

개념을 쌓아가는 기본서

고등 셀파



정답과 해설



I

역학과 에너지

1. 힘과 운동

01 | 여러 가지 운동



탐구 대표 문제

p. 12

01 ①

01 가, 르. 속도의 크기는 일정하지만 운동 방향이 변하는 등속 원운동이다.

오답 피하기

나, 드. 바이킹은 실에 매달린 추의 운동과 같이 왕복 운동을 하고, 자이로드롭은 방향은 변하지 않지만 속력이 변하는 가속도 운동을 한다.

기초 탄탄 문제

p. 14

01 ⑤ 02 ① 03 ① 04 ① 05 ⑤ 06 ②

01 이동 거리는 강아지가 이동한 총 거리로, $60\text{ m} + 20\text{ m} = 80\text{ m}$ 이고, 변위는 동쪽으로 이동할 때를 (+), 서쪽으로 이동할 때를 (-)로 정의하면 변위의 크기는 $60\text{ m} - 20\text{ m} = 40\text{ m}$ 이다. 부호가 (+)이므로 방향은 동쪽이다.

02 평균 속력은 이동 거리를 시간으로 나눈 $\frac{80}{5} = 16\text{ (m/s)}$ 이고, 평균 속도는 변위를 시간으로 나눈 $\frac{40}{5} = 8\text{ (m/s)}$ 이다.

03 이동 거리-시간 그래프에서 시간에 따라 이동 거리가 일정하게 증가하므로 물체는 등속 운동을 한다. 또한 이동 거리-시간 그래프에서 기울기는 속력을 의미한다.

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

오답 피하기

- ② 5초 동안 이동한 거리는 $10 \times 5 \times \frac{1}{2} = 25\text{ (m)}$ 이다.
- ③ 5초일 때 물체의 속도의 부호가 바뀌므로 원래의 운동 방향과 반대 방향으로 운동을 한다.
- ④ 10초일 때 물체의 변위 $s = 10 \times 10 + \frac{1}{2} \times (-2) \times 10^2 = 0$ 이다.
- ⑤ 물체가 10초 동안 변위가 0이므로 평균 속도는 0이다.

05 가속도-시간 그래프에서 색칠한 부분의 넓이는 속도의 변화량을 나타내며, 이 물체는 가속도의 크기가 일정한 운동을 한다.

06 ① A에서 O까지 축구공에 작용하는 힘(중력)은 축구공의 연직 방향의 운동과 반대이므로 축구공의 속력은 감소한다.

③ O점을 지날 때 수직 방향의 속력은 0이지만 수평 방향의 속력은 0이 아니다.

④ 수평 방향의 속력은 항상 일정하다.

⑤ O에서 B까지 축구공의 운동 방향은 포물선의 접선 방향이다.

내신 만점 문제

p. 15~19

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



01 ①, ② 0초~3초, 5초~10초 동안 기울기의 크기가 증가하므로 속력이 증가한다.

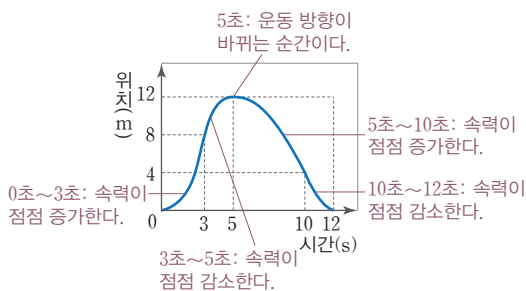
③ 5초일 때 속도의 부호가 (+)에서 (-)로 바뀐다.

⑤ 0초~5초 동안 평균 속력은 $\frac{12\text{ m}}{5\text{ s}} = 2.4\text{ m/s}$ 이고, 5초~10초 동안 평균 속력은 $\frac{8\text{ m}}{5\text{ s}} = 1.6\text{ m/s}$ 이다.

오답 피하기

④ 0초~12초 동안 변위가 $12\text{ m} - 12\text{ m} = 0$ 이므로 평균 속도의 크기는 0이다.

문제 속 자료 위치-시간 그래프



02 ③ 속력은 크기만 가지는 물리량으로 등속 원운동에서 속력은 일정하다.

오답 피하기

- ① 등속 원운동에서 물체의 운동 방향은 계속 변한다.
- ② 속도는 크기와 방향을 가진 물리량으로 원운동은 속도의 크기는 일정하지만 방향이 변하는 운동이다.
- ④ 등속 원운동은 일정한 속력으로 운동을 하지만 방향이 변하므로 가속도는 0이 아니다.

⑤ 등속 원운동은 물체에 작용하는 힘의 방향과 운동 방향이 서로 수직이다.

- 03 ㄱ. 영희와 철수가 P선에서 다시 만날 때까지 걸린 시간이 같으므로 '이동 거리 = 평균 속도 × 걸린 시간'에 의해 이동 거리는 평균 속력에 비례한다. 영희와 철수의 평균 속력의 비가 2 : 3이므로 이동 거리의 비도 2 : 3이다.

ㄴ. 영희의 이동 거리와 철수의 이동 거리의 합이 20 m이므로 두 사람이 만난 시각 t 는 $2 \text{ m/s} \times t + 3 \text{ m/s} \times t = 20 \text{ m}$ 에 의해 $t = 4 \text{ s}$ 이다.

ㄷ. 철수가 4초 동안 이동한 거리는 $3 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 12 \text{ m}$ 이므로 O에서 P점까지의 거리인 변위의 크기는 2 m이다. 따라서 철수의 평균 속도의 크기는 $\frac{2 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$ 이다.

- 04 ㄱ. 자동차 A는 5초 동안 20 m/s 의 속도로 등속도 운동을 하므로 5초 동안 이동한 거리는 $5 \times 20 = 100 \text{ m}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 5초 후 두 자동차의 위치는 같으므로 5초 동안 자동차 B가 등가속도 운동으로 이동한 거리는 100 m 이다. 따라서

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \text{에 의해 } 100 = 0 \times 5 + \frac{1}{2} a \times (5)^2 \text{이고}$$

$a = 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다.

ㄷ. 0초부터 5초까지 자동차 B가 이동한 거리는 100 m 이므로 평균 속도는 20 m/s 이다.

- 05 ㄱ, ㄴ. 평균 속력이 평균 속도의 크기의 $\frac{5}{4}$ 배이므로 이동 거리는 변위의 크기의 $\frac{5}{4}$ 배이다. 그런데 변위의 크기가 8 m 이

므로 이동 거리는 $8 \text{ m} \times \frac{5}{4} = 10 \text{ m}$ 이다. 따라서 $x = -1 \text{ m}$ 에서 운동 방향이 바뀐다.

ㄷ. $x = -1 \text{ m}$ 에서 속력이 0이므로 $2 \times a \times (-1 \text{ m}) = 0^2 - (-2 \text{ m/s})^2$ 에서 가속도는 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

- 06 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 $2 \times 2 \text{ m/s}^2 \times 8 \text{ m} = v^2 - (-2 \text{ m/s})^2$ 에서 $v = 6 \text{ m/s}$ 이다. $a = \frac{v - v_0}{t}$ 에 의해

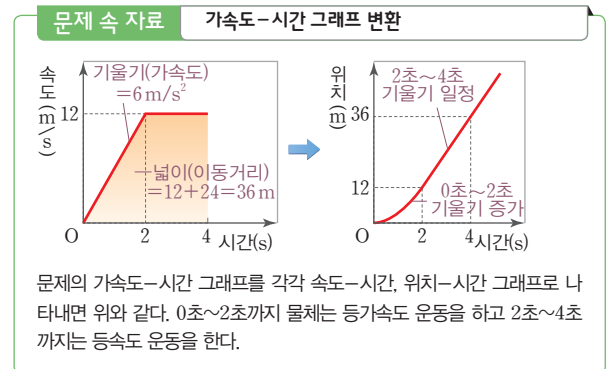
$$2 \text{ m/s}^2 = \frac{6 \text{ m/s} - (-2 \text{ m/s})}{t} \text{에서 } t = 4 \text{ s} \text{이다.}$$

- 07 ㄱ. 정지해 있던 물체가 가속도 6 m/s^2 의 크기로 2초 동안 운동을 하므로 $v = v_0 + at$ 에 의해 2초 후 속력은 12 m/s 이다. 가속도-시간 그래프에서 면적은 물체의 속도 변화량과 같다.

ㄷ. 0초~2초까지 물체의 이동 거리는 $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 에 의해 12 m 를 이동하고, 2초~4초까지 물체는 24 m 를 이동하여 4초 동안 총 36 m 를 이동한다. 그러므로 평균 속력은 9 m/s 이다.

오답 피하기

ㄴ. 2초부터 4초까지 물체의 가속도가 0이므로 12 m/s 의 크기로 등속도 운동을 한다.



- 08 ㄱ. a에서 b까지 가는 데 걸린 시간과 c에서 d까지 가는 데 걸린 시간이 같으므로 c에서 d까지의 평균 속력이 a에서 b까지의 평균 속력의 3배이다.

$$3 \times \frac{(2 \text{ m/s} + v)}{2} = \frac{2v + 10 \text{ m/s}}{2} \text{에서 } v = 4 \text{ m/s} \text{이다.}$$

ㄷ. 가속도가 1 m/s^2 이므로 b에서 c까지 가는 데 걸린 시간은 $v = v_0 + at$ 에 의해 $8 \text{ m/s} = 4 \text{ m/s} + 1 \text{ m/s}^2 \times t$ 에서 $t = 4 \text{ 초}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 $2 \times a \times 6 \text{ m} = (4 \text{ m/s})^2 - (2 \text{ m/s})^2$ 에서 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 이다.

- 09 ㄷ. 0초~3초까지 물체의 평균 속력은 총 이동 거리를 시간으로 나눈 값으로 2 m/s 이다.

