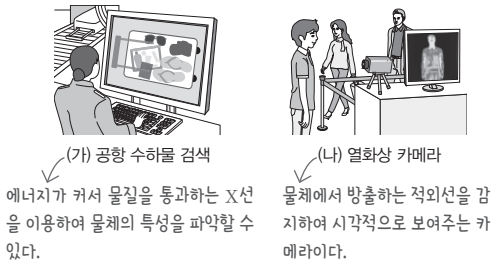
② 내시경을 이용해 인체 내부를 관찰하거나 사진을 찍을 때 어떤 전자기파를 이용하는지 파악한다.

ㄱ. 내시경을 이용하여 인체 내부의 모습을 관찰하기 위해서는 내시경의 광섬유 다발을 통해 장기 내부에 빛을 비추고 반사되는 빛의 영상을 내시경과 연결된 화면으로 보아야 한다. 따라서 내시경의 광섬유를 따라 전반사되는 전자기파는 가시광선이므로 B이다.

③ 레이더에 사용되는 전자기파의 종류를 파악한다.

ㄷ. 선박과 항공기 운항을 추적하거나 기상 관측에 필요한 레이더에 사용되는 전자기파는 마이크로파이므로 C이다.

15 품공 문제 분석



선택지 분석

- ☒ (가)에 이용되는 전자기파로 위조지폐를 감별한다. **자외선**
- ☒ (가)에 이용되는 전자기파는 (나)에 이용되는 전자기파보다 파장이 길다. **틀다.**
- ☒ (나)에서 열화상 카메라에 이용되는 전자기파는 텔레비전 리모컨에 이용되는 전자기파와 같은 종류이다.

전략적 풀이 ① 수하물 검색, 열화상 카메라에 이용되는 전자기파와 전자기파의 특성을 파악한다.

수하물 검색에 이용되는 전자기파는 X선, 열화상 카메라에 이용되는 전자기파는 적외선이다. X선은 적외선보다 파장이 짧다.

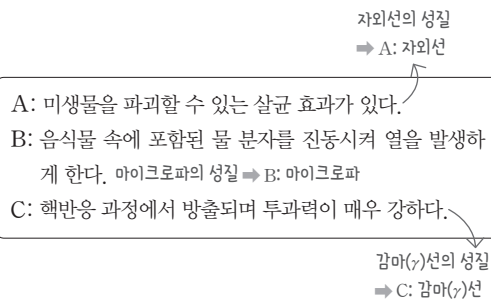
ㄱ. 위조지폐 감별에는 자외선을 이용한다.

ㄴ. (가)에 이용되는 X선은 (나)에 이용되는 적외선보다 파장이 짧다.

② 리모컨에 사용되는 전자기파의 종류를 파악한다.

ㄷ. TV 리모컨에 이용되는 전자기파는 적외선으로, (나)의 열화상 카메라에 이용되는 전자기파와 같은 종류이다.

16 품공 문제 분석



선택지 분석

- ☒ A는 **적외선**이다. **자외선**
- ☒ B는 A보다 파장이 길다.
- ☒ C는 암 치료에 이용된다.

전략적 풀이 ① 각 특징에 해당하는 전자기파 A, B, C의 종류를 파악한다.

A는 자외선, B는 마이크로파, C는 감마(γ)선이다.

ㄱ. 미생물을 파괴할 수 있는 살균 효과가 있는 전자기파 A는 자외선이다.

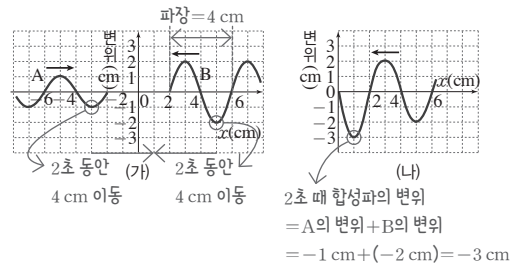
② 파장의 크기 순서대로 나열한 전자기파 스펙트럼을 근거로 A, B, C의 파장을 비교한다.

ㄴ. 전자기파의 파장은 감마(γ)선 < X선 < 자외선 < 가시광선 < 적외선 < 마이크로파 순으로 길다. 따라서 마이크로파 B의 파장은 자외선 A의 파장보다 길다.

③ 방사성 동위원소들이 핵반응할 때 방출되며 투과력이 강한 전자기파의 종류를 파악한다.

ㄷ. 핵반응 과정에서 방출되며 투과력이 강한 전자기파 C는 감마(γ)선으로 암 치료에 이용된다.

17 품공 문제 분석



선택지 분석

- ☒ A의 속력은 **4 cm/s**이다. **2 cm/s**
- ☒ B의 진동수는 **1 Hz**이다. **0.5 Hz**
- ☒ $t=4$ 초일 때 $x=5$ cm에서 중첩된 파동의 변위는 **-3 cm**이다.

전략적 풀이 ① 2초 동안 A와 B의 이동 거리를 파악하여 속력을 구한다.

ㄱ. (나)에서 $x=1$ cm인 지점의 합성파의 변위가 -3 cm인 것은 (가)에서 A와 B의 끝이 2초 동안 각각 진행 방향으로 4 cm를 이동하여 중첩된 결과이다. 즉, A가 2초 동안 4 cm 이동하므로, A의 속력은 $\frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ cm/s}$ 이다.

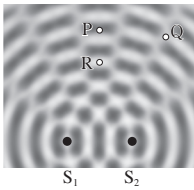
② 파동의 속력을 나타내는 식에 B의 파장과 속력을 대입하여 B의 진동수를 구한다.

ㄴ. (가)에서 B의 파장은 4 cm, 속력은 2 cm/s이므로 B의 진동수 $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2 \text{ cm/s}}{4 \text{ cm}} = 0.5 \text{ Hz}$ 이다.

③ 4초일 때 $x=5$ cm에서 A와 B의 변위를 각각 파악한 후, 중첩 원리를 이용해 합성파의 변위를 구한다.

ㄷ. 4초일 때 $x=5$ cm에서 A와 B의 변위는 각각 -1 cm, -2 cm이므로 합성파의 변위는 -3 cm이다.

18 품공 문제 분석



- P, R점 : 밝기가 시간에 따라 변한다.
→ 보강 간섭이 일어난다.
- Q점 : 밝기의 변화가 거의 없다.
→ 상쇄 간섭이 일어난다.

선택지 분석

P와 R에서 0으로 같다.

- ☒ S₁, S₂로부터의 경로차는 P에서 R에서보다 크다.
- ☒ 수면의 진폭은 R에서 Q에서보다 크다.
- ☒ 이 순간으로부터 $\frac{T}{2}$ 가 지나면 Q에서 보강 간섭이 일어난다. 일어나지 않는다.

전략적 풀이 ① 물결파의 간섭 현상에서 밝고 어두운 무늬와 밝기의 변화가 없는 무늬가 나타나는 곳에서 일어나는 간섭의 종류를 이해하고 경로차를 파악한다.

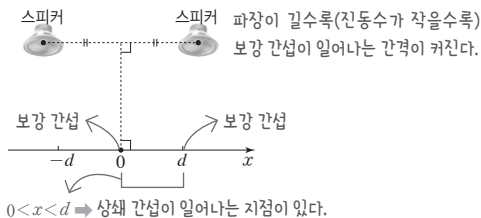
ㄱ. P와 R은 두 파원 S₁, S₂까지의 거리가 각각 같은 점들이므로 경로차는 모두 0이다. 따라서 S₁, S₂로부터의 경로차는 P에서와 R에서가 같다.

ㄴ. R은 밝기가 시간에 따라 변하는 점이므로 보강 간섭이 일어나 수면의 진폭이 큰 점이며, Q는 밝기의 변화가 없는 점이므로 상쇄 간섭이 일어나 수면의 진폭이 거의 0인 점이다. 따라서 수면의 진폭은 R에서 Q에서보다 크다.

② 물결파의 간섭무늬에서 밝기가 일정한 부분을 파악한다.

ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나 밝기의 변화가 없는 점들을 연결한 선을 마디선이라고 하며, 마디선 위에 Q가 있으므로 이 순간으로부터 $\frac{T}{2}$ 가 지나더라도 Q에서 항상 상쇄 간섭이 일어난다.

19 품공 문제 분석



선택지 분석

- ☒ $0 < x < d$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.
- ☒ 진동수가 f 보다 작아지는 경우에 $x > d$ 인 지점에서 첫 번째 보강 간섭이 일어난다.
- ☒ 보강 간섭된 소리의 진동수는 스피커에서 발생한 소리의 진동수보다 크다. 진동수와 같다.

전략적 풀이 ① 두 스피커에서 나오는 소리가 같은 위상으로 만날 때 보강 간섭이 일어나고, 반대 위상으로 만날 때 상쇄 간섭이 일어남을 파악한다.

ㄱ. $x=0$ 으로부터의 거리가 증가함에 따라 보강 간섭과 상쇄 간섭이 교대로 나타난다. $x=0$ 과 $x=d$ 에서 보강 간섭이 일어나므로, $0 < x < d$ 에서 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 있다.

② 중첩되는 두 파동의 진동수(또는 파장)의 변화에 따라서 간섭이 일어나는 간격이 어떻게 달라지는지 파악한다.

ㄴ. 소리의 속력 = 진동수 × 파장이므로 속력이 일정할 때 진동수가 작아지면 파장이 길어진다. 파장이 길어지면 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 간격이 커진다. 따라서 진동수가 f 일 때 $x=d$ 에서 첫 번째 보강 간섭이 일어난다면, 진동수가 f 보다 작아지는 경우에 $x > d$ 인 지점에서 첫 번째 보강 간섭이 일어난다.

③ 파동의 진동수는 파원에 의해 결정됨을 이해한다.

ㄷ. 파동의 진동수는 일정하므로, 진동수가 같은 두 파동이 중첩하는 경우에도 진동수는 변하지 않는다. 따라서 보강 간섭된 소리의 진동수는 스피커에서 발생한 소리의 진동수와 같다.

20 품공 문제 분석

철수: 렌즈에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭을 해.
영희: 반사하는 빛의 세기가 증가하고 투과하는 빛의 세기가 감소하게 돼.
민수: 렌즈에 무반사 코팅을 하면 시야가 선명해져.

선택지 분석

- ☒ 철수
- ☒ 영희
- ☒ 철수, 영희
- ☒ 철수, 민수
- ☒ 영희, 민수

전략적 풀이 ① 무반사 코팅 렌즈에서 일어나는 빛의 간섭 현상을 이해한다.

• 철수: 렌즈에 코팅하는 막의 윗면에서 반사된 빛과 아랫면에서 반사된 빛이 상쇄 간섭을 하도록 막의 두께를 조절하여 코팅한다.

• 영희: 무반사 코팅 렌즈에서 반사되는 빛이 상쇄 간섭을 하면 반사하는 빛의 세기가 감소하고, 반사하는 빛의 세기가 감소하는 만큼 투과하는 빛의 세기가 증가한다.

② 무반사 코팅 렌즈를 사용할 때 시야가 더 선명해지는 원인을 파악한다.

• 민수: 렌즈에 무반사 코팅을 하면 렌즈를 투과하여 눈으로 들어오는 빛의 세기가 증가하므로 시야가 선명해진다.

2 빛과 물질의 이중성

1 빛의 이중성

개념 확인 문제

298쪽

- ① 광전 ② 진동수 ③ 진동수 ④ 세기 ⑤ 광양자
⑥ hf ⑦ 이중성 ⑧ 파동성 ⑨ 입자성 ⑩ 광전 효과

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × 2 빛의 진동수 3 광양자설, 아인슈타인
4 한계 진동수(문턱 진동수) 5 (1) ○ (2) ○ (3) ×
6 (1) $\perp$, $\parallel$ (2) $\square$ (3) $\neg$, $\sqsubset$ 7 전하 결합 소자(CCD) 8 ㉠
광전 효과, ㉠ 전기

1 (1) 뉴턴은 빛이 물체의 그림자를 만들 때의 직진성을 근거로 빛의 입자설을 주장하였고, 각각의 색에 대응되는 서로 다른 크기의 빛 입자가 존재한다고 하였다.

(2) 하위헌스는 빛이 교차할 때 서로 방해받지 않고 투과한다는 까닭으로 빛의 파동설을 주장하였다. 만약 빛이 입자라면 입자끼리의 충돌로 인해 반드시 빛이 흐트러질 것이기 때문이라고 생각하였기 때문이다. 또한 빛의 반사와 굴절 현상은 파면의 개념을 이용하면 설명이 가능하다고 주장하였다.

(3) 영은 빛의 간섭 실험에 나타난 이중 슬릿에 의한 간섭무늬를 빛의 파동설로 설명하였다.

(4) 빛의 파동설에 의하면 빛에너지는 빛의 세기와 관계된다. 광전 효과에서는 금속에서 전자의 방출 여부가 빛의 세기와 무관하고 빛의 진동수에만 관계되므로 빛의 파동설로 설명할 수 없다.

2 광전 효과 실험에서 광전자의 방출 여부는 빛의 진동수에 관계된다. 따라서 전자가 방출되게 하기 위해 증가시켜야 하는 빛과 관련된 물리량은 빛의 진동수이다.

3 아인슈타인은 파동설로는 설명할 수 없는 광전 효과의 실험 결과를 해석하기 위해 광양자설을 제안하였다.

4 광전 효과 실험에서 금속 표면에 빛을 비출 때 전자를 방출시키기 위해 필요한 빛의 최소 진동수를 한계 진동수(문턱 진동수)라고 한다.

5 (1) 간섭과 회절 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있고 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다. 따라서 빛은 파동성과 입자성 두 가지 성질을 모두 가지고 있다.

(2) 빛의 진행 과정에서는 파동의 성질인 간섭과 회절 현상이 나타나고, 다른 입자와 충돌할 때는 입자의 성질이 나타난다.

(3) 빛의 파동성을 관찰하는 실험에서는 입자성이 나타나지 않고, 입자성을 관찰하는 실험에서는 파동성이 나타나지 않는다. 즉, 빛의 입자성과 파동성을 모두 가지지만, 두 성질은 동시에 나타나지 않는다.

6 (1) 회절과 간섭은 빛의 파동성으로만 설명할 수 있는 현상이다.

(2) 광전 효과는 빛의 입자성으로만 설명할 수 있는 현상이다.

(3) 반사와 굴절은 빛의 파동성과 입자성으로 모두 설명할 수 있는 현상이다.

7 디지털카메라에서 렌즈를 통과한 빛이 전하 결합 소자(CCD)에서 전기 신호로 바뀌며 영상 정보가 기록된다.

8 CCD에는 수많은 광 다이오드가 배열되어 있어서 빛이 닿으면 광전 효과에 의해 빛에너지가 전기 에너지로 변환되는 영상 정보를 기록하는 장치이다.

대표 자료 분석

299쪽

자료 ① 1 광전 효과 2 빛의 진동수 3 (1) ○ (2) × (3) ×
(4) ○ (5) ○

자료 ② 1 광전 효과 2 빛의 세기 3 (1) ○ (2) ○ (3) ×
(4) ○ (5) × (6) ×

1-1 (가)에서 (-)대전체를 검전기의 아연판에 접촉시키면, 대전체의 (-)전하가 검전기의 금속에 고루 퍼지게 된다. 따라서 검전기의 금속박은 (-)전하를 띤다. (-)전하를 띤 금속박이 (다)에서 오르라드는 것은 전자가 방출되었기 때문이며, 이는 빛을 금속판에 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과가 일어났기 때문이다.

1-2 형광등에서 나오는 가시광선의 진동수보다 자외선의 진동수가 더 커서 자외선을 비출 때만 금속박이 오르라들었다. 따라서 금속에서 전자의 방출 여부는 빛의 진동수와 관계있다.

1-3 (1), (2) 광전자는 금속 표면에 비추는 빛의 진동수가 특정한 값 이상일 때만 방출되므로, 광전자의 방출 여부는 금속판에 비추는 빛의 진동수와 관계있다.

(3) 금속판에 진동수가 큰 자외선을 비출 때 빛의 세기를 감소시키더라도 전자가 튀어나온다.

(4) 광전자의 방출 여부는 빛의 진동수에 관계되므로, 형광등에서 나오는 진동수가 작은 가시광선을 비출 때 빛의 세기를 증가시켜도 전자가 튀어나오지 않는다.

(5) 광전 효과에서 광전자의 방출 여부가 빛의 진동수에만 관계되는 것은 진동수가 클수록 빛에너지가 크기 때문이다. 이는 빛을 진동수에 비례하는 광자(광양자)라고 하는 입자의 흐름이라는 광양자설로 설명할 수 있으므로, 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

2-1 반도체에 빛을 비출 때 전자가 발생하는 현상은 광전 효과에 의한 것이다.

2-2 화소에 비춘 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고 광자 1개가 충돌할 때 전자 1개가 방출되므로, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 증가하여 전극 아래에 저장되는 전자의 개수도 증가한다.

2-3 (1), (2) CCD의 각 화소는 빛에너지를 전기 에너지로 전환시키는 수백만 개 이상의 광 다이오드로 배열되어 있다.

(3) CCD는 광전 효과를 이용한 것이므로 빛의 입자성을 이용한다.

(4) CCD에서 발생하는 전자의 양은 빛의 세기에 비례하므로, 빛의 세기를 측정하기 위해 광전 효과에 의해 생성된 전자를 전하량 측정 장치로 이동시켜 각 화소에 도달한 빛의 세기를 알아낸다.

(5) CCD는 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로, CCD 위에 색 필터를 별도로 배열하여 빛의 색을 구분한다.

(6) CCD의 면적이 같을 때 화소의 크기는 작을수록 단위 면적당 화소수가 커서 고화질의 영상을 얻을 수 있다.

내신 만점 문제
300~302쪽

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

01 ㄱ. 뉴턴은 빛의 직진성과 반사가 빛이 물체에서 방출되는 미세한 입자이기 때문에 생기는 현상이라 주장하였다.

ㄴ. 맥스웰은 빛도 전자기파의 일종이라 주장하며 전자기파의 속력이 빛의 속력과 같다는 것을 입증함으로써 빛의 파동성을 확립하였다.

바로알기 ㄴ. 푸코는 뉴턴의 입자설에 의한 예측과 달리 물속에서 빛의 속력이 진공 중에서보다 느리다는 것을 측정하며 빛의 파동설을 주장하였다.

02 ㄱ. 금속 표면에 한계 진동수 이상의 빛을 비추어야 광전자가 방출된다.

바로알기 ㄴ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크며, 빛의 세기와는 관계없다.

ㄴ. 금속판에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다.

03 (가) 빛의 파동설에 의하면 빛에너지는 빛의 세기에 의해 결정되므로, 빛의 세기가 강한 빛이 금속으로부터 전자를 쉽게 방출시켜야 한다. 그러나 실제 결과는 빛을 강한 세기로 비추어도 광전자가 방출되지 않으므로 빛의 파동설로 설명할 수 없다.

(나) 빛의 파동설에 의하면 진동수가 특정 진동수보다 큰 빛을 비출 때 빛의 세기가 약하면 광전자가 방출하기 위한 시간이 오래 걸려야 한다. 왜냐하면 빛을 흡수한 전자가 금속을 탈출하기 위해 필요한 에너지를 얻으려면 에너지가 축적되는 데 오래 걸리기 때문이다. 그러나 실제 결과는 빛의 세기가 약해도 광전자가 즉시 방출되므로 빛의 파동설로 설명할 수 없다.

모범 답안 (가) 빛의 파동설에 의하면 빛의 세기가 충분히 세다면 빛의 진동수가 작더라도 광전 효과가 일어나 광전자가 방출되어야 한다. (나) 빛의 파동설에 의하면 빛의 진동수가 크더라도 빛의 세기가 약하면 광전자가 방출되는 데 시간이 걸려야 하기 때문에 광전자가 즉시 방출될 수 없다.

채점 기준	배점
빛의 파동설로 설명할 수 없는 까닭을 (가), (나)에 대해 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가), (나) 중 한 가지에 대해서만 옳게 서술한 경우	50 %

04 일함수는 금속 표면에서 전자 1개를 튀어나오게 하기 위해 전자에게 주어야 할 최소한의 에너지로, 금속의 종류에 따라 다르다. 일함수가 큰 금속일수록 비추어 주는 빛의 에너지가 커야 광전 효과가 나타나므로, 금속 표면에서 전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 커진다.

모범 답안 일함수가 큰 금속일수록 비추어 주는 빛에너지가 커야 광전자가 방출되므로, 금속의 일함수가 클수록 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 크다.

채점 기준	배점
일함수가 클수록 빛의 한계 진동수도 크다고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
일함수가 클수록 빛의 한계 진동수가 크다고만 서술한 경우	80 %

05 품공 문제 분석

(가)

빛 A의 진동수가 한계 진동수보다 작으면 빛의 세기가 아무리 세도 광전자가 방출되지 않는다.

(나)

빛 B의 진동수는 한계 진동수보다 크므로 광전자가 방출되었다. 이때 방출되는 광전자의 개수는 빛의 세기에 비례한다.

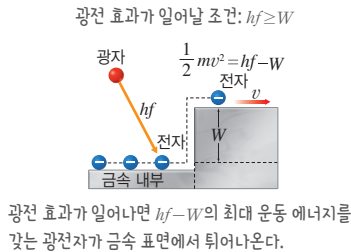
ㄱ. 빛 A를 비추었을 때는 광전 효과가 일어나지 않아 광전자가 방출되지 않으므로 빛 A의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 작다. 빛 B를 비추었을 때는 광전자가 방출되는 광전 효과가 일어나므로 빛 B의 진동수는 금속판의 한계 진동수보다 크다. 따라서 빛의 진동수는 A가 B보다 작다.

ㄴ. 빛의 진동수가 금속판의 한계 진동수보다 클 때 방출되는 광전자의 개수는 빛의 세기에 비례하고, 빛의 진동수에는 무관하다. 따라서 (나)에서 빛 B의 진동수를 증가시켜도 방출되는 광전자의 개수는 증가하지 않는다.