오답 피하기

ㄱ. 물체가 운동하는 동안 속도의 부호(방향)가 바뀌지 않으므로 운동 방향도 바뀌지 않는다.

ㄴ. 물체는 0초~3초까지 운동 방향의 변화 없이 운동하므로 3초일 때 이동 거리는 속도-시간 그래프 아래부분의 넓이와 같다. 즉, $s = \frac{1}{2} \times 4 \text{ m/s} \times 3 \text{ s} = 6 \text{ m}$ 이다.

- 10 평균 속력은 물체가 이동한 총 거리를 걸린 시간으로 나눈 값이고 속도-시간 그래프 아래부분의 넓이는 이동한 거리이다 (방향의 변화 없이 직선상 운동을 하는 물체의 변위는 이동 거리와 같다.). \Rightarrow 평균 속력 $v = \frac{(2 \times 3) + (4 \times 2)}{5} = 2.8 \text{ (m/s)}$

11 ㄱ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도이므로 2초일 때 A의 가속도는 $\frac{-4 \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = -1 \text{ m/s}^2$ 이고, B의 가속도는 $\frac{-2 \text{ m/s}}{8 \text{ s}} = -\frac{1}{4} \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B의 4배이다.

ㄷ. A, B 모두 등가속도 직선 운동을 하였으므로 $v = v_0 + at$ 에 의해 A는 $v_A = 4 \text{ m/s} + (-1 \text{ m/s}^2) \times t$, B는 $v_B = 2 \text{ m/s} + (-\frac{1}{4} \text{ m/s}^2) \times t$ 이다. A, B의 속도가 같아지는 순

간은 $v_A = v_B$ 이므로 $4 \text{ m/s} - 1 \text{ m/s}^2 \times t = 2 \text{ m/s} - \frac{1}{4} \text{ m/s}^2 \times t$ 에서 $t = \frac{8}{3}$ 초일 때이다.

0초~ $\frac{8}{3}$ 초 동안 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 을 이용하여 A의 이동 거리 s_A 와 B의 이동 거리 s_B 를 구하면 다음과 같다.

$$s_A = 4 \text{ m/s} \times \frac{8}{3} \text{ s} + \frac{1}{2} \times (-1 \text{ m/s}^2) \times \left(\frac{8}{3} \text{ s}\right)^2 = \frac{64}{9} \text{ m}$$

$$s_B = 2 \text{ m/s} \times \frac{8}{3} \text{ s} + \frac{1}{2} \times \left(-\frac{1}{4} \text{ m/s}^2\right) \times \left(\frac{8}{3} \text{ s}\right)^2 = \frac{40}{9} \text{ m}$$

따라서 A, B 사이의 거리는 $s_A - s_B = \frac{64}{9} \text{ m} - \frac{40}{9} \text{ m} = \frac{24}{9} \text{ m} = \frac{8}{3} \text{ m}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 속도-시간 그래프에서 아래부분의 넓이는 이동 거리이므로, A가 정지할 때까지 이동한 거리는 $\frac{1}{2} \times 4 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 8 \text{ m}$ 이고, B가 정지할 때까지 이동한 거리는 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ m/s} \times 8 \text{ s} = 8 \text{ m}$ 이다.

12 속도-시간 그래프에서 넓이는 변위, 기울기는 가속도이다.

① 0초~4초 동안 이동 거리는 $4 \text{ m} + 4 \text{ m} + 2 \text{ m} = 10 \text{ m}$ 이다.

③ 2초~3초 동안은 등가속도 운동이므로 평균 속력은 4 m/s 이고, 3초~5초 동안의 평균 속력은 $\frac{2 \text{ m} + 2 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

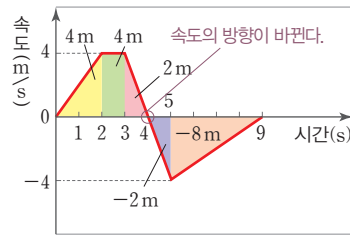
④ 5초~9초 동안 속도의 크기가 감소하므로 속도의 방향(운동 방향)과 가속도의 방향은 반대이다.

⑤ 0초~9초 동안의 변위는 $4 \text{ m} + 4 \text{ m} + 2 \text{ m} - 2 \text{ m} - 8 \text{ m} = 0$ 이므로 물체는 9초일 때 출발점으로 되돌아온다.

오답 피하기

② 1초일 때 가속도는 $\frac{4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이고, 4초일 때 가속도는 $\frac{-8 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = -4 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 4초일 때 가속도의 크기가 더 크다.

문제 속 자료 속도-시간 그래프



속도의 크기가 증가하면 가속도의 방향과 속도의 방향이 같고, 속도의 크기가 감소하면 가속도의 방향과 속도의 방향이 반대이다.

13 ㄱ. A는 기울기가 일정하므로 속도가 일정한 등속 직선 운동을 하고, B는 접선의 기울기가 시간이 지남에 따라 점점 증가하므로 속도가 증가하는 운동을 한다.

ㄷ. t 초 동안 두 물체의 변위와 걸린 시간이 같으므로 A, B의 평균 속도는 같다.

오답 피하기

ㄴ. 시각 t 일 때 접선의 기울기는 B가 A보다 크므로 순간 속도도 B가 A보다 크다.

14 타점에 찍힌 물체의 운동을 보면 단위 시간 동안 이동한 거리가 일정하게 증가하므로 위치-시간 그래프는 기울기가 점점 증가하는 'ㄴ'으로 나타나고, 속도-시간 그래프는 속도가 일정하게 증가하는 'ㄷ'로 나타나며, 가속도-시간 그래프는 가속도 값이 일정한 'ㄱ'으로 나타난다.

15 10 m/s 의 속력으로 등속 직선 운동하는 A가 200 m 를 이동하는 데 걸린 시간은 20 s 이다. 20초 동안 B는 가속도 a 로 등가속도 직선 운동을 하므로 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 의해 $200 \text{ m} = 15 \text{ m/s} \times 20 \text{ s} + \frac{1}{2} a \times (20 \text{ s})^2$ 에서 $a = -\frac{1}{2} \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 Q에 도달하는 순간 B의 속력은 $v = v_0 + at$ 에 의해 $v_B = 15 \text{ m/s} - \frac{1}{2} \text{ m/s}^2 \times 20 \text{ s} = 5 \text{ m/s}$ 이다.

16 ㄱ. $v_A = \frac{0.5 \text{ m}}{0.4 \text{ s}} = 1.25 \text{ m/s}$ 이고 $v_B = \frac{0.7 \text{ m}}{0.4 \text{ s}} = 1.75 \text{ m/s}$ 이다.

따라서 v_B 는 v_A 보다 0.5 m/s 만큼 크다.

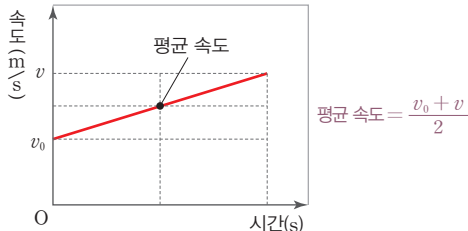
ㄴ. P에서 속력은 A 구간의 평균 속력과 B 구간의 평균 속력의 중간 값과 같으므로, P에서 속력은 1.5 m/s 이다.

오답 피하기

ㄷ. 가속도의 크기는 $a = \frac{0.5 \text{ m/s}}{0.4 \text{ s}} = 1.25 \text{ m/s}^2$ 이다.

- 17 ㄱ. A의 평균 속도는 $2v$ 이고 B의 평균 속도는 $1.5v$ 이다. 따라서 평균 속도는 A가 B의 $\frac{2}{1.5} = \frac{4}{3}$ 배이다.
- ㄴ. 0초부터 4초까지 속도 변화량은 A가 $2v$, B가 $3v$ 이므로, B가 A의 $\frac{3}{2}$ 배이다. 따라서 가속도의 크기는 B가 A의 $\frac{3}{2}$ 배이다.
- ㄷ. 2초일 때 속도는 0초부터 4초까지 평균 속도와 같다. 따라서 2초일 때 A의 속도는 $2v$ 이고 B의 속도는 $1.5v$ 이다. 그러므로 A가 B보다 $0.5v$ 만큼 크다.

문제 속 자료 등가속도 직선 운동의 평균 속도



등가속도 운동을 하는 물체는 속도가 일정하게 증가하므로 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 중간 값과 같다.

- 18 ㄱ. 철수는 시간에 따른 속력이 일정하며 직선 운동을 하기 때문에 방향도 일정하다. 등속 직선 운동을 한다.

오답 피하기

- ㄴ. 이동 거리-시간 그래프에서 기울기는 속력이다. (나)에서 그래프의 기울기가 일정하므로 영희는 등속 직선 운동을 한다.
- ㄷ. 4초일 때 철수의 위치는 $10 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 40 \text{ m}$, 영희의 위치는 30 m 이다.

- 19 ㄷ. (나)에서 쇠구슬은 속력과 운동 방향 모두 변하는 진자 운동을 한다.

오답 피하기

- ㄱ. (가)에서 쇠구슬은 등속 원운동을 한다. 등속 원운동에서 물체는 일정한 속력으로 운동하지만 방향은 원 방향을 따라 매 순간 변하기 때문에 속도는 일정하지 않다.
- ㄴ. 원 운동을 하는 쇠구슬에 작용하는 힘은 원 중심 방향으로 일정한 크기를 갖는다.

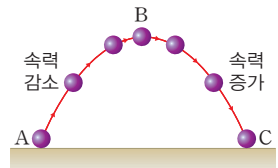
- 20 ㄱ. (가)에서 물체는 수평 방향으로로는 속력이 일정한 등속도 운동을 하지만 수직 방향으로로는 중력을 받아 속력이 증가하는 가속도 운동을 한다.
- ㄷ. 수평으로 던진 물체와 비스듬히 던져 올린 물체는 모두 수평 방향으로로는 일정한 속력으로 운동한다.