바로알기 ㄴ. (가)에서 빛 A의 진동수가 금속판의 한계 진동수보다 작으면 빛의 세기가 아무리 세도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 (가)에서는 빛 A의 세기를 증가시켜도 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다.

06 일함수가 W 인 금속에 광자 1개의 에너지가 $2W$ 인 빛을 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지 = 광자의 에너지 - 일함수 = $2W - W = E$ 이다. 따라서 일함수가 W 인 금속에 광자 1개의 에너지가 $4W$ 인 빛을 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4W - W = 3W = 3E$ 이다.

07 품공 문제 분석



① 광양자설에 의하면 금속에 빛을 비출 때 광자와 전자가 일대일 충돌을 하며 광자의 에너지가 금속의 일함수 이상일 때 광전자가 방출된다. 따라서 광전자가 방출되는 현상은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

② 광자 1개의 에너지 hf 가 전자를 금속으로부터 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지인 금속의 일함수 W 보다 클 때 광전 효과가 일어나므로 광전자가 방출될 수 있다.

③ $hf \geq W$ 에서 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수를 구하기 위해서는 $hf_0 = W$ 인 경우이다. 따라서 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수 $f_0 = \frac{W}{h}$ 이다.

④ 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 광자의 에너지 hf 에서 일함수 W 를 뺀 값이므로 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 이다. 따라서 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수 f 가 클수록 크다.

바로알기 ⑤ 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 이므로 금속의 일함수 W 가 작을수록 크다.

08 품공 문제 분석

진동수가 작다. ← → 진동수가 크다.

금속	광전자 검출 여부		
	파란색 빛	보라색 빛	자외선
A	○	○	○
B	×	○	○
③ C	×	×	○

(○: 검출됨, ×: 검출되지 않음)
진동수가 큰 자외선을 비출 때만 광전자가 검출되므로 한계 진동수가 가장 크다. 빛에너지가 가장 큰 자외선을 비출 때만 광전자를 방출하므로 일함수가 가장 크다.

ㄱ. 빛의 진동수는 파란색 빛 < 보라색 빛 < 자외선 순이다. 따라서 진동수가 큰 자외선에서만 광전자가 방출되는 금속 C의 경우 빛의 한계 진동수가 가장 크다.

바로알기 ㄴ. 금속으로부터 전자를 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지인 일함수가 클수록 금속에 비추는 빛(광자)의 에너지가 커야 광전자가 방출된다. 진동수가 큰 자외선에서만 광전자가 방출되는 금속 C의 일함수가 가장 크다.

ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 금속에 비추어 준 빛 에너지 hf 에서 금속의 일함수 W 를 뺀 값이므로, 같은 진동수의 빛을 비출 때 일함수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 작아진다. 따라서 자외선을 사용할 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 가장 작은 금속은 일함수가 가장 큰 금속 C이다.

09 품공 문제 분석

금속의 일함수가 일정하므로 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 튀어나오는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

빛의 세기가 셀수록 크다.

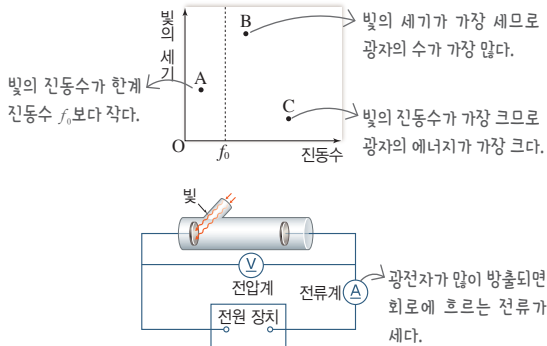
단색광	전류의 최대값	광전자의 최대 운동 에너지
A	I_0	$2E_0$
B	I_0	E_0
C	$2I_0$	E_0

ㄱ. 진동수가 큰 빛일수록 광자 1개의 에너지가 크므로, 광전자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 C보다 크다.

ㄴ. 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고 광자 1개가 금속에 충돌할 때 전자 1개가 방출되므로, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 많아져서 회로에 흐르는 전류의 세기도 크다. 따라서 단색광의 세기는 B가 C보다 약하다.

바로알기 ㄷ. 회로에 흐르는 전류의 세기가 같을 때 빛의 세기도 같다. 방출되는 광전자의 개수는 빛의 세기에 비례하므로, 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수는 A를 비출 때와 B를 비출 때가 같다.

10 꼼꼼 문제 분석

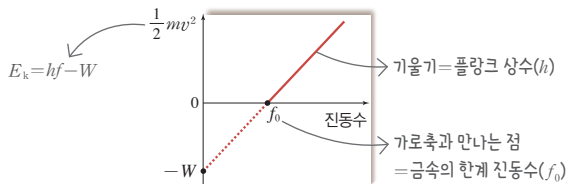


ㄱ. 빛 A의 진동수는 한계 진동수 f_0 보다 작으므로 A를 비추었을 때 광전자가 발생하지 않는다.

바로알기 ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. 따라서 빛의 진동수가 가장 큰 빛 C를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 가장 크다.

ㄷ. 빛의 세기는 광자의 수에 비례하므로, 빛의 세기가 가장 센 B를 비추었을 때 광전자가 많이 방출되어 회로에 흐르는 전류의 세기가 가장 크다.

11 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 그래프에서 빛의 진동수가 f_0 이상일 때 광전자의 운동 에너지가 양(+)의 값을 가지므로, f_0 는 금속에서 광전자를 방출시키기 위한 최소 진동수이다. 따라서 f_0 는 금속의 한계 진동수이다.

ㄴ. 광전 효과 실험에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 광자의 에너지 hf 에서 금속의 일함수 W 를 뺀 값이므로 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 의 관계식이 성립한다. 이 관계를 $\frac{1}{2}mv^2$ 을 세로축으로 하고 f 를 가로축으로 하여 그래프로 나타내면, 그래프의 기울기는 플랑크 상수 h 가 된다.

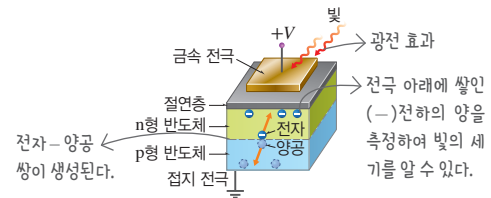
ㄷ. 금속의 한계 진동수가 f_0 이므로, 빛에너지가 hf_0 이상일 때 광전자가 방출된다. 즉, 금속의 일함수 $W = hf_0$ 이고, 금속에 $2f_0$ 인 빛을 비추면 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W = 2hf_0 - hf_0 = hf_0$ 이다.

12 ㄷ. 빛은 어떤 경우에 파동의 성질을 나타내고, 또 다른 경우에 입자의 성질을 나타낸다. 이처럼 빛이 파동성과 입자성을 모두 나타내는 현상을 빛의 이중성이라고 한다.

바로알기 ㄱ. 회절, 간섭은 빛의 파동성으로 설명할 수 있으므로 빛의 파동적인 성질을 나타내는 현상이다.

ㄴ. 광전 효과, 콤프턴 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있으므로 빛의 입자적인 성질을 나타내는 현상이다.

13 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. CCD는 p형 반도체와 n형 반도체가 접합된 광 다이오드로 이루어져 있다.

ㄴ. 광자 1개의 에너지가 반도체의 띠 간격보다 클 때 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하여 원자가 띠에 양공이, 전도띠에 전자가 생긴다.

바로알기 ㄷ. 광전 효과로 방출되는 전자의 개수는 광자의 수에 비례하며 광자의 수는 빛의 세기에 비례하므로, 전극 아래쪽에 쌓인 전하의 양을 측정하면 각 화소에 입사하는 빛의 세기를 알 수 있다.

14 ④ CCD에 빛이 도달할 때 광전 효과에 의해 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 증가한다. 따라서 CCD의 광 다이오드에서 발생하는 광전자의 개수는 빛의 세기에 비례한다.

바로알기 ① CCD는 광전 효과를 이용하므로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

② CCD는 반도체로 만든 광 다이오드로 이루어져 있으므로 반도체에서 일어나는 광전 효과를 이용한다.

③ CCD의 광 다이오드에 빛이 도달할 때 발생하는 전하의 양으로 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로, 색 필터가 없으면 빛의 색을 구별할 수 없다.

⑤ CCD의 단위 면적당 화소수가 클수록 같은 면적에 배열된 광 다이오드의 개수가 많다. 광 다이오드에서 발생하는 전하의 양으로 각 위치에 비춰진 빛의 세기에 대한 정보를 얻을 수 있으므로, 단위 면적당 화소수가 클수록 세밀한 상을 얻을 수 있다.

15 ㄱ. CCD의 화소는 광 다이오드로 이루어져 있으므로, 광 다이오드가 많을수록 화소수가 크다.

ㄴ. 광 다이오드에 빛이 닿으면 광전 효과가 일어나 전자가 방출되므로 전기 신호가 발생한다.

바로알기 ㄷ. 빛의 간섭 현상과 관련 있는 빛의 성질은 빛의 파동성이다. 하지만 CCD는 광전 효과를 이용하므로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

16 CCD에 배열된 광 다이오드에 빛이 닿을 때 발생하는 전하의 양으로 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로, CCD로는 빛의 색을 구분할 수 없다. 따라서 CCD 위에 색 필터를 별도로 설치하여 색을 구분한다.

모범 답안 CCD는 빛의 세기만을 측정할 수 있기 때문에 색을 구분하기 위해 색 필터를 배치한다.

채점 기준	배점
CCD는 빛의 세기만 측정할 수 있기 때문에 색 구분을 위해 색 필터를 사용한다고 서술한 경우	100 %
색 구분을 위해서라고 서술한 경우	70 %

17 CCD는 영상 정보를 기록하는 용도로 다양하게 사용된다.

모범 답안 디지털카메라, 우주 천체 망원경, CCTV, 차량용 후방 카메라, 블랙박스, 내시경 카메라, 스캐너 등

채점 기준	배점
세 가지 모두 옳게 쓴 경우	100 %
두 가지만 옳게 쓴 경우	60 %
한 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

ㄱ. 금속판에서 광전자를 방출시키기 위한 빛의 최소 진동수인 한계 진동수는 금속 A가 금속 B보다 작다. 한계 진동수가 작을수록 금속의 일함수가 작으므로, 일함수는 금속 A가 금속 B보다 작다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 은 광자의 에너지 hf 에서 금속의 일함수 W 를 뺀 값이므로 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 의 관계식이 성립한다. 따라서 빛의 진동수 f 가 같을 때 일함수 W 가 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 이 커진다. 일함수는 금속 A가 금속 B보다 작으므로, 진동수가 f_2 인 빛을 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 금속 A가 금속 B보다 크다.

바로알기 ㄴ. 한계 진동수보다 큰 진동수를 가진 빛을 비추면 금속 판에서 광전자가 방출된다. f_1 은 금속 A의 한계 진동수보다 크므로, 진동수가 f_1 인 빛을 비출 때 금속 A에서 광전자가 방출된다.

02 품공 문제 분석

빛	진동수	광전자의 최대 운동 에너지	
		A	B
P	f	$2E_0$	E_0
Q	$2f$	$5E_0$	㉠

→ 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2 (= hf - W)$: $A > B$
 ⇒ 일함수(W): $A < B$
 ⇒ 한계 진동수: $A < B$

ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지 $\left(\frac{1}{2}mv^2 = hf - W\right)$ 는 광자의 에너지에서 금속의 일함수를 뺀 값이므로, 광자의 에너지 hf 가 같을 때 일함수 W 가 작을수록 광전자의 최대 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 이 크다. 금속 A, B에 빛 P를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 A가 B보다 크므로, 일함수는 A가 B보다 작다. 따라서 금속 A, B에 빛 Q를 비추었을 때 일함수가 작은 A에서 방출되는 광전자의 에너지가 $5E_0$ 이라면, 일함수가 큰 B에서 방출되는 광전자의 에너지 ㉠은 $5E_0$ 보다 작다

바로알기 ㄱ. 금속의 일함수가 작을수록 금속 표면에서 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 한계 진동수가 작다. 따라서 금속 A의 일함수는 금속 B의 일함수보다 작으므로 금속의 한계 진동수는 A가 B보다 작다.

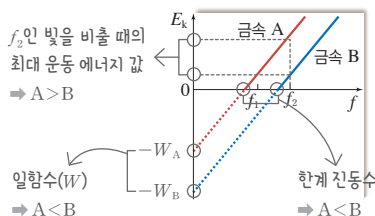
ㄷ. 빛 P와 빛 Q를 금속 A에 함께 비추었을 때 빛 P에 의해서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2E_0$ 이고, 빛 Q에 의해 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $5E_0$ 이다. 이때 광전자의 최대 운동 에너지 값은 $5E_0$ 이므로, 빛 P와 빛 Q를 금속 A에 함께 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $5E_0$ 이다.

실력 UP 문제

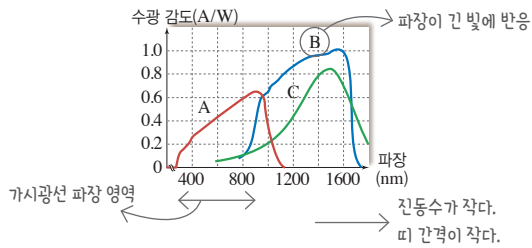
303쪽

01 ③ 02 ② 03 ① 04 ⑤

01 품공 문제 분석



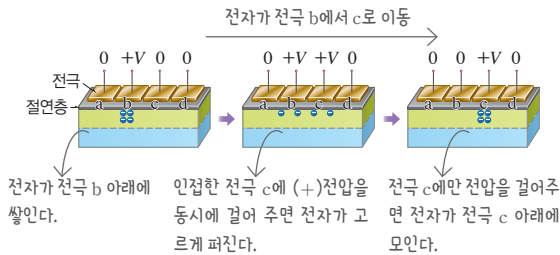
03 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 광 다이오드에 빛을 비출 때 광자 1개의 에너지가 반도체의 띠 간격보다 크면 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면서 전자-양공 쌍이 생성된다. 이때 양공은 p형 반도체로, 전자는 n형 반도체로 이동한다.

바로알기 ㄴ. 수광 감도란 입사하는 특정한 파장 영역의 빛에 대해 반응하는 정도를 나타낸다. (나)에서 파장 범위가 380 nm ~ 750 nm인 가시광선 영역에서 수광 감도가 가장 큰 것은 A이므로, 가시광선 영역의 빛을 감지하는 데 A가 가장 적절하다.
ㄷ. 수광 감도가 큰 빛의 파장대는 A가 C보다 짧으므로, 수광 감도가 큰 빛의 진동수는 A가 C보다 크다. 이는 A의 띠 간격이 C의 띠 간격보다 커서, A에 비추어 주는 빛의 진동수가 C에 비추어 주는 빛의 진동수보다 더 커야 광전 효과가 일어난다는 것을 의미한다. 따라서 띠 간격은 A가 C보다 크다.

04 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 화소에서 생성된 (-)전하를 띠는 전자는 (+)전압이 걸려 있는 전극 b 아래쪽에 쌓인다.
ㄴ. 전자가 쌓인 전극 b의 오른쪽 전극 c에 (+)전압을 걸면 전자가 두 전극에 고루 퍼지며, 전극 b의 전압을 0으로 하면 전자는 모두 전극 c 아래로 이동한다. 이와 같이 전극의 전압을 순차적으로 변화시키는 방식에 의해 전자는 전하량 측정 장치까지 이동한다.
ㄷ. 각 화소에서 발생하여 전극을 따라 이동한 전자는 전송단을 따라 전하량 측정 장치로 이동한다. 전하량 측정 장치에서 전하의 양에 비례하는 전압이 출력되는데, 출력된 이 전기 신호는 각 화소에 입사된 빛의 세기에 대한 정보를 담고 있다.

2 물질의 이중성

개념 확인 문제

307쪽

- ① 파동성 ② 드브로이파 ③ 운동량 ④ 회절 ⑤ 이중성
⑥ 파동성 ⑦ 자기렌즈 ⑧ 투과 ⑨ 주사

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 2 파동성 3 물질의 이중성
4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ 5 ㉠ 파동, ㉡ 짧을 6 자기렌즈

1 (1) 1924년에 드브로이는 빛이 파동과 입자의 성질을 모두 갖고 있듯이 전자도 입자의 성질과 함께 파동의 성질을 가질 것이라고 주장하였다.
(2) 물질 입자가 파동성을 나타낼 때 물질의 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.
(3) 드브로이에 의하면 질량 m 인 입자가 속력 v 로 운동할 때 입자의 파동성과 관련되는 파동의 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 물질파 파장은 입자의 운동량에 반비례한다.
(4) 데이비슨·거머 실험에서 전자가 파동처럼 회절하며 특정한 각도에서 보강 간섭을 일으키는 것을 발견하여 물질파의 존재를 확인하였다.

2 톰슨은 파장이 같은 전자선과 X선을 알루미늄 박막에 입사시켰다. 그 결과로 같은 형태의 원형 회절 무늬 사진을 얻어 전자가 파동성을 가진다는 것을 확인하였다.

3 전자와 같은 물질 입자가 빛과 마찬가지로 입자와 파동의 두 가지 성질을 모두 가지는 것을 물질의 이중성이라고 한다.

4 (1) 전자 현미경은 전자의 파동성과 관련된 물질파를 이용하는 현미경이다.
(2) 가시광선의 파장이 약 10^{-7} m인데 비해 전자의 물질파 파장은 약 10^{-10} m 정도이므로, 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장은 가시광선의 파장보다 훨씬 더 짧다.
(3) 현미경에서 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 분해능이 우수하므로, 전자 현미경의 분해능은 광학 현미경보다 우수하다.
(4) 전자 현미경에서 자기렌즈는 코일로 만든 원통형의 전자석으로, 전자가 자기장에 의해 진행 경로가 휘어지는 성질을 이용하여 전자선을 굴절시켜 한 점에 모아준다.

5 전자 현미경은 전자의 파동성을 이용하여 만든 현미경으로, 물질파의 파장이 짧을수록 회절이 잘 일어나지 않아 분해능이 우수하여 더 작은 물체를 관찰할 수 있다.

6 전자 현미경에서는 자기렌즈로 전자선을 굴절시켜 확대된 상을 만들어 관찰한다. 자기렌즈는 코일로 만든 원통형의 전자석으로, 전자가 자기장에 의해 진행 경로가 휘어지는 성질을 이용한다.

대표 자료 분석

308쪽

- 자료 1** 1 $E_A : E_B = 2 : 9$ 2 $p_A : p_B = 2 : 3$
 3 $\lambda_A : \lambda_B = 3 : 2$ 4 (1) ○ (2) × (4) ×
- 자료 2** 1 (가) 광학 현미경, (나) 투과 전자 현미경, (다) 주사 전자 현미경 2 ㉠ 유리(광학) 렌즈, ㉡ 자기렌즈, ㉢ 자기장 3 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

1-1 품목 문제 분석

A $2m$ $\xrightarrow{v}$

B m $\xrightarrow{3v}$

운동 에너지

$$E_A = \frac{1}{2} \times 2m \times v^2$$

$$E_B = \frac{1}{2} \times m \times (3v)^2$$

입자	질량	속력
A	$2m$	v
B	m	$3v$

물질파 파장

$$\lambda_A = \frac{h}{2m \times v}$$

$$\lambda_B = \frac{h}{m \times 3v}$$

운동 에너지 $E = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로 $E_A = \frac{1}{2} \times 2m \times v^2 = mv^2$,

$E_B = \frac{1}{2} \times m \times (3v)^2 = \frac{9}{2}mv^2$ 이다.

따라서 $E_A : E_B = 1 : \frac{9}{2} = 2 : 9$ 이다.

1-2 운동량은 질량과 속도의 곱과 같으므로 $p_A = 2mv$, $p_B = 3mv$ 이다. 따라서 $p_A : p_B = 2 : 3$ 이다.

1-3 물질파 파장은 질량과 속력을 곱한 운동량에 반비례하므로 $\lambda_A = \frac{h}{2mv}$, $\lambda_B = \frac{h}{3mv}$ 이다. 따라서 $\lambda_A : \lambda_B = 3 : 2$ 이다.

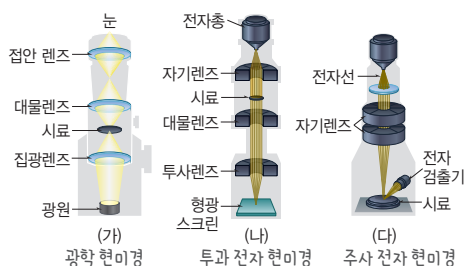
1-4 (1) 전자와 같은 물질 입자가 파동성을 나타낼 때 이 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

(2) 물질파 파장의 식 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자의 물질파 파장 λ 와 속력 v 는 반비례 관계이다.

(3) 물질파 파장은 질량과 속력을 곱한 운동량에 반비례하므로 입자의 운동량의 크기가 클수록 물질파 파장이 짧아진다.

(4) 일상생활에서 물질파를 발견할 수 없는 까닭은 물질파 파장 식에서 플랑크 상수 h 의 값이 매우 작고, 물체의 질량이 크기 때문에 파장이 매우 짧아 파동성을 관찰하기 어렵기 때문이다.

2-1 품목 문제 분석



(가) 접안 렌즈, 대물렌즈와 같은 유리 렌즈를 이용하는 현미경은 빛을 이용하는 광학 현미경이다.

(나) 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후 형광 스크린에 형성된 시료의 단면 구조를 볼 수 있는 전자 현미경은 투과 전자 현미경(TEM)이다.

(다) 가속된 전자선을 시료 표면에 쏘일 때 튀어나온 전자를 검출하여 시료의 표면 구조를 볼 수 있는 전자 현미경은 주사 전자 현미경(SEM)이다.