오답 피하기

- ㄴ. (나)에서 물체가 O점에 도달하면 수직 방향의 속력은 0이고, 수평 방향의 속력은 있다. 그러므로 O점에서 속력은 0이 아니다.

문제 속 자료 포물선 운동

비스듬히 던져 올린 물체는 포물선 운동을 한다. 이때 수평 방향으로로는 힘이 작용하지 않으며, 연직 방향으로만 중력이 작용해 등가속도 운동을 한다.



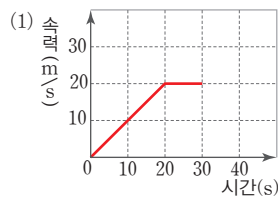
- ① 속력
- 수평 방향: 속력이 일정함.
 - 연직 방향: A → B 속력 감소, B → C 속력 증가
- ② 운동 방향: 매 순간 변한다. (포물선의 접선 방향)

- 21 0초~20초: 정지해 있던 자동차가 등가속도 운동을 하여 20초 후 20 m/s^2 의 속력을 가질 때, $v = v_0 + at$ 에 의해 가속도 a 는 1 m/s^2 이므로 20초 동안 이동한 거리는 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에 의해 $L = 0 \times (20 \text{ s}) + \frac{1}{2} \times (1 \text{ m/s}^2) \times (20 \text{ s})^2 = 200 \text{ m}$ 이다.

20초 이후: 20초 후 20 m/s 의 속력으로 등속도 운동을 하는 자동차가 $L(200 \text{ m})$ 만큼 이동하는 데 걸린 시간은 $s = vt$ 에 의해 $200 \text{ m} = 20 \text{ m/s} \times t$ 에서 $t = 10 \text{ s}$ 이다.

그러므로 자동차가 기준선 P부터 기준선 R까지 이동한 거리는 400 m 이고, 시간은 30 초 이다.

[모범 답안]



- (2) 400 m , 30 초

- 22 비스듬히 던져 올린 물체의 운동은 수평 방향으로로는 힘이 작용하지 않으며, 연직 방향으로만 중력이 작용해 등가속도 운동을 한다.

[모범 답안] (1) 연직 아래 방향

- (2) 수평 방향: 농구공의 수평 방향은 가속도가 없기 때문에 속력의 크기가 같은 등속 운동을 한다.

연직 방향: 농구공은 연직아래 방향으로 중력을 받아 등가속도 운동을 한다. 따라서 최고점에 도달할 때 까지는 공의 가속도 방향과 운동 방향이 반대이므로 공의 속력이 감소하고, 공의 가속도 방향과 운동 방향이 같아지는 최고점에서 내려올 때 공의 속력이 증가한다.

02 | 관성 법칙과 가속도 법칙



탐구 대표 문제

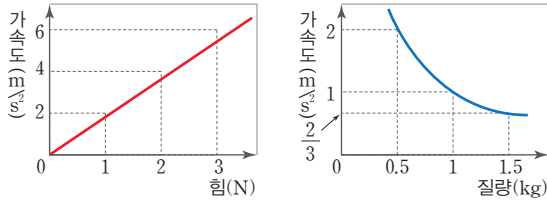
p. 23

01 ③

- 01 민수의 실험은 질량이 일정할 때 힘과 가속도의 관계를 알아보기 위한 것이다.

문제 속 자료 힘, 질량, 가속도 사이의 관계

- ① 질량이 일정할 때 수레를 당기는 힘의 크기가 커질수록 가속도가 증가한다.
- ② 힘의 크기가 일정할 때 수레의 질량이 커질수록 가속도가 감소한다.



기초 탄탄 문제

p. 24

- 01 ② 02 ④ 03 ③ 04 ⑤ 05 ① 06 ①
07 ④

01 오답 피하기

② 힘은 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인으로 물체의 속도를 변화시킨다.

- 02 용수철에 연결되어 있는 물체에 왼쪽으로 15 N을 작용했을 때 물체가 움직이지 않는 것으로 보아 작용한 힘과 용수철이 물체에 작용한 힘의 합은 평형을 이룬다. 즉 두 힘의 합인 알짜힘이 0이므로 용수철이 물체에 작용한 힘은 15 N으로 같고 방향은 반대(→)이다.

- 03 한 칸의 크기가 1 N일 때 F_1 은 윗방향으로 2 N, F_2 는 아랫방향으로 2 N, F_3 는 왼쪽으로 1 N, F_4 는 오른쪽으로 3 N을 작용하므로 같은 일직선상에 작용하는 힘끼리 합하는 경우 y축 알짜힘은 0이 되고 x축 알짜힘은 오른쪽으로 2 N을 가지므로 물체에 작용한 알짜힘의 크기와 방향은 오른쪽으로 2 N이다.

- 04 ① 관성은 질량이 클수록 크다.

② 모든 물체는 외력이 작용하지 않으면 처음 운동 상태를 유지하려고 한다. 그러므로 정지 상태를 유지하려고 한다.

③ 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체는 운동 상태를 유지한다.

④ 정지해 있던 물체가 힘을 받으면 가속도 운동을 한다.

- 05 철수: 휴지를 갑자기 잡아당기면 휴지는 멈춰 있으려는 상태를 유지하는 관성 현상이 나타난다.

오답 피하기

영희: 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 때 물체의 운동 상태는 계속 유지된다.

민수: 물체의 질량이 클수록 관성이 크다.

- 06 ① 정지한 물체는 계속 정지해 있으려는 정지 관성을 가지고 ②, ③, ④, ⑤ 움직이는 물체는 계속 운동하려는 운동 관성을 가진다.

- 07 A에 작용한 힘의 크기 $F = 5 \times 2 = 10$ (N)이다. B에 같은 힘으로 작용했을 때 가속도가 5 m/s^2 이므로 B의 질량 $m = \frac{10}{5} = 2$ (kg)이다.

나선 만점 문제

p. 25-27

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

11~12 해설 참조



- 01 ㄱ. 일정한 속도로 달리고 있는 자동차의 가속도는 0이므로 자동차에 작용하는 알짜힘의 크기는 0이다.

오답 피하기

ㄴ. 일정한 속력으로 원운동하고 있는 인공위성은 원의 중심으로 구심력이 작용하고 있으므로 알짜힘이 0이 아니다.

ㄷ. 줄에 매달려 진자 운동을 하는 물체는 중력과 줄이 물체를 잡아당기고 있는 장력의 합이 0이 아니기 때문에 속도가 변한다.

- 02 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 $50 \text{ N} - 30 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이다. 뉴턴의 운동 제2법칙에 따르면 $20 \text{ N} = 4 \text{ kg} \times a$ 이므로 물체의 가속도는 5 m/s^2 이다. 그러므로 힘을 작용한 후 5초 뒤에 나무 도막의 속도 $v = 5 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} = 25 \text{ m/s}$ 이다.

- 03 ㄷ. 0초~4초까지 물체가 이동한 거리는 속도-시간 그래프에서 면적이므로 $s = \left(\frac{1}{2} \times 2 \times 4\right) + (2 \times 4) = 12$ (m)이다.

따라서 평균 속도 $v = \frac{12}{4} = 3$ (m/s)이다.

오답 피하기

ㄱ. (나)에서 1초일 때 물체의 가속도가 $\frac{4}{2} = 2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다.
 그러므로 뉴턴 운동 제2법칙에 따라 $F = 3 \times 2 = 6 \text{ (N)}$ 이다.
 ㄴ. 2초부터 물체는 등속도 운동을 한다. 그러므로 물체에 작용하는 힘의 크기는 0이다.

- 04 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 경우 물체는 외력을 받지 않은 상태이다. 그러므로 물체는 처음 운동 상태를 그대로 유지하려고 한다. 따라서 (A)는 등속도 운동이다. 알짜힘이 0이 아닌 경우 물체는 힘을 받기 때문에 운동 상태가 변하게 된다. 따라서 (B)는 가속도 운동이다.

- 05 ㄷ. 관성은 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 경우 물체의 운동 상태를 유지하려는 현상을 의미한다.

오답 피하기

ㄱ. 물체에 외력이 작용하지 않을 경우 물체는 운동 상태를 계속 유지한다. 그러므로 A는 '물체는 속력이 일정한 직선 운동을 한다.'이다.
 ㄴ. 알짜힘이 0이 아닌 경우 물체에 힘이 작용하므로 정지해 있는 물체는 운동 상태가 변한다.

- 06 ㄱ. 수레에 작용하는 힘의 크기가 커질수록 수레의 가속도가 커지므로 F_1 의 힘으로 수레를 당겼을 때의 가속도는 F_2 의 힘으로 수레를 당겼을 때보다 크므로 A이다.
 ㄴ. 속력-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 의미하므로 A, B의 기울기를 구하면 $\frac{2}{3}v$, $\frac{1}{3}v$ 으로 F_1 의 힘으로 당겼을 때 가속도는 F_2 의 힘으로 당겼을 때 가속도의 2배이다.
 ㄷ. 속력-시간 그래프에서 면적은 물체의 이동 거리를 의미하므로 0초~3초 동안 이동한 거리는 9 m이다.

- 07 ㄱ. 열차의 운동 방향을 (+)로 정하면 0~ t_1 동안 기울기(가속도)가 (+)이므로 객차에 작용하는 알짜힘도 (+)이다. 객차는 (+)방향으로 기관차가 객차를 당기는 힘과 (-)방향으로 마찰력을 받으므로 기관차가 객차를 당기는 힘의 크기가 마찰력의 크기보다 크다.
 ㄴ. $t_1 \sim t_2$ 동안 등속도 운동을 하므로 객차가 받는 알짜힘은 0이다.
 ㄷ. 속력이 감소하면 알짜힘의 방향과 운동 방향은 반대이다. 따라서 $t_2 \sim t_3$ 동안 객차의 속력이 감소하므로 객차가 받는 알짜힘의 방향과 객차의 운동 방향은 반대이다.