2-2 광학 현미경은 가시광선을 사용하기 때문에 빛이 유리에서 속력이 느려지는 것을 이용해 유리(광학) 렌즈로 빛을 굴절시켜 초점에 모은다. 전자 현미경은 전자를 사용하기 때문에 자기렌즈로 전자선을 모은다. 이때 코일로 만든 원통 모양의 전자석인 자기렌즈에서는 전자가 자기장에 의해 자기력을 받아 전자의 진행 경로가 휘어지며 초점에 모인다.

2-3 (1) 물체의 크기가 현미경에서 사용하는 빛의 파장보다 작으면 빛의 회절 때문에 물체의 상을 관찰할 수 없다. 광학 현미경의 분해능은 $0.2 \mu\text{m}$ 정도가 한계이고 바이러스의 크기는 이보다 작으므로, 광학 현미경으로 바이러스를 관찰할 수 없다.

(2) 주사 전자 현미경은 전자선을 시료 표면에 차례대로 쏘일 때, 시료에서 튀어나온 전자를 검출기로 수집하여 컴퓨터의 모니터에 형성된 시료의 3차원적 입체상을 관찰할 수 있다.

(3) 투과 전자 현미경은 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후, 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원적 단면 구조의 상을 관찰하므로 세포의 내부 구조를 볼 수 있다.

(4) 투과 전자 현미경의 분해능이 주사 전자 현미경보다 우수하다.

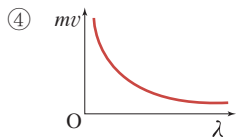
(5) 전자의 속력을 줄이면 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 의해 물질파 파장이 길어진다. 이때 물질파 파장이 길어질수록 회절이 크게 일어나 분해능이 나빠진다. 따라서 전자의 속력을 줄이면 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)이 길어지므로 전자 현미경의 분해능은 나빠진다.

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

01 물질 입자의 파동성과 관련되는 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 의해 입자 A의 파장 $\lambda_A = \frac{h}{m \times 2v}$ 이고 입자 B의 파장 $\lambda_B = \frac{h}{2m \times 3v}$ 이므로, $\lambda_A : \lambda_B = 3 : 1$ 이다.

02 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E_k}}$ 의 관계임을 알 수 있다. 따라서 $\lambda_A : \lambda_B = \frac{1}{\sqrt{E}} : \frac{1}{\sqrt{2E}} = \sqrt{2} : 1$ 이다.

03 질량이 m 이고 속도가 v 인 입자의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 물질파 파장 λ 는 운동량 mv 에 반비례한다.

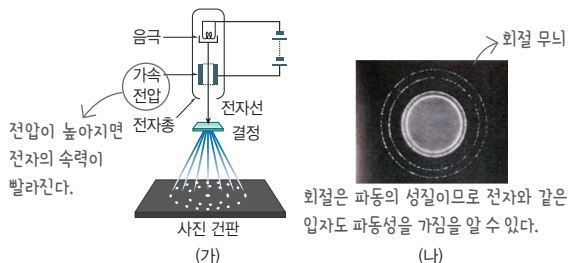


04 ㄱ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 파장 λ 가 같을 때 질량 m 이 클수록 속력은 느리다. 따라서 양성자의 질량이 전자의 질량보다 1840배 정도 크므로, 양성자의 속력은 전자의 속력보다 느리다.

ㄴ. 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 물질파 파장 λ 가 같을 때 운동 에너지 E_k 는 질량 m 에 반비례한다. 따라서 질량이 큰 양성자의 운동 에너지는 전자보다 작다.

바로알기 ㄴ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 파장 λ 가 같을 때 운동량 mv 도 같으므로, 운동량은 양성자와 전자가 같다.

05 품목 문제 분석

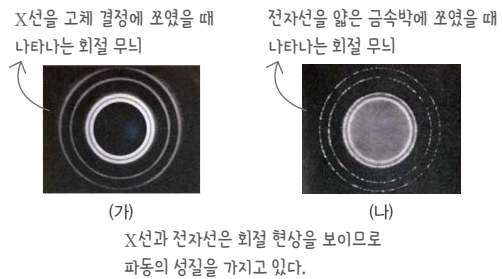


ㄱ. 가속 전압을 높이면 전자의 속력이 빨라지므로, 전자총에서 나오는 전자의 운동량이 커진다.

ㄴ. 가속 전압을 높이면 전자의 속력이 빨라진다. $\lambda = \frac{h}{mv}$ 의 식에 의해 전자의 물질파 파장과 속력이 반비례하므로 가속 전압을 높이면 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

바로알기 ㄴ. 가속 전압을 높이면 전자의 물질파 파장이 짧아지고, 파장이 짧아지면 회절 현상이 일어나는 정도가 작으므로 무늬 사이의 간격이 줄어든다.

06 품목 문제 분석



ㄴ. 전자선을 얇은 금속박에 쏘았을 때 나타나는 무늬는 같은 파장의 X선을 고체 결정에 쏘았을 때 나타나는 회절 무늬와 같은 형태이다. 따라서 전자선도 X선처럼 회절 현상을 일으킨다는 것을 알 수 있다.

ㄴ. 전자선이 X선의 경우와 같이 회절 현상을 보이므로 전자의 파동성을 확인할 수 있다.

바로알기 ㄱ. X선의 회절 무늬는 파동의 성질을 보여준다.

07 ① 드브로이는 자연의 대칭성을 근거로 전자와 같은 물질 입자도 빛처럼 파동의 성질을 가질 것이라고 주장하였는데 이와 같은 파동을 물질파라고 한다.

② 드브로이가 물질파를 제안한 후 미국의 과학자 데이비슨과 거머가 전자선을 니켈 결정에 입사시켰을 때 회절 현상이 나타나는 것을 관찰하였다. 이 실험에서 구한 전자의 파장이 드브로이가 제안한 물질파 파장과 같았으므로 전자가 파동성을 가짐을 알게 되었다.

④ 전자뿐만 아니라 양성자, 중성자 등과 같은 입자들도 빛과 마찬가지로 파동성을 갖는다. 따라서 물질 입자가 파동과 입자의 두 가지 성질을 모두 가지고 있는 것을 물질의 이중성이라고 한다.

⑤ 물질이 입자성과 파동성을 모두 가지고 있지만, 입자의 조건에 따라 한쪽의 성질이 더 강하게 나타난다. 파장이 짧을수록 입자성을 잘 나타내고 파장이 길수록 파동성을 잘 나타내게 되므로, 한 가지 현상에서 물질 입자의 입자성과 파동성을 동시에 관측하기 어렵다.

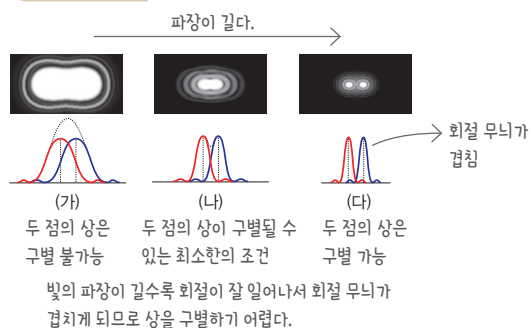
바로알기 ③ 물질의 파동성은 물질과 파장이 길수록 잘 나타난다. 물질과 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 파장 λ 와 운동량 mv 는 반비례 관계이므로, 운동량이 클수록 파장이 짧아진다. 따라서 물질의 파동성은 물질의 운동량이 클수록 잘 나타나지 않는다.

08 야구공은 플랑크 상수(h)에 비해 질량이 매우 커서 운동량(mv)이 크기 때문에 물질파의 파장이 매우 짧다. 따라서 회절의 특성이 거의 나타나지 않기 때문에 파동성을 관찰하기 어렵다. 반면에 전자는 질량이 매우 작아 운동량이 작기 때문에 물질파 파장이 커서 파동성을 관찰할 수 있다.

모범 답안 야구공, 야구공은 플랑크 상수에 비해 질량이 매우 커서 물질파의 파장이 매우 짧다. 따라서 야구공은 파동성을 관찰하기 어렵다.

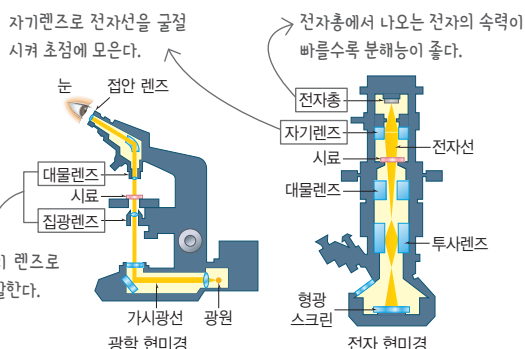
채점 기준	배점
파동성을 관찰할 수 없는 까닭을 서술한 경우	100 %
야구공이라고만 서술한 경우	50 %

09 품공 문제 분석



파동이 장애물이나 좁은 틈을 지나면서 넓게 퍼지는 현상을 회절이라고 하며, 파동의 파장이 길수록 회절하는 정도가 커져서 파동이 더 넓게 퍼진다. 인접한 두 광원의 파동이 같은 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상을 맺을 때, 빛의 파장이 길수록 회절하는 정도가 커서 각각의 회절 무늬가 많이 겹치면 두 점의 상이 하나로 보이기 때문에 구별하는 것이 불가능하다.

10 품공 문제 분석



ㄱ. 광학 현미경에서는 유리 렌즈를 사용하여 빛을 굴절시키고, 전자 현미경에서는 자기렌즈를 사용하여 전자선을 굴절시킨다.

ㄷ. 파동의 파장이 짧을수록 분해능이 좋아진다. 전자 현미경에서 사용하는 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)을 짧게 하려면 전자의 속력이 빨라야한다. 따라서 전자 현미경의 분해능은 전자의 속력이 빠를수록 좋다.

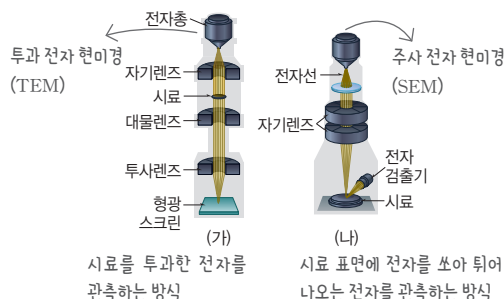
바로알기 ㄴ. 전자기파는 X선과 같은 빛의 파동을 의미한다. 따라서 전자 현미경은 전자기파가 아닌 전자의 물질파를 이용한다.

11 ㄱ. 전자 현미경은 전자의 물질파를 사용하므로, ㉠은 물질의 파동성을 이용한다.

ㄴ. 전자 현미경의 자기렌즈는 코일로 만든 전자석의 자기장을 이용하여 전자선의 진행 경로를 휘게 한다.

ㄷ. 전자 현미경에서 물질파의 파장이 짧을수록 구별할 수 있는 두 점 사이의 거리가 작으므로 분해능이 우수하다.