주의 Tip

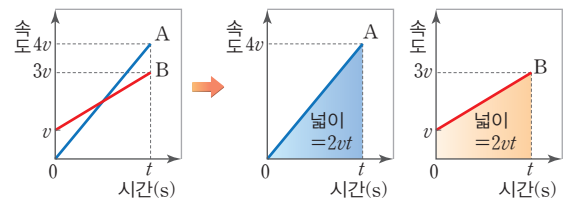
속력이 증가하면 가속도의 방향과 속도의 방향이 같고, 속력이 감소하면 가속도의 방향과 속도의 방향이 반대이다.

- 08 ㄱ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도이므로 가속도(기울기)의 비는 $\frac{4v-0}{t} : \frac{3v-v}{t} = \frac{4v}{t} = \frac{2v}{t} = 2 : 1$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 등가속도 직선 운동에서 평균 속력은 처음 속도와 나중 속도의 중간값이다. A는 처음 속도 0, 나중 속도 $4v$ 이므로 평균 속력은 $2v$ 이고, B는 처음 속도 v , 나중 속도 $3v$ 이므로 평균 속력은 $2v$ 이다. 평균 속력과 걸린 시간이 같으므로 이동 거리도 같다.
 ㄷ. 같은 크기의 힘을 작용하였으므로 $F = ma$ 에 의해 질량과 가속도의 크기는 반비례한다. A, B의 가속도의 비가 2 : 1이므로 질량의 비는 1 : 2이다.

문제 속 자료 속도-시간 그래프



0~ t 동안 A의 기울기(가속도)는 $\frac{4v}{t}$ 이고 넓이(이동 거리)는 $2vt$ 이며, B의 기울기(가속도)는 $\frac{2v}{t}$ 이고 넓이(이동 거리)는 $2vt$ 이다.

- 09 ㄷ. 철수에게 작용한 알짜힘 $F = 60 \text{ kg} \times (-0.5 \text{ m/s}^2) = -30 \text{ N}$ 이다. 힘의 부호가 (-)이므로 힘의 방향은 운동 방향과 반대 방향이다.

오답 피하기

ㄱ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도이므로 철수의 가속도는 $a = \frac{0 \text{ m/s} - 3 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} = -0.5 \text{ m/s}^2$ 이다.
 ㄴ. 영희는 등속도 운동을 하고 있으므로 영희에게 작용한 알짜힘의 크기는 0이다.

- 10 ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

오답 피하기

ㄴ. 물체에 작용하는 중력의 크기가 20 N이고, 용수철저울이 물체를 당기는 힘의 크기가 12 N이므로 수평면이 물체를 미는 힘의 크기는 $20 \text{ N} - 12 \text{ N} = 8 \text{ N}$ 이다.
 ㄷ. 수평면이 물체를 미는 힘과 용수철저울이 물체를 당기는 힘의 합력이 중력과 평형을 이룬다.

- 11 부력의 방향은 중력의 반대 방향이다. A에서는 중력과 부력의 크기가 같고 방향이 반대이므로 알짜힘이 0이다. B에서는 중력의 반대 방향으로 수직 항력과 부력이 작용한다.

[모범 답안] (1) 물체는 물속에 잠길 경우 중력과 반대 방향으로 부력을 받게 되는데 물체가 물속에 부피의 절반만큼 잠겼을 때 중력의 크기와 부력의 크기가 서로 같아, 알짜힘이 0이 되었기 때문에 멈춰 있을 수 있는 것이다.

(2) 물체 B는 아랫방향으로 잡아당기는 중력과 윗방향으로 밀어 올리는 부력 그리고 수조 바닥이 물체를 받쳐 올리는 수직 항력이 작용하고 있으며 이 세 힘의 합력이 0이므로 멈춰 있는 것이다.

서술형 Tip

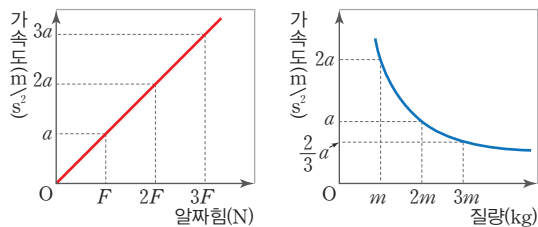
물체가 움직이지 않는 것은 물체에 작용하는 알짜힘이 0일 경우이다. 그러므로 물체에 작용하는 모든 힘(중력, 부력, 수직 항력)의 크기와 방향을 고려해야 한다.

- 12** 뉴턴 운동 제2법칙에 따르면 운동하는 물체의 가속도 크기는 작용하는 알짜힘의 크기에 비례하고, 질량에 반비례하며, 가속도의 방향은 알짜힘의 방향과 같다.

$$\text{가속도} = \frac{\text{알짜힘}}{\text{질량}}, a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = ma$$

[모범 답안] (1) 수레의 질량이 일정한 조건에서 힘의 크기와 가속도는 비례 관계이다.

(2) 수레에 작용하는 힘이 일정한 조건에서 질량과 가속도는 반비례 관계이다.



03 | 작용 반작용과 운동 법칙 적용



탐구 대표 문제

p. 31

- 01** ④ **02** 0.5 m/s

- 01** ㄱ. 수영 선수가 벽을 미는 힘과 벽이 수영 선수를 미는 힘은 크기가 같고 방향이 반대인 작용 반작용 관계이다.
 ㄴ. 야구 방망이가 공을 미는 힘과 공이 야구 방망이를 미는 힘은 크기가 같고 방향이 반대인 작용 반작용 관계이다.

오답 피하기

ㄷ. 지구가 책을 당기는 힘과 책상이 책을 떠받치는 힘은 한 물체에 크기가 같고 방향이 반대인 힘의 평형 관계의 힘이다.

- 02** 어른이 아이를 밀 때 작용 반작용으로 인해 어른은 아이한테서 같은 크기의 힘을 받는다. 어른이 받은 힘의 크기가 30 N이므로 가속도가 $a = \frac{30}{60} = 0.5 \text{ m/s}^2$ 이다. 1초 후 어른의 속도 $v = 0.5 \times 1 = 0.5 \text{ m/s}$ 이다.

기초 단단 문제

p. 32

- 01** ③ **02** ② **03** ② **04** ④ **05** ① **06** ②

- 01** 작용 반작용은 동시에 서로 다른 물체에 작용하며 크기는 같지만 방향이 반대로 작용한다. 또한 두 힘의 작용점은 서로 다른 물체에 있으므로 합성할 수 없다.
- 02** 철판 지우개가 철수를 미는 힘에 대한 반작용은 철수가 철판 지우개를 누르는 힘이다. ('A가 B를 미는 힘'의 반작용은 'B가 A를 미는 힘'이다.)
- 03** 두 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 물체 B 방향으로 10 N이고 두 물체 질량의 합은 5 kg이므로 물체 A와 B의 가속도 크기는 2 m/s^2 이다.
- 04** ①, ②, ③은 관성에 대한 예이고, ⑤는 충격량과 시간의 관계에 대한 예이다. 달리기 경주에서 스타팅 블록은 선수들이 출발할 때 작용 반작용을 통해 강한 힘으로 빠른 출발을 하기 위한 도구로 활용된다.
- 05** 용수철저울에 작용하는 힘의 관점에서 보면 (가)와 (나)의 경우는 동일한 물리적인 상황이다. 즉, $N_1 = N_2$ 이다.
- 06** A, B가 함께 움직이므로 $30 \text{ (N)} = (2 + 3) \times a$, $a = 6 \text{ m/s}^2$ 이다. 용수철저울에 측정되는 힘은 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 따라서 $F_A = 2 \times 6 = 12 \text{ (N)}$ 이다.

내신 만점 문제

p. 33~35

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

12~13 해설 참조

- 01** ㄷ. 피에로와 공이 서로 상대방에게 힘을 작용하므로 작용 반작용의 관계이다.

오답 피하기

- ㄱ. 공은 피에로의 무게가 공을 누르는 힘 외에도 수평면이 공을 위로 떠받치는 힘과 중력을 받는다.
 ㄴ. 수평면의 수직 항력은 자신을 누르는 만큼 작용한다. 피에로의 무게와 공에 작용하는 중력을 합한 크기 만큼 수직 항력이 생긴다.

02 F_1 과 F_2 는 공과 손가락 사이의 작용 반작용인 두 힘이고, F_3 와 F_4 는 벽과 공 사이의 작용 반작용인 두 힘이다. F_2 와 F_3 는 공에 작용하여 평형을 이루는 두 힘이다.

03 ㄴ. 같은 시간 동안 이동했을 때 가속도의 크기가 큰 영희가 철수보다 속력이 빠르다.
 ㄷ. 철수가 영희에게 작용하는 힘과 영희가 철수에게 작용하는 힘은 동일 직선상에서 크기가 같고 방향이 반대인 작용 반작용 관계이다.

오답 피하기

- ㄱ. 철수와 영희에게는 크기가 같고 방향이 반대인 힘이 작용한다. 그러므로 철수와 영희의 가속도 방향은 반대 방향이다.

04 ㄱ. B가 A를 떠받치는 힘은 A에 작용하는 중력의 크기와 같으므로 mg 이다.
 ㄴ. B가 수평면을 누르는 힘의 크기는 A와 B의 무게의 합과 같으므로 $mg + 3mg = 4mg$ 이다.

오답 피하기

- ㄷ. A가 B를 누르는 힘과 B가 A를 떠받치는 힘은 작용 반작용 관계이다.

05 ㄱ. F_1 과 F_4 는 책에 작용하는 두 힘이고 책이 정지해 있으므로 책에 작용하는 두 힘은 평형 관계이다.
 ㄴ. F_1 과 F_3 는 작용점이 상대 물체에 있으며 힘의 크기는 서로 같고 방향이 반대이므로 작용 반작용 관계이다.