12 품공 문제 분석



① (가)는 시료를 투과한 전자가 형광 물질이 발라진 스크린에 부딪혀 빛을 내면 이를 관찰할 수 있는 투과 전자 현미경을 나타낸 것이다.

③ (나)는 가속된 전자가 시료의 표면에 부딪힐 때 시료로부터 방출되는 2차 전자를 검출기로 검출하여 얻는 신호를 컴퓨터로 보내서 영상을 관찰하는 주사 전자 현미경으로, 시료의 입체상과 함께 시료의 표면 구조를 볼 수 있다.

④ (나)의 주사 전자 현미경은 관찰하려는 시료의 표면에 전자를 쏘이므로 시료의 전기 전도성이 좋지 않으면 시료의 표면에 전하가 모여 관찰을 계속할 수 없다. 따라서 시료의 표면을 전기 전도성이 좋은 물질로 코팅하여 관찰해야 한다.

⑤ (가)의 투과 전자 현미경의 분해능은 (나)의 주사 전자 현미경의 분해능보다 좋다.

바로알기 ② (가)의 투과 전자 현미경에서 전자가 시료를 투과하는 동안 속력이 느려져 전자의 물질파 파장이 커지면 분해능이 떨어지기 때문에 시료를 얇게 만들어야 한다.

13 시료의 크기보다 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 회절 현상이 작게 일어나 분해능이 좋아진다. 전자의 물질파 파장은 가시광선의 수천분의 일 정도이므로 전자 현미경에서는 광학 현미경으로 볼 수 없는 바이러스나 세포 구조를 관찰할 수 있다.

모범 답안 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장이 광학 현미경에서 사용하는 가시광선의 파장보다 짧기 때문에, 전자 현미경의 분해능이 광학 현미경보다 우수하다.

채점 기준	배점
전자의 물질파 파장과 가시광선의 파장을 비교하여 서술한 경우	100 %
파장이 짧다고만 서술한 경우	70 %

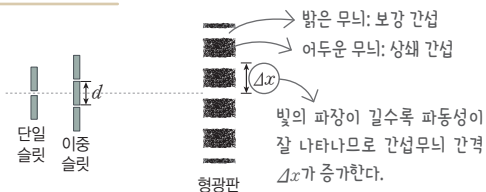
실력 UP 문제

311쪽

01 ⑤ 02 ③

01 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2$ 에서 $m = \frac{1}{2E_k}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2$ 이다. 따라서 $m_A : m_B = \frac{1}{2 \times 2E}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 : \frac{1}{2 \times E}\left(\frac{h}{4\lambda}\right)^2 = \frac{1}{4E}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = \frac{1}{32E}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = \frac{1}{4} : \frac{1}{32} = 8 : 1$ 이다.

02 품공 문제 분석



ㄱ. 형광판에 생기는 간섭무늬는 형광판에 도달하는 전자의 양이 많은 부분과 적은 부분이 번갈아 생기며 나타나는 무늬이다. 간섭 현상은 파동성의 증거이므로, 형광판에 나타난 간섭무늬는 전자의 파동적 성질 때문에 나타나는 것이다.

ㄴ. 전자의 속력 v 가 증가하면 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 의해 물질파 파장이 감소한다. 물질파 파장이 감소하면 파동성이 나타나는 정도가 작아지므로, 형광판에서 보강 간섭이나 상쇄 간섭이 일어나는 간격이 짧아진다. 따라서 전자의 속력 v 가 증가하면 무늬 간격 Δx 는 감소한다.

바로알기 ㄴ. 전압 V 를 높일수록 전자의 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 이 증가하므로 전자의 속력 v 가 증가한다. 운동량 mv 는 전자의 속력 v 가 증가할수록 증가한다. 따라서 전압 V 를 증가시키면 전자의 운동량이 증가한다.

중단원 핵심 정리

312쪽

- ① 광전 효과 ② 진동수 ③ hf ④ 빛의 세기 ⑤ 이중성
⑥ 회절 ⑦ 파장 ⑧ 물질파 ⑨ 자기렌즈

중단원 마무리 문제

313~315쪽

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

01 ㄷ. 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고 광자 1개가 충돌할 때 전자 1개가 방출되므로, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 증가한다. 따라서 (나)는 개수이다.

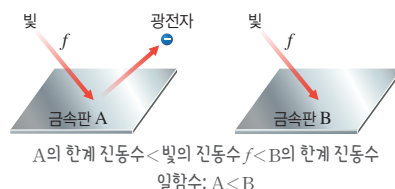
바로알기 ㄱ. 금속마다 일함수가 다르므로, 금속마다 광전자를 방출시키기 위한 빛의 최소 진동수가 다르다. 따라서 ㉠의 특정한 값은 금속마다 다르다.

ㄴ. 광전 효과 실험에서 금속에 비추는 빛의 진동수가 특정한 값 이상일 때 광전자가 방출된다. 또한, 진동수가 큰 빛을 비추면 금속에서 방출되는 전자의 운동 에너지가 증가한다. 따라서 (가)는 진동수이다.

02 ㄴ. 빛의 속력($c=f\lambda$)이 일정할 때 진동수(f)와 파장(λ)은 반비례한다. 광자의 에너지는 진동수에 비례하므로, 광자의 에너지는 파장에 반비례한다. 따라서 빛의 파장이 짧을수록 광자의 에너지는 크다.

바로알기 ㄱ. 광양자설에 의하면 광전 효과는 광자와 전자의 일대일 충돌로 일어나며, 광자의 에너지가 금속의 일함수 이상일 때 광전자가 방출된다. 따라서 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명된다. ㄷ. 방출된 전자의 운동 에너지(E_k)는 충돌한 광자의 에너지(hf)에서 일함수(W)를 뺀 값이므로, $E_k = hf - W$ 라 할 수 있다. 따라서 방출된 전자의 운동 에너지는 충돌한 광자의 에너지보다 작다.

03 품공 문제 분석

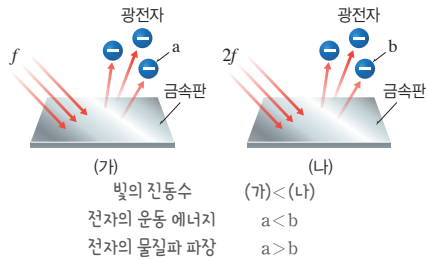


ㄱ. 금속판에서 방출된 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. 따라서 A에 진동수가 $2f$ 인 빛을 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 커진다.

ㄴ. B에서 광전자가 방출되지 않았으므로, 빛의 진동수 f 는 한계 진동수보다 작다. 빛의 진동수가 한계 진동수보다 작으면 빛의 세기가 아무리 강해도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 B에 진동수가 f 인 빛의 세기를 증가시켜 비추어도 광전자가 방출되지 않는다.

바로알기 ㄷ. 빛의 진동수 f 는 A의 한계 진동수보다 크고 B의 한계 진동수보다 작다. 즉 한계 진동수는 A가 B보다 작다. 한계 진동수가 작을수록 일함수가 작으므로, 일함수는 A가 B보다 작다.

04 품공 문제 분석

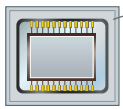
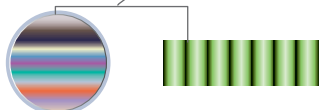


ㄱ. 방출되는 광전자가 가지는 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. 이때 a와 b는 진동수가 $f, 2f$ 인 단색광을 금속판에 각각 비추었을 때 방출되는 광전자 중 속력이 최대인 광전자이다. 따라서 운동 에너지는 a가 b보다 작다.

바로알기 ㄴ. 광전자의 운동 에너지($E_k = \frac{1}{2}mv^2$)는 a가 b보다 작으므로, 속력은 a가 b보다 작다. 이때 전자의 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)은 속력에 반비례한다. 따라서 물질파 파장은 속력이 작은 광전자 a가 속력이 큰 광전자 b보다 크다.

ㄷ. 진동수가 $f, 2f$ 인 빛을 함께 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $2f$ 인 빛을 비출 때와 같다. 따라서 진동수가 $f, 2f$ 인 빛을 함께 비출 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 b와 같다.

05 품공 문제 분석

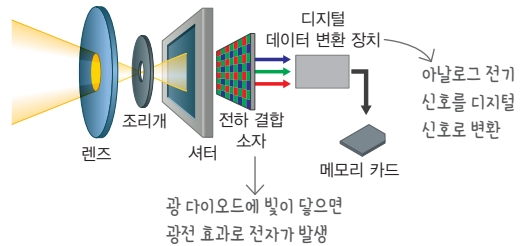
구분	빛에 의해 나타나는 현상
빛의 입자성	 (가) 전하 결합 소자(CCD)
빛의 파동성	 (나) 비누막의 무늬 (다) 이중 슬릿 무늬

ㄱ. (가)의 CCD는 광 다이오드에 빛이 도달할 때 빛의 입자성으로 전자가 방출되는 광전 효과를 이용한다.

ㄷ. (나)와 (다)는 빛의 간섭 현상에 의해 나타난다. 빛의 간섭 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있으므로, (나)와 (다)는 빛의 파동성에 의해 나타나는 현상이다.

바로알기 ㄴ. 광전 효과로 방출되는 광전자의 개수는 빛의 세기에 비례하므로, (가)의 각 화소에서 발생하는 전기 신호의 세기는 빛의 세기에 비례한다.

06 품공 문제 분석



① CCD는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합시켜 만든 수백만 개 이상의 광 다이오드로 구성되어 있다.

② CCD의 단위 면적당 화소수가 클수록 같은 면적에 배열된 광 다이오드 수가 많으며, 광 다이오드 수가 많을수록 각 위치에 비춰진 빛의 세기에 대한 정보의 양이 많으므로 선명한 상을 얻을 수 있다.

③ CCD에 빛이 도달하면 각 화소에서 광전 효과에 의해 전자가 발생하여 빛에너지가 전기 에너지로 변환된다.

④ CCD 자체로는 빛의 색을 구별할 수 없고 빛의 세기만 감지하므로, CCD의 앞에 색 필터를 배치해야 각 필터를 통과한 빛의 세기를 측정하여 빛의 색을 구별할 수 있다.

바로알기 ⑤ CCD의 각 화소에서 발생하는 전기 신호는 아날로그 신호이다.

07 ㄱ, ㄴ, ㄷ. CCD는 광전 효과를 이용해 빛에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치로 우주 천체 망원경, CCTV, 내시경 카메라 등에 이용된다.

바로알기 ㄴ. LED는 발광 다이오드로 전기 에너지를 빛에너지로 변환시키는 반도체 소자이다.

08 ㄱ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 입자의 속력과 물질파 파장은 반비례 관계이다. 따라서 입자의 속력이 빠를수록 물질파 파장이 짧아진다.

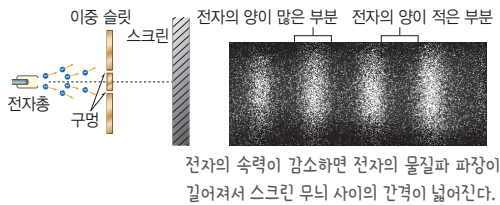
ㄷ. 전자를 얇은 금속막에 통과시킬 때 나타나는 회절 현상으로부터 물질 입자가 파동의 성질을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

바로알기 ㄴ. 야구공은 전자와 같은 입자와 달리 질량이 매우 크다. 따라서 투수가 던진 야구공의 운동량의 크기가 크고, 플랑크 상수 h 의 값이 매우 작기 때문에 물질파 파장이 매우 짧아 파동성을 관찰하기 어렵다.