오답 피하기

- ㄷ. F_2 와 F_3 는 힘의 평형 관계가 아니다.

06 질량이 같은 세 물체는 용수철로 연결되어 있으므로 같은 가속도로 운동하므로 각각 물체가 받는 알짜힘은 같다. 가운데 있는 물체에 작용하는 알짜힘은 10 N이고 용수철 A로부터 -10 N의 힘을 받으므로 B 용수철로부터 20 N의 힘을 받아야 한다. (여기서 오른쪽은 (+)이고, 왼쪽은 (-)이다.)

07 ㄱ. 두 물체 A와 B는 실로 연결되어 하나의 운동을 한다. 두 물체에 작용하는 알짜힘은 물체 B에 작용하는 중력이므로

$20 \text{ N} = (2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}) \times a$ 에 의해 가속도는 4 m/s^2 이다.

ㄴ. 물체 B가 4 m/s^2 의 크기로 등가속도 운동을 하므로 B가 받은 알짜힘은 $2 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2 = 8 \text{ N}$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 물체 B에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력 - 실이 B를 당기는 장력(T)이므로 $8 \text{ N} = 20 \text{ N} - T$ 에 의해 T 는 12 N이다.

- 08** ① 철수가 농구공으로부터 받은 힘의 크기는 10 N이다.
 ② 철수가 농구공으로부터 받은 힘의 방향은 철수가 농구공에 주는 힘의 방향의 반대이다.
 ④ 철수가 농구공에 힘을 작용한 시간은 농구공이 철수에게 힘을 작용한 시간과 같다.
 ⑤ 길을 걷다 돌에 걸려 넘어지는 것은 관성에 의한 현상이다.

09 ㄷ. 정지해 있던 A가 4 m/s^2 의 크기로 등가속도 운동을 할 때 4초 후 속도는 $v = v_0 + at$ 에 의해 16 m/s 이다.

오답 피하기

ㄱ. 두 물체에 작용하는 힘은 B에 작용하는 중력과 A에 작용하는 F 가 있다. 따라서 알짜힘은 $50 \text{ N} - 30 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이고 $20 \text{ N} = (2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}) \times a$ 에 의해 A의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다.
 ㄴ. B는 4 m/s^2 의 크기로 등가속도 운동을 하므로 B가 받은 알짜힘은 $4 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ kg} = 12 \text{ N}$ 이다.

10 ㄱ. (나)에 매달린 추의 질량이 (가)의 2배이므로 추에 작용하는 중력의 합도 2배이다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. 수레의 질량을 M , 추의 질량을 m 이라고 하면, (가)에서 경우 수레에 작용하는 알짜힘은 $M \times \frac{mg}{M+m}$ 가 되고, (나)에서 경우 수레에 작용하는 알짜힘은 $M \times \frac{2mg}{M+2m}$ 가 된다. 운동의 2법칙에 따르면 가속도의 크기는 (나)가 (가)보다 크다.

11 ㄱ. 두 물체는 상자 안에서 함께 움직이므로 한 물체의 운동이다. 두 물체에 힘 F 를 가했을 때 10 m/s^2 의 크기로 가속도 운동을 하므로 $(3 \text{ kg} + 2 \text{ kg}) \times 10 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ N}$ 이다.
 ㄴ. A가 B에 작용하는 힘의 크기는 B에 작용하는 알짜힘과 같다. B에 작용하는 알짜힘은 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이므로 A는 B에 20 N의 힘을 작용한다.
 ㄷ. 두 물체가 함께 움직이므로 B의 가속도는 10 m/s^2 이다.

- 12** (1) 작용 반작용은 두 물체 사이에 작용하는 힘이다. (가)에서 지구가 A를 당기는 힘에 대한 반작용은 A가 지구를 당기는 힘이다. (나)에서 A와 B 사이에 작용하는 자기력은 작용 반작용 관계이다.

[모범 답안] (1) A가 지구를 당기는 힘

(2) B가 A로부터 받는 자기력

- 13** (1) 용수철로 연결되어 있지만 두 물체가 함께 운동하므로 뉴턴의 운동 법칙에 따라 $10 = (2 + 3) \times a$, $a = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

[모범 답안] (1) $a = 2 \text{ m/s}^2$

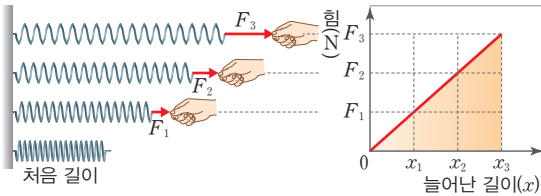
(2) 용수철에 작용한 힘이 클수록 많이 압축된다. (가)와 (나)에서 A, B의 가속도는 모두 2 m/s^2 이다. 이때 (가)의 용수철에 작용하는 힘의 크기는 B가 받은 힘의 크기와 같다. 그러므로 $F_B = 3 \times 2 = 6 \text{ N}$ 이고, (나)의 경우 용수철에 작용하는 힘의 크기는 A가 받은 힘의 크기와 같으므로 $F_A = 2 \times 2 = 4 \text{ N}$ 이다.

[모범 답안] (2) A와 B가 함께 운동하므로 가속도의 크기가 같지만 (가)에서 B가 받는 힘의 크기가 (나)에서 A가 받는 힘의 크기보다 크다. 따라서 용수철은 (가)가 (나)보다 많이 압축된다.

문제 속 자료 힘에 따른 용수철 길이

- 탄성력: 탄성체가 변형되었을 때 원래 상태로 되돌아가려는 힘으로, 탄성력 F 는 탄성체의 변형된 길이 x 에 비례한다.

$$F = -kx \quad (k: \text{용수철 상수}, x: \text{변형된 길이})$$



04 | 운동량과 충격량



탐구 대표 문제

p. 39

01 ⑤ 02 해설 참조

- 01** 나. 에어백은 충격을 받는 시간을 길게 하여 사람이 받는 충격력을 작게 한다.

다. 글러브는 야구공이 손에 충돌하는 시간을 길게 하여 충격력을 작게 한다.

오답 피하기

ㄱ. 충격량은 물체에 작용하는 힘과 시간의 곱이다. 따라서 포신을 길게 하여 포탄이 힘을 받는 시간을 길게 하면 충격량이 커지므로 포탄의 운동량의 변화량이 커진다.

- 02** 두 달걀이 각각 단단한 바닥과 방석에 충돌하는 순간 충돌로 인해 받은 충격력의 크기는 방석보다 단단한 바닥의 경우가 더 크기 때문이다. / 같은 높이에서 떨어진 두 달걀은 지면에 충돌 직전 속력과 직후 속력이 같으므로 운동량의 변화량이 같다. 즉, 두 달걀이 받는 충격량이 같기 때문에 충돌 시간에 따라 달걀이 받는 충격력이 달라진다. 달걀이 단단한 바닥에 떨어질 때 충돌하는 시간이 짧아 충돌로 인해 받은 충격력의 크기가 크다.



기초 탄탄 문제

p. 40

01 ③ 02 ① 03 ④ 04 ① 05 ① 06 ①
07 ②, ③

- 01** 운동량은 물체의 질량에 속도를 곱한 값이다.
 $p = 0.2 \text{ kg} \times 20 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.
- 02** 운동량-시간 그래프에서 기울기는 물체에 작용하는 힘(알짜 힘)을 나타낸다.
- 03** 힘-시간 그래프에서 그래프에서 아랫부분의 넓이는 충격량이다. 그러므로 $I = I_1 + I_2 = 3 \times 2 + 1 \times 1 = 7 \text{ (N} \cdot \text{s)}$ 이다.
- 04** 충격량은 운동량의 변화량이다. 그러므로 $I = \Delta p = p - p_0 = 30 - 20 = 10 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.
- 05** 골프공이 받은 충격량의 크기는 골프공의 운동량의 변화량과 같고 평균 힘과 힘이 작용하는 시간의 곱과 같다. $I = \Delta p = 0.5 \times (4 - 0) = F \times \frac{1}{50}$ 이다. 그러므로 $F = 100 \text{ (N)}$ 이다.
- 06** 힘-시간 그래프의 넓이는 물체가 받은 충격량이다. 충격량은 운동량의 변화량이므로 $I = \frac{1}{2} \times 20 \times 5 = 5 \times (v - 0)$, $v = 10 \text{ (m/s)}$ 이다.
- 07** 힘-시간 그래프에서 아랫부분의 넓이는 물체에 가해진 충격량과 같으며, 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다.

내신 만점 문제

p. 41-43

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



- 01 ㄱ. 볼링공의 운동량 $p = mv = 5 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 볼링공이 충돌하는 동안 받은 충격량의 크기는 볼링공의 운동량의 변화량과 같다. $\Delta p = 5 \text{ kg} \times 0 - 15 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 충격량의 크기는 $15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.
 ㄷ. 볼링공이 벽에 충돌해 정지하는 동안 걸린 시간은 볼링공이 벽으로부터 충격력을 받은 시간과 같으므로 $I = \Delta p = F\Delta t = 15 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 150 \text{ N} \times \Delta t$ 에 의해 $\Delta t = 0.1 \text{ s}$ 이다.

- 02 ㄱ. 힘-시간 그래프에서 면적은 물체가 받은 충격량을 의미하므로 0초부터 4초까지 물체가 받은 충격량은 $I = I_1 + I_2 = \frac{1}{2} \times 8 \times 2 + \frac{1}{2} \times 4 \times 2 = 12 \text{ (N} \cdot \text{s)}$ 이다.

ㄴ. 0초부터 2초까지 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $\frac{1}{2} \times 8 \times 2 = \Delta p = p_{2\text{초}} - p_{0\text{초}} = p_{2\text{초}} - 0$ 에 의해 2초일 때 운동량은 $8 \text{ (kg} \cdot \text{m/s)}$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 4초 동안 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $12 \text{ (kg} \cdot \text{m/s)} = 2v - 0$, $v = 6 \text{ (m/s)}$ 이다.

- 03 ㄷ. 충돌하는 시간은 달걀이 시멘트 바닥과 충돌할 때보다 방석과 충돌할 때 더 많은 시간이 걸리므로 방석과 충돌할 때 받은 충격력이 더 작다.

오답 피하기

ㄱ. 같은 높이에서 떨어진 달걀은 시멘트 바닥 또는 방석과 충돌 전 속도가 같으므로 충돌 전 두 달걀의 운동량은 같다.
 ㄴ. 달걀이 바닥과 충돌 전 속도가 같고 충돌 후 속도가 같으므로 방석 위에 떨어질 때와 시멘트 바닥에 떨어질 때의 충격량은 같다.

- 04 ⑤ 유리컵이 부드러운 바닥에 떨어졌을 때보다 단단한 바닥에 떨어졌을 때 충돌하는 시간이 짧으므로, 단단한 바닥이 유리컵에 작용하는 힘을 나타낸 그래프는 A이다.

오답 피하기

두 유리컵이 부드러운 바닥과 딱딱한 바닥에 충돌하는 과정에서 충돌 전후 속도의 크기가 같으므로 두 유리컵이 바닥으로부터 받은 충격량은 같다.

- ① A, B의 아랫부분의 넓이는 같다.
 ② 충돌 전 두 유리컵의 운동량은 같다.
 ③ 충격량은 '충격력 \times 힘이 작용한 시간'이므로 힘이 작용한 시간이 긴 B가 받는 충격력이 A보다 더 작다.
 ④ 유리컵이 바닥에 작용한 충격량은 A와 B가 같다.

- 05 ㄱ. 1초일 때 물체는 4 m/s 의 크기로 등속 운동을 하므로 이 때 물체의 운동량은 $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도이다. 2초~4초까지 물체의 가속도 크기는 $a = \frac{0-4}{2} = -2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이고, 속도가 점점 작아지는 감속 운동을 하므로 힘의 방향은 물체의 운동 방향과 반대이다.
 ㄷ. 2초부터 4초까지 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $2 \text{ kg} \times (0 \text{ m/s} - 4 \text{ m/s}) = -8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 충격량의 크기는 $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

- 06 ㄱ. 1초일 때 물체의 운동량은 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고, 위치-시간 그래프에서 기울기는 속력이므로 물체의 속력은 2 m/s 이다. 물체의 운동량은 '질량 \times 속력'이므로 이 물체의 질량은 $\frac{30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2 \text{ m/s}} = 15 \text{ kg}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 위치-시간 그래프에서 기울기는 속력을 의미하는데 0초~2초까지 물체가 등속도 운동을 하므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.
 ㄷ. 3초일 때 물체의 속력이 0이므로 운동량도 0이다.

- 07 ㄱ. 물체가 벽과 충돌하면서 받는 충격력은 물체가 벽에 가하는 충격력과 작용 반작용 관계이므로 물체의 운동 방향과 반대인 왼쪽으로 작용한다.

ㄷ. 벽이 물체로부터 받은 충격량의 크기는 물체가 벽으로부터 받은 충격량의 크기와 같다. 그림 (나)에서 힘-시간 그래프의 면적은 물체가 받은 충격량을 의미하므로 충돌하는 동안 벽이 물체로부터 받은 충격량의 크기는 $\frac{3}{2}mv_0$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 물체가 받은 충격량의 크기는 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 오른쪽을 (-), 왼쪽을 (+)라고 했을 때 $I = \Delta p = \frac{3}{2}mv_0 = m(v' - (-v_0))$ 에 의해 물체의 나중 속도는 $v' = \frac{1}{2}v_0$ 이다. 충돌 후 물체의 속도는 (+)이므로 왼쪽으로 $\frac{1}{2}v_0$ 의 속력으로 운동한다.

- 08 철수: 운동량의 크기는 질량과 속력의 곱이므로 사람의 속력이 작아지는 동안 운동량의 크기는 점점 작아진다.

영희: 충격량은 운동량의 변화량과 같다.

오답 피하기

민수: 사람과 에어매트의 충돌 시간을 길게 하면 에어매트가 사람에게 작용하는 평균 힘의 크기가 작아진다.

- 09 충격량은 운동량의 변화량으로 $I = \Delta p = F\Delta t$ 에 의해 $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 이므로 운동 선수가 정지해 있는 공을 쳤을 때 평균 힘은 $F_1 = \frac{3mv_0 - 0}{2t_0} = \frac{3mv_0}{2t_0}$ 이고 공이 벽과 충돌하며 받은 평균 힘은 $F_2 = \frac{-2mv_0 - 3mv_0}{3t} = \frac{-5mv_0}{t_0}$ 이다. 그러므로 평균 힘의 크기의 비 $F_1 : F_2$ 는 9 : 10이다.

- 10 ㄱ. 힘-시간 그래프에서 면적은 충격량을 의미하므로 A가 받은 충격량이 B의 2배이다. 물체가 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같고 충돌 후 두 물체가 정지하므로 A와 B의 충격량은 충돌 전 운동량과 같으므로 운동량의 크기는 A가 B의 2배이다.
 ㄴ. 충격량의 크기는 평균 힘의 크기와 충돌 시간의 곱이다. 충격량의 크기는 A가 B의 2배이고 충돌 시간은 A가 B의 $\frac{2}{3}$ 배이므로, 벽으로부터 받은 평균 힘의 크기는 A가 B의 3배이다.

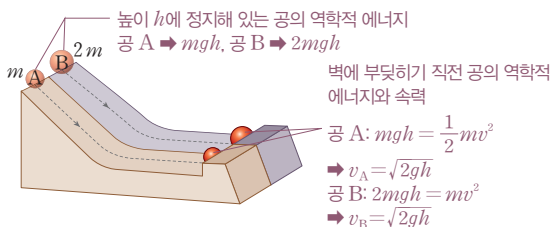
오답 피하기

ㄴ. 충돌 전 운동량이 A가 B의 2배 이고 속력이 같으므로 질량은 A가 B의 2배이다.

- 11 [모범 답안] (1) $v_A : v_B = 1 : 1$

(2) 물체 A와 B는 충돌 직전 속도가 같고 벽과 충돌 후 정지하므로 질량이 작은 A의 운동량의 변화량이 B보다 작다. 운동량의 변화량은 물체가 받은 충격량과 같고, 힘-시간 그래프의 아랫부분의 넓이는 충격량이므로 A는 Y, B는 X이다.

문제 속 자료 빛면의 높이에 따른 공의 속력



역학적 에너지 공식을 보면 ' $E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{일정}$ '이다. 두 공의 질량이 다르더라도 높이가 같다면 두 공의 속도는 같다. 따라서 수평면을 지나 벽에 부딪혀 정지한 두 공은 충돌 전후 속도가 같으므로 속도의 변화량은 같다. 그러나 운동량의 변화량 $\Delta p = m(v - v_0)$ 은 질량에 비례하므로 B가 A보다 큰 충격량을 받고 시간-힘 그래프 아랫부분의 넓이는 B가 A보다 크다.

- 12 [모범 답안] (1) 야구 글러브를 사용하면 야구공이 선수에게 충돌하는 시간을 길게 해서 야구공이 선수에게 작용하는 평균 힘의 크기를 작게 한다.
 (2) ① 에어매트를 사용하면 지면과 충돌할 때까지 힘이 작용하는 시간을 길게 해주어 에어매트가 없을 때보다 안전하다.
 ② 자동차 에어백을 사용하면 충돌하였을 때 사람이 받는 충격력을 줄일 수 있다.

05 | 운동량 보존



탐구 대표 문제

p. 47

01 ④

- 01 ㄱ. 운동량 보존 법칙에 따르면 충돌 전 운동량의 합은 충돌 후 운동량의 합과 같다.
 ㄴ. 충돌 과정에서 A와 B가 받는 충격력과 힘이 작용한 시간이 같으므로 두 물체가 받은 충격량도 같다.

오답 피하기

ㄴ. 충돌 과정에서 물체 A와 B가 받은 충격력은 작용과 반작용 관계로 크기가 서로 같다.

기초 단단 문제

p. 48

01 ③ 02 ① 03 ③ 04 ② 05 ⑤

- 01 운동량 보존 법칙으로 물체 A와 B의 운동량 합은 충돌 전과 충돌 후가 같다. 충돌 전 두 물체의 운동량의 합은 $p = m_A v_A + m_B v_B = mv + 2m \times 0 = mv$ 이고 충돌 후 두 물체의 운동량의 합은 $p' = m_A v_A' + m_B v_B' = (m + 2m)v' = 3mv'$ 이므로 충돌 후 두 물체의 속도 $v' = \frac{1}{3}v$ 이다.

- 02 물체가 분열하면서 A와 B가 받는 충격량의 크기가 같으므로 A와 B의 운동량의 변화량의 크기가 같다. B의 운동량의 변화량의 크기는 $|\Delta p_B| = |m_2 v - m_2 \times 0| = m_2 v$ 이고, A의 운동량의 변화량의 크기는 $|\Delta p_A| = |-m_1 v_A - m_1 \times 0| = m_1 v_A$ 이므로 v_A 의 크기는 $\frac{m_2}{m_1}v$ 이다.

- 03 운동량 보존 법칙으로 충돌 전 두 물체의 운동량의 합과 충돌 후 두 물체의 운동량의 합은 같다. 여기서 위치-시간 그래프의 기울기는 속력이므로 충돌 전 운동량의 합은

$$p = m_A v_A + m_B v_B = 1 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} + m \times 0 = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

이고 충돌 후 운동량의 합은 $p' = m_A v_A' + m_B v_B' = 1 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) + m \times 2 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이므로 m 은 3 kg이다.