09 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m}$ 에서 $mv = \sqrt{2mE_k}$ 이므로, 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다. 따라서 A, B의 물질파 파장의 비는 $\lambda_A : \lambda_B = \frac{h}{\sqrt{2m_0E_0}} : \frac{h}{\sqrt{2 \cdot 2m_0 \cdot 2E_0}} = \frac{h}{\sqrt{2m_0E_0}} : \frac{h}{2\sqrt{2m_0E_0}} = 1 : \frac{1}{2} = 2 : 1$ 이다.

10 품공 문제 분석

파동의 회절에 의한 간섭무늬가 나타나므로 전자를 파동으로 볼 수 있다.



ㄱ. 빛의 파동성의 증거인 간섭무늬와 같으므로, 전자가 파동성을 가져 나타나는 현상인 것을 알 수 있다.

ㄴ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 의해 전자의 속력과 물질파 파장은 반비례 관계이다. 따라서 전자의 속력이 증가하면 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

바로알기 ㄷ. 전자의 속력이 감소하면 전자의 물질파 파장이 길어진다. 전자의 물질파 파장이 길수록 스크린에서 보강 간섭이나 상쇄 간섭이 일어나는 간격이 넓어지므로 스크린 무늬 사이의 간격이 넓어진다. 따라서 전자의 속력이 감소하면 스크린 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

11 품공 문제 분석

	주사 전자 현미경 (SEM)	투과 전자 현미경 (TEM)
종류	A	B
원리	시료 표면을 따라 전자선을 스캔한다.	전자선을 시료에 투과시킨다.
가속 전압	10 kV ~ 30 kV	100 kV ~ 300 kV
시료	시료 표면을 금속으로 코팅한다. → 3차원 상을 얻을 수 있다.	시료가 얇아야 한다. → 2차원 상을 얻을 수 있다.

ㄴ. A는 시료 표면을 따라 전자선을 스캔(주사)하므로 주사 전자 현미경이며, 튀어나온 전자를 검출하여 시료의 3차원 상을 얻을 수 있다.

바로알기 ㄱ. 가속 전압이 클수록 전자의 속력은 커진다. 가속 전압은 10 kV ~ 30 kV인 A가 100 kV ~ 300 kV인 B보다 작으므로, 전자의 속력은 A에서가 B에서보다 작다. $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자의 속력이 작을수록 물질파 파장이 길므로, 사용하는 전자선의 물질파 파장은 A가 B보다 길다.

ㄷ. A는 시료의 표면에 전자를 쏘어서 상을 관찰하므로 시료 표면의 전기 전도성을 좋게 하기 위해 금속으로 얇게 코팅한다. 따라서 A에서 사용하는 시료 표면의 전기 전도성이 좋아야 한다.

12 아인슈타인은 광전 효과를 설명하기 위해 '빛은 광자(광양자)라고 하는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이며, 진동수 f 인 광자 1개가 가지는 에너지는 $E = hf$ (h : 플랑크 상수)로 주어진다.'라는 광양자설을 발표하였다.

모범 답안 빛은 진동수에 비례하는 불연속적인 에너지를 가지는 광자(광양자)의 흐름이다.

채점 기준	배점
빛이 진동수에 비례하는 불연속적인 에너지를 가진 입자의 흐름이라고 서술한 경우	100 %
빛이 입자의 흐름이라고만 서술한 경우	70 %

13 광양자설에 의하면 진동수 f 인 광자 1개가 가지는 에너지는 $E = hf$ 로 진동수에 비례한다. 따라서 진동수가 큰 빛일수록 광자 1개의 에너지가 크므로, 광자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

모범 답안 빛의 진동수, 광자의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 광자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

채점 기준	배점
광전자의 최대 운동 에너지를 결정하는 요인을 쓰고, 광자의 에너지는 진동수가 클수록 크다고 서술한 경우	100 %
광전자의 최대 운동 에너지를 결정하는 요인이 빛의 진동수라고만 서술한 경우	50 %

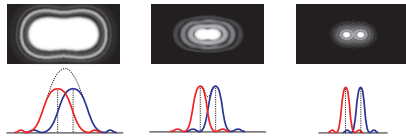
14 물질파 파장은 드브로이 파장이라고도 하며, 드브로이가 주장한 물질 입자가 나타내는 파동의 파장이다. 또한 질량이 m 인 입자가 속력 v 로 운동할 때 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다. 따라서 물질파 파장과 입자의 속력은 반비례 관계이다.

모범 답안 물질파 파장은 물질 입자가 나타내는 파동의 파장이다. 이를 식으로 나타내면 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 물질파 파장과 입자의 속력은 반비례 관계이다.

채점 기준	배점
물질파 파장의 개념과 식을 쓰고, 속력에 반비례 한다고 서술한 경우	100 %
물질파 파장을 물질 입자가 나타내는 파동의 파장이라고만 서술한 경우	50 %

15 품공 문제 분석

파장이 짧을수록 회절 무늬가 겹치지 않아
두 점의 상을 잘 구별할 수 있다.



파장: (가) > (나) > (다) ⇒ 분해능: (가) < (나) < (다)

파동이 장애물이나 좁은 틈을 지나면서 넓게 퍼지는 현상을 회절이라고 한다. 인접한 두 광원의 파동이 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상을 맺을 때, 빛의 파장이 길수록 회절하는 정도가 크다. 각각의 회절 무늬가 많이 겹치면 두 점의 상이 하나로 보이기 때문에 상을 구별하는 것이 불가능하다. 따라서 빛의 파장이 짧을수록 회절이 적게 일어나므로, 두 점을 구분하여 볼 수 있는 분해능이 좋아진다.

모범 답안 회절, 분해능은 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 좋아진다.

채점 기준	배점
파동의 성질과 함께 분해능과 빛의 파장의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
둘 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

수능 실전 문제

317~318쪽

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

01 품공 문제 분석

A: 광전 효과가 일어나지 않음

⇒ A의 진동수 < 한계 진동수

⇒ ㉠ = 0

광원	광전자 수
A	1개
	0
B	2개
	㉠
	1개
	㉡
	2개
	N_0

B: 광전 효과가 일어남

⇒ B의 진동수 ≥ 한계 진동수

⇒ 방출되는 광전자의 개수는 빛의 세기와 비례한다.

⇒ ㉡ < N_0

선택지 분석

㉠ ㉠은 0이다.

✗ ㉡은 N_0 보다 크다. 작다.

✗ 진동수는 A가 B보다 크다. 작다.

전략적 풀이 ① A를 1개 비추었을 때의 결과로부터 A의 진동수와 금속의 한계 진동수를 비교하여 ㉠을 파악한다.

ㄱ. 광원 A를 1개 비추었을 때 방출되는 광전자의 수가 0이므로, 광원 A의 진동수는 한계(문턱) 진동수보다 작다. 빛의 진동수가 한계(문턱) 진동수보다 작으면 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않으므로, 광원 A를 2개 비추더라도 ㉠은 0이다.

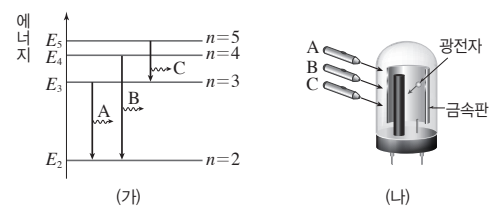
② 한계 진동수 이상의 빛을 비출 때 광전자의 개수와 빛의 세기와의 관계로부터 ㉡을 파악한다.

ㄴ. 빛의 진동수가 한계(문턱) 진동수보다 클 때 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. 광원 B를 2개 비추었을 때 방출되는 광전자의 수가 N_0 이므로, 광원 B를 1개 비추어 빛의 세기가 감소할 때 방출되는 광전자의 수 ㉡은 N_0 보다 작다.

③ A 또는 B를 비출 때 광전자의 방출 여부를 확인하여 A와 B의 진동수를 비교한다.

ㄷ. 금속판에 A를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않으므로 A의 진동수는 한계 진동수보다 작고, 금속판에 B를 비추었을 때 광전자가 방출되므로 B의 진동수는 한계 진동수보다 크다. 따라서 A의 진동수 < 한계 진동수 ≤ B의 진동수이므로 진동수는 A가 B보다 작다.

02 품공 문제 분석



에너지 준위 차이: $C < A < B$

⇒ 빛의 진동수: $C < A < B$

⇒ 빛의 파장: $C > A > B$

A에서 광전 효과가 일어나지 않고

B에서 광전 효과가 일어난다.

⇒ 빛의 진동수: $A < \text{한계 진동수} \leq B$

진동수: $C < A < \text{한계 진동수} \leq B \Rightarrow C$ 에서 광전 효과가 일어나지 않는다.

선택지 분석

✗ 파장은 A가 B보다 짧다. 길다.

✗ 광전관에 비추는 A의 세기를 증가시키면 광전자가 방출된다. 방출되지 않는다.

㉡ C를 광전관에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

전략적 풀이 ① A 또는 B를 비출 때 광전자의 방출 여부로부터 A와 B의 진동수를 비교한 후, A와 B의 파장을 비교한다.

ㄱ. 광전관에 A를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았으므로 A의 진동수는 한계 진동수보다 작다. B를 비추었을 때는 광전자가 방출되었으므로 B의 진동수는 한계 진동수보다 크다. 따라서 진동수는 A가 B보다 작고 파장은 진동수에 반비례하므로, 파장은 A가 B보다 길다.

② A의 진동수가 한계 진동수보다 작음을 알고 A의 세기를 증가시킬 때의 결과를 파악한다.

ㄴ. 빛의 진동수가 한계(문턱) 진동수보다 작으면 빛의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 광전관에 비추는 A의 세기를 증가시키더라도 광전자가 방출되지 않는다.

③ 에너지 준위차로부터 C의 진동수를 A의 진동수와 비교한 후, C를 비추었을 때의 결과를 파악한다.

ㄷ. 전자가 전이할 때 방출되는 빛의 진동수는 에너지 준위 차이에 비례하므로, 빛의 진동수는 에너지 준위 차이가 작은 C가 에너지 준위 차이가 큰 A보다 작다. 광전관에 A를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았으므로, A의 진동수는 한계 진동수보다 작다. 따라서 A보다 진동수가 작은 C를 광전관에 비추면 광전자가 방출되지 않는다.

03 꼼꼼 문제 분석

단위 시간당 방출되는 광전자 수에 비례한다. < 진동수가 클수록 커진다.