- 04 분열 전후 운동량의 합이 보존되어야 한다. 주어진 그래프에서 분열 후 두 물체는 같은 방향으로 운동하고, 두 물체의 운동량의 합이 분열 전 물체의 운동량과 같아야 한다.

- 05 ⑤ B의 처음 속도가 $2v$ 가 되면 충돌 전 운동량의 합은 $2mv - 2mv = 0$ 이 되므로 충돌 후 한 덩어리가 된 물체는 멈춘다.

오답 피하기

- ① 충돌 과정에서 받는 힘의 크기는 A와 B가 같다.
 ② 충돌 과정에서 받는 충격량의 크기는 A와 B가 같다.
 ③ 충돌 전 후 운동량이 보존되므로

$$2mv - mv = (2m + m)V, V = \frac{1}{3}v \text{이다.}$$

- ④ 충돌 후 두 물체는 A의 충돌 전 운동 방향으로 운동한다.

내신 만점 문제

p. 49~51

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

11~12 해설 참조



- 01 운동량 보존 법칙으로 충돌 후 한 덩어리로 움직이는 경우에도 운동량의 합은 보존된다. 충돌 전 운동량의 합은

$$p = p_{\text{총알}} + p_{\text{나무도막}} = 0.2 \text{ kg} \times 100 \text{ m/s} + 0 = 20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

이고 충돌 후 운동량의 합은

$$p' = (m_{\text{총알}} + m_{\text{나무도막}}) \times V = 2 \text{ kg} \times V = 20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

이므로 충돌 후 속력의 크기는 10 m/s이다.

- 02 ㄱ. 수레가 분리되기 전후 운동량의 합은 보존된다. 분리 전 A와 B의 속도가 0이기 때문에 운동량의 합이 0이므로 분리 후 A와 B의 운동량의 합도 0이다.

오답 피하기

ㄴ. 용수철로부터 A와 B가 받은 충격량의 크기는 같고 반대 방향으로 작용하며 수레의 속도는 질량과 반비례하므로 A의 질량은 B의 3배이다.

ㄷ. 수레가 받은 충격량은 A와 B가 같다.

- 03 ㄱ. 운동량-시간 그래프를 보아 물체 A의 충돌 후 운동량의 변화량은 $50 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

ㄴ. 충돌하는 과정에서 물체 A가 받은 충격량과 물체 B가 받은 충격량의 크기가 같고 충돌 후 B의 속도가 5 m/s이므로 B의 질량은 10 kg이다.

오답 피하기

ㄷ. A의 운동량의 변화량은 A가 받은 충격량이고, B가 받은 충격량은 A가 받은 충격량과 같다. 그러므로 B가 받은 충격량은 $50 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

- 04 ㄱ. 물체가 운동하는 방향을 (+)라 하고 반대 방향은 (-)라고 할 때 물체 A가 충돌하면서 받은 충격량의 방향은 물체 A

가 운동하는 방향의 반대이다. 또한 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량으로 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $I = p_A' - p_A = 2 \text{ kg} \times v_A' - 2 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} = -4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 에서 충돌 후 A의 속도는 2 m/s이다.

ㄷ. 충돌 과정에서 A와 B가 받은 충격량의 크기는 같다.

오답 피하기

ㄴ. 물체 B는 운동 방향으로 충격량 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 를 받으므로 $I_B = \Delta p_B = p_B' - 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 에서 충돌 후 B의 운동량 $p_B = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

- 05 ㄱ. (가)에서 운동량이 보존되므로 $mv + 0 = (m + 2m)v'$ 이다. 따라서 $v' = \frac{1}{3}v$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. (나)에서 운동량이 보존되므로 $mv + 0 = -\frac{1}{2}mv + 2mv''$

이다. 따라서 $v'' = \frac{3}{4}v$ 이다.

ㄷ. 충격량은 운동량의 변화량이다. (가)에서 A가 받은 충격량 $I = \frac{1}{3}mv - mv = -\frac{2}{3}mv$, (나)에서 A가 받은 충격량

$$I = -\frac{1}{2}mv - mv = -\frac{3}{2}mv \text{이다.}$$

- 06 ㄱ. 정지해 있던 물체 A에 4 N의 힘을 1초 동안 작용했을 때 물체가 받는 충격량은 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이고 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 1초 후 물체의 속도는 2 m/s이다.

ㄴ. 충돌 전후 두 물체의 운동량의 합은 같다.

$$p = m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' = 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times 0 = 2 \text{ kg} \times v_A' + 2 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}$$

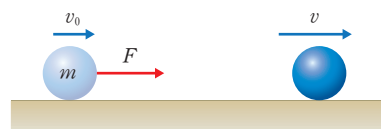
이므로 v_A' 는 1 m/s이므로 충돌 후 A와 B는 함께 운동한다.

오답 피하기

ㄷ. 충돌 과정에서 물체가 받은 충격량의 크기는 A와 B가 같다.

문제 속 자료 충격량과 운동량

• 충격량과 운동량의 관계 : 충격량은 운동량의 변화량과 같다.



$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{mv - mv_0}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\therefore I = F \Delta t = mv - mv_0 = \Delta p \text{ (단위: } \text{N} \cdot \text{s)}$$

- 07 ㄴ. 충돌 과정에서 물체가 벽으로부터 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같으므로 $4mv$ 이다.

오답 피하기

- ㄱ. 충돌 전후 물체의 운동 방향을 오른쪽은 (+), 왼쪽은 (-)라고 했을 때 $\Delta p = -mv - 3mv = -4mv$ 이다.
 ㄴ. 물체가 벽으로부터 받는 충격력과 벽이 물체로부터 받는 충격력은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같고, 충돌 시간이 같으므로 물체와 벽이 받는 충격량도 같다.

- 08 ㄱ. A의 질량은 m , B의 질량은 $2m$ 일 때, 충돌 전 A의 운동량은 $p_A = m \times 4 = 4m$ 이고, B의 운동량 $p_B = 2m \times 1 = 2m$ 이다.
 ㄴ. 두 물체의 운동량 합은 보존되므로 $m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$ 에 의해 $m_A v_A - m_A v' = m_B v' - m_B v_B$ 이므로 $\Delta p_A = -\Delta p_B$ 이다.

오답 피하기

- ㄴ. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량과 B가 A로부터 받은 충격량은 크기가 같다.

- 09 ㄴ. 충격량은 물체에 작용하는 평균 힘 곱하기 충돌하는 시간과 같으므로 충돌하는 동안 A가 B에 작용한 평균 힘의 크기는 $\frac{S}{T}$ 이다.

오답 피하기

- ㄱ. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량은 B가 A로부터 받은 충격량과 같으므로 크기는 S 로 같다.
 ㄴ. '충격량 = 운동량의 변화량'이므로 $S = \Delta p = mv_B' - m \times 0$ 에 의해 충돌 직후 B의 속력은 $v_B' = \frac{S}{m}$ 이다.

- 10 ㄴ. 처음 야구공의 운동량은 $mv_0 = 2p$ 로 $p = \frac{mv_0}{2}$ 이고, 방망이와 충돌 후 야구공의 운동량은 $m(-v') = -p$ 이므로 충돌 후 야구공의 속도의 크기는 $v' = \frac{p}{m} = \frac{v_0}{2}$ 이다.
 ㄴ. 야구공이 방망이로부터 받은 충격량의 크기는 방망이가 야구공으로부터 받은 충격량 크기와 같다.

오답 피하기

- ㄱ. 야구공의 운동량의 변화량 $\Delta p = -p - 2p = -3p$ 이다. 그러므로 운동량의 변화량 크기는 $3p$ 이다.

- 11 운동량 보존 법칙으로부터 분리 전후 수레 A와 B의 운동량의 합은 같다. $p = m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$ 으로 $(3 \text{ kg} + 2 \text{ kg}) \times 4 \text{ m/s} = 3 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) + 2 \text{ kg} \times v_B'$ 이므로 $v_B' = 13 \text{ m/s}$ 이다. 여기서 속도의 부호가 (+)이므로 수레는 오른쪽으로 운동한다.

[모범 답안] 오른쪽으로 13 m/s의 속력으로 운동한다.

- 12 운동량 보존 법칙으로부터 분리 전후 수레 A와 B의 운동량의 합은 같다. $p = m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$ 으로 $2 \text{ kg} \times 8 \text{ m/s} + 4 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) = 2 \text{ kg} \times (-4 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} \times v$ 이므로 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다. 여기서 속도의 부호가 (+)이므로 물체 B는 오른쪽으로 운동한다.

[모범 답안] (1) 오른쪽 방향으로 4 m/s의 속력으로 운동한다.

(2) B가 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같다.

$I = \Delta p_B = 4 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s} - 4 \text{ kg} \times (-2 \text{ m/s}) = 24 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

단원 마무리하기

p. 54 ~ 57



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

- 01 ㄱ. 위치-시간 그래프에서 기울기는 속력을 의미한다. 물체 B는 기울기는 일정하므로 속력이 일정한 등속 운동을 한다.

- ㄴ. 평균 속력 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{시간}}$ 이고, 세 물체가 0초~10초까지 이동한 거리가 $2d$ 로 같으므로 평균 속도의 크기는 모두 같다.

오답 피하기

- ㄴ. 세 물체의 운동 방향이 바뀌지 않으므로 위치-시간 그래프에서 물체의 이동 거리는 y 축의 값이다. 그러므로 0초~10초까지 세 물체가 이동한 거리는 $2d$ 로 같다.

- 02 ㄱ. 40초~80초까지 A의 속력이 일정하므로 가속도는 0이다. A는 직선 운동을 하므로 A는 등속 직선 운동을 한다.