단색광	세기	E_k
A	I_0	$5W$
B	$2I_0$	$4W$
C	I_0	$2W$

선택지 분석

- ㄱ 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수는 B일 때가 A일 때보다 많다.
- ㄴ 단색광의 파장은 A가 B보다 짧다.
- ✕ 단색광의 진동수는 A가 C의 3배이다. 2배

전략적 풀이 ① 금속에서 방출되는 광전자의 수에 영향을 주는 빛의 특성을 파악하고 단색광의 세기를 비교한다.

ㄱ. 금속에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. 단색광 A의 세기는 I_0 , B의 세기는 $2I_0$ 이므로, 단위 시간당 방출되는 광전자 수는 B일 때가 A일 때의 2배이다.

② 빛의 파장은 진동수와 반비례함을 알고, 광전자의 최대 운동 에너지로부터 단색광의 진동수를 비교하여 파장을 알아낸다.

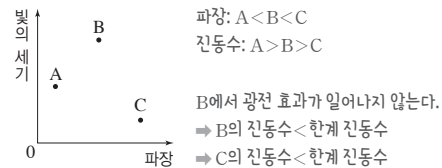
ㄴ. 빛의 파장은 진동수에 반비례한다. 한편, 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 커지므로, 단색광 A를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $5W$, B를 비추었을

때 광전자의 최대 운동 에너지가 $4W$ 라면, 단색광 A의 진동수는 단색광 B의 진동수보다 크다. 따라서 단색광의 파장은 A가 B보다 짧다.

③ 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지를 결정하는 식을 파악하고, 주어진 금속의 일함수와 광전자의 최대 운동 에너지로부터 단색광의 진동수를 비교한다.

ㄷ. 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지 = 빛에너지 - 일함수 = $hf - W$ 이다. 단색광 A를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $5W$ 이므로, $5W = hf_A - W$ 에서 $hf_A = 6W$ 이다. 단색광 C를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $2W$ 이므로, $2W = hf_C - W$ 에서 $hf_C = 3W$ 이다. 따라서 단색광 A의 진동수 f_A 는 단색광 C의 진동수 f_C 의 2배이다.

04 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ 빛의 진동수는 A가 B보다 크다.
- ㄴ C를 비추면 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다.
- ✕ A와 B를 동시에 비추면 A만 비추었을 때보다 광전자의 최대 운동 에너지가 커진다. 같다

전략적 풀이 ① 빛의 속력이 일정할 때 진동수와 파장의 관계로부터 A와 B의 진동수를 비교한다.

ㄱ. 빛의 속력이 일정할 때 빛의 진동수는 파장에 반비례하므로, 빛의 진동수는 파장이 짧은 A가 파장이 긴 B보다 크다.

② 그래프로부터 B와 C의 진동수를 비교하고, B를 비추었을 때의 결과로부터 C의 결과를 파악한다.

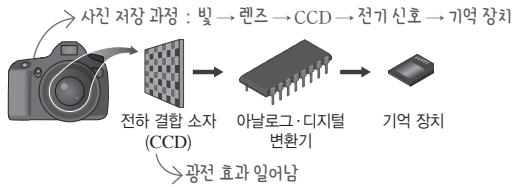
ㄴ. 광전자는 빛의 세기와는 관계없이 금속판에 한계 진동수 이상을 빛을 비출 때만 방출된다. 그래프에서 B는 C보다 파장이 짧고 진동수는 파장에 반비례하므로, 빛의 진동수는 B가 C보다 크다. 이때, B를 비추었을 때는 광전자가 방출되지 않았으므로, 진동수가 B보다 작은 C를 비출 때도 금속판에서 광전자가 방출되지 않는다.

③ A와 B를 동시에 비출 때도 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 가장 큰 A에 의해 결정된다는 것을 이해한다.

ㄷ. 빛의 진동수는 A가 B보다 크다. 이때, B를 비추면 광전자가 방출되지 않으므로, A와 B를 동시에 비추었을 때의 광전자의 최대 운동 에너지는 진동수가 가장 큰 A에 의해 결정된다. 따라서 A와 B를 동시에 비추면 A만 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지와 같다.

05 품공 문제 분석

디지털카메라의 렌즈를 통해 들어온 빛이 CCD의 광 다이오드에 닿아 전자가 발생하고, 화소에서 전하의 양을 전기 신호로 변환시켜 각 위치에 비추어진 빛의 세기에 대한 영상 정보를 기록한다.



선택지 분석

- ✗ CCD에서 광전 효과가 일어나 전기 에너지를 빛 에너지로 변환시킨다.
- CCD의 각 화소에 발생하는 전하량은 입사하는 광자 수에 비례한다.
- CCD는 빛의 입자성을 이용한다.

전략적 풀이 ① 광전 효과의 정의를 이해하고, CCD에서 광전 효과가 일어날 때 에너지의 전환을 파악한다.

ㄱ. 광전 효과는 금속 또는 반도체에 한계 진동수 이상의 빛을 비출 때 전자가 방출되는 현상이므로, CCD에서 광전 효과가 일어날 때 빛에너지가 전기 에너지로 변환된다.

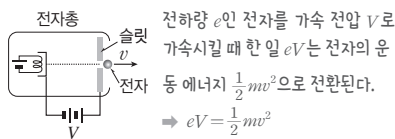
② CCD의 각 화소에서 발생하는 전하의 양에 영향을 주는 빛의 특성을 이해하고, 전하의 양에 따라 달라지는 신호를 파악한다.

ㄴ. CCD의 각 화소에 발생하는 전하량은 비추어 준 빛의 세기, 즉 입사하는 광자 수에 비례한다.

③ CCD에서 이용되는 빛의 성질을 파악한다.

ㄷ. 광전 효과는 빛의 입자성의 증거이다. 이때, CCD는 광전 효과를 이용하므로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

06 품공 문제 분석



선택지 분석

- | | | | |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| (가) | (나) | (가) | (나) |
| ✗ $\frac{2h}{mv}$ | ○ $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$ | ✗ $\frac{h}{mv}$ | ○ $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$ |
| ✗ $\frac{h}{mv}$ | ○ $\frac{h}{\sqrt{4meV}}$ | ✗ $\frac{h}{2mv}$ | ○ $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$ |
| ✗ $\frac{h}{2mv}$ | ○ $\frac{h}{\sqrt{4meV}}$ | | |

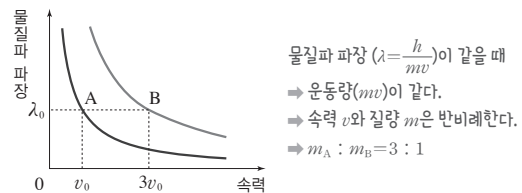
전략적 풀이 ① 입자의 운동량과 관계있는 물질파 파장의 식을 파악한다.

질량이 m 인 입자가 속력 v 로 운동할 때 운동량의 크기는 mv 이고, 입자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다. 따라서 (가)에 들어갈 것은 $\frac{h}{mv}$ 이다.

② 입자의 운동 에너지의 식을 물질파 파장의 식으로 변환시켜, 가속 전압과 파장의 관계를 파악한다.

$eV = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 $\left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 = 2meV$ 이므로, 전압 V 로 가속된 전자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이다. 따라서 (나)에 들어갈 것은 $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$ 이다.

07 품공 문제 분석



선택지 분석

- ✗ A, B의 운동량 크기가 같을 때, 물질파 파장은 A가 B보다 짧다. A와 B가 같다.
- $m_A : m_B = 3 : 1$ 이다.
- ✗ A의 속력이 $3v_0$ 일 때 물질파 파장은 $\frac{1}{3}\lambda_0$ 이다.

전략적 풀이 ① 물질파 파장과 운동량의 관계로부터 A와 B의 파장을 비교한다.

ㄱ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이고, h 는 플랑크 상수이므로 운동량 mv 가 같으면 물질파 파장 λ 도 같다. 따라서 A, B의 운동량 크기가 같을 때, 물질파 파장은 A와 B가 같다.

② A와 B의 물질파 파장이 같을 때 속력의 비로부터 질량의 비를 파악한다.

ㄴ. 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)이 같으면 운동량(mv)이 같다. 운동량(mv)이 같으면 입자의 질량(m)과 속력(v)은 반비례한다. 그래프에서 A와 B의 물질파 파장이 λ_0 로 같을 때 속력의 비가 $v_0 : 3v_0 = 1 : 3$ 이므로 질량의 비는 $3 : 1$ 이다. 따라서 $m_A : m_B = 3 : 1$ 이다.

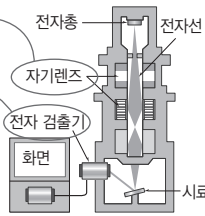
㉓ A의 물질파 파장과 속력의 관계로부터, A의 속력이 달라질 때의 물질파 파장을 구한다.

ㄷ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서, 질량(m)이 같을 때 파장(λ)과 속력(v)은 반비례한다. A의 속력이 v_0 일 때 물질파 파장이 λ_0 이므로, 속력이 3배인 $3v_0$ 이 되면 물질파 파장은 $\frac{1}{3}$ 배인 $\frac{1}{3}\lambda_0$ 가 된다. 따라서 A의 속력이 $3v_0$ 일 때 물질파 파장은 $\frac{1}{3}\lambda_0$ 이다.

08 꼼꼼 문제 분석

자기렌즈의 자기장으로 전자선의 진행 경로를 휘게 한다.

전자선을 시료 표면에 쏘일 때 튀어나온 전자를 검출한다.
⇒ 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰할 수 있다.



선택지 분석

✕ 시료의 2차원적 단면 구조를 관찰할 때 이용된다.
3차원적 구조

✕ 운동 에너지가 $2E_0$ 인 전자의 물질파 파장은 $\frac{1}{2}\lambda_0$ 이다.
 $\frac{1}{\sqrt{2}}\lambda_0$

ㄷ 자기장으로 전자의 진행 경로를 휘게 하여 초점을 맞춘다.

전략적 풀이 ① 주사 전자 현미경(SEM)과 투과 전자 현미경(TEM)에서 볼 수 있는 상의 차이를 이해한다.

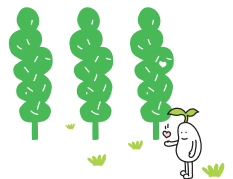
ㄱ. 주사 전자 현미경에서는 시료의 표면에 전자선을 쏘인 후 튀어나온 전자를 검출하여 시료 표면의 3차원적 구조를 관찰한다.

② 물질파 파장과 운동 에너지와의 관계식으로부터, 운동 에너지가 달라질 때의 물질파 파장을 구한다.

물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E_k}}$ 이다. 전자의 운동 에너지가 E_0 일 때 물질파 파장이 λ_0 이므로, 운동 에너지가 $2E_0$ 인 전자의 물질파 파장은 $\frac{1}{\sqrt{2}}\lambda_0$ 이다.

③ 자기장에서 전하를 띤 입자의 진행 경로가 휘어짐을 알고, 전자 현미경의 자기렌즈의 역할을 파악한다.

ㄷ. 전자 현미경의 자기렌즈는 코일로 만든 전자석의 자기장을 이용하여 음(-)전하를 띤 전자선의 진행 경로를 휘게 하여 초점을 맞춘다.





A series of horizontal dotted lines for writing, spanning the width of the page.