- ㄴ. 속력-시간 그래프에서 아랫부분의 넓이는 이동한 거리이다. 80초일 때 A의 이동 거리 $s_A = \frac{1}{2} \times 4 \times 40 + 4 \times 40 = 240 \text{ (m)}$, B의 이동 거리 $s_B = \frac{1}{2} \times 6 \times 60 = 180 \text{ (m)}$ 이다. 따라서 $s_A - s_B = 60 \text{ m}$ 이다.

오답 피하기

- ㄴ. 속력-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 의미하므로 40초부터 80초까지 A의 가속도는 0이다.

- 03 물체의 가속도를 a , 0초일 때 속도를 v_0 라고 하면 등속 직선 운동 관계식 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 의해 2초일 때 $20 = v_0 \times 2 + \frac{1}{2} a \times 2^2$ 이고, 2초일 때 물체의 속도가 0이 되므로 $v = v_0 + at$ 에 의해 $0 = v_0 + 2a$ 이다.

두 식을 연립하면 $v_0 = 20 \text{ m/s}$, $a = -10 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 물체는 20 m 위치까지 이동했다가 되돌아오는 운동을 하고, 가속도 방향은 운동 방향과 반대 방향이다.

문제 속 자료 등가속도 직선 운동의 관계식

$$\textcircled{1} v = v_0 + at, \textcircled{2} s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \textcircled{3} 2as = v^2 - v_0^2$$

(v : 나중 속도, v_0 : 처음 속도, a : 가속도, t : 시간, s : 변위)

- 04 나. 출발선에서 중간선까지 A와 B의 평균 속력이 같으므로

$$\frac{v + v_1}{2} = \frac{0 + 4v}{2} \text{에 의해 자동차 A는 중간선을 } 3v \text{로 통과}$$

한다. 따라서 중간선에서 도착선까지 A의 속력은 감소한다.

다. 중간선에서 도착선까지 A와 B의 평균 속력이 같으므로

$$\frac{3v + 2v}{2} = \frac{4v + v_2}{2} \text{에 의해 B는 도착선을 } v \text{로 통과한다.}$$

오답 피하기

ㄱ. 출발선에서 중간선까지 걸린 시간이 같으므로 출발선에서 중간선까지 A, B의 평균 속력은 같다.

- 05 나. 0초부터 2초까지 이동 거리 = $\frac{1}{2} \times 2 \text{ s} \times 4 \text{ m/s} = 4 \text{ m}$

이다. 물체의 평균 속도 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{시간}}$ 이므로 0초부터 2초까지

물체의 평균 속도는 2 m/s이다.

다. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 의미하는데 1초일 때 기울기는 (+)값을 갖고, 3초일 때 기울기는 (-)값을 가지므로 가속도의 방향은 서로 반대이다.

오답 피하기

ㄱ. 속도-시간 그래프 아랫부분의 넓이는 이동 거리를 의미하므로 1초부터 3초까지 물체의

$$\text{이동 거리} = \frac{1}{2} \times 1 \text{ s} \times 2 \text{ m/s} + \frac{1}{2} \times 1 \text{ s} \times 6 \text{ m/s} = 4 \text{ m이다.}$$

- 06 나. 여기서 부호는 운동의 방향을 의미한다. 부호가 (-)이든 (+)이든 가속도는 속도의 변화량을 의미하므로 처음 속도와 가속도의 방향(부호)이 같아야 속도의 크기가 증가한다. 따라서 0초 이후 속도의 크기가 계속 증가하는 자동차는 B이다.

다. 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 t 초 후 속도는 $v = v_0 + at$ 로 알 수 있다. 나중 속도가 0이 되는 시각은 물체 A는 $v_A = 24 \text{ m/s} - 6 \text{ m/s}^2 \times t_A = 0$ 이므로 4초이고, 물체 B는 $v_B = -16 \text{ m/s} + 4 \text{ m/s}^2 \times t_B = 0$ 이므로 4초이다. 따라서 A와 C의 속도가 0이 되는 시각은 서로 같다.

오답 피하기

ㄱ. 등가속도 운동을 하는 물체 A가 2초일 때 이동한 거리는

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \text{에 의해 } s = 24 \times 2 + \frac{1}{2} \times (-6) \times 2^2 = 36 \text{ (m)이다.}$$

- 07 다. (나)는 비스듬히 던져 올린 물체로 속력과 방향이 모두 변하는 운동이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 속력이 일정한 등속 원운동으로 속도의 방향은 계속 변한다.

나. (나)의 A점에서 물체의 연직 방향 속도는 0이지만 수평 방향 속도는 0이 아니다. 따라서 A점에서 속도는 0이 아니다.

- 08 ㄱ. 지진으로 땅이 흔들려도 추는 관성에 의해 제자리에 있으려고 하므로 지진이 기록된다.

나. 지면이 흔들리는 방향과 회전 원통의 운동 방향은 같다. 추는 정지해 있으므로 회전 원통과 반대 방향으로 운동한다. 따라서 회전 원통에 대한 추의 운동 방향은 지면의 운동 방향과 반대이다.

오답 피하기

다. 지진계는 추의 관성을 이용하여 지진의 정도를 측정하는 기기이다. 하지만 로켓이 연료를 뒤로 분사하면서 앞으로 날아가는 것은 작용 반작용을 이용한 것이다.

- 09 ㄱ. 수레에 작용하는 외력의 크기는 추에 작용하는 중력과 같고 그 힘은 추의 무게에 비례하므로 외력의 크기는 (가)가 (나)의 2배이다.

오답 피하기

나. 수레와 추는 실로 연결되어 있어 하나의 운동을 하므로 수레와 추의 무게 합은 추에 작용하는 중력을 받아 운동한다. (가)에서 운동 제2법칙에 따라 $3 \times a_{(가)} = 2 \times 10$ 으로 $a_{(가)} = \frac{20}{3} \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이고, (나)에서 $3 \times a_{(나)} = 1 \times 10$ 으로 $a_{(나)} = \frac{10}{3} \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 (가)가 (나)의 2배이다.

$$\text{다. (가)에서 수레에 작용하는 알짜힘 } F_{(가)} = 1 \times \frac{20}{3} = \frac{20}{3} \text{ (N), (나)에서 수레에 작용하는 알짜힘 } F_{(나)} = 2 \times \frac{10}{3} = \frac{20}{3} \text{ (N)이다. 따라서 알짜 힘의 크기는 (가)와 (나)가 같다.}$$

- 10 ㄱ. (가)에서 A의 속도가 변하는 순간이 2초이므로 A와 B가 충돌하는 시각은 2초이다.

다. A와 B가 충돌하며 서로에게 작용하는 충격량은 작용 반작용 관계로 크기가 같고 방향은 반대이다.

A가 받은 충격량은 $I_A = \Delta p_A = (-1) \times 2 - 2 \times 3 = -8 \text{ (kg} \cdot \text{m/s)}$ 이고, B가 받은 충격량은 $I_B = \Delta p_B = 4 \times 2 - 0 = 8 \text{ (kg} \cdot \text{m/s)}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 외력이 작용하지 않는다면 충돌 과정에서 운동량이 보존된다. $2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} + m_B \times 0 = 2 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) + m_B \times 2 \text{ m/s}$ 이므로 $m_B = 4 \text{ kg}$ 이다.

- 11** ㄷ. 물체는 등가속도 직선 운동을 하므로 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 $v = \sqrt{2as}$ 이므로 가속도가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 속력은 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 배이다.

오답 피하기

ㄱ. 물체의 질량이 2배이면 가속도는 $\frac{1}{2}$ 배가 된다.
 ㄴ. 철수가 물체에 작용한 알짜힘의 크기가 F 이므로 물체가 철수에게 작용한 힘은 크기는 같고 방향이 반대인 F 이다.

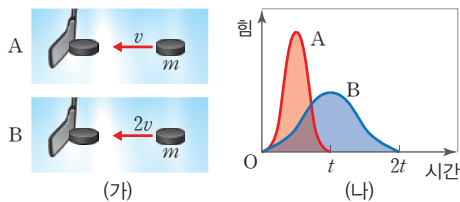
- 12** ㄴ. A가 받은 평균 힘 $F_A = \frac{I}{t}$, B가 받은 평균 힘 $F_B = \frac{I}{2t}$ 이다. 그러므로 $F_A : F_B = 2 : 1$ 이다.
 ㄷ. 운동량의 변화량은 충격량과 같다. 그러므로 A는 $-3mv = m(-V_A - v)$, $V_A = 2v$ 이고, B는 $-3mv = m(-V_B - 2v)$, $V_B = v$ 이다. (이때, 처음 운동 방향을 (+)라 한다.)

오답 피하기

ㄱ. 그림 (나)에서 그래프 A, B의 아랫부분 넓이가 같은 것은 꺾이 받는 충격량의 크기가 같다는 것을 의미한다.

문제 속 자료 충격력과 충돌 시간 관계

푼이 받은 충격량이 같을 때



그래프 아랫부분의 넓이	$A = B(S_A = S_B)$
충격량	$A = B$
운동량의 변화량	$A = B$
힘(충격력)을 받은 시간	$A < B(t_A < t_B)$
충격력(평균 힘)	$A > B(F_A > F_B)$

- 13** ㄴ. 두 공이 충돌할 때 받는 힘은 작용 반작용이므로 크기가 같고 힘을 받는 시간도 같으므로 두 공이 받는 충격량의 크기는 같다.
 ㄷ. A가 받은 충격량은 A의 운동량의 변화량과 같다. (가)

에서 $I_A = 2m - 5m = -3m$, (나)에서 $I_A = 2.5m - 5m = -2.5m$ 이므로 A가 받은 충격량의 크기는 (가)가 (나)보다 크다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 운동량 보존 법칙을 적용하면 $5 \times m + 0 = v_A \times m + 3 \times m$, $v_A = 2 \text{ (m/s)}$ 이다.

- 14** ㄱ. A와 B에 작용하는 힘은 B의 무게와 같으므로 A와 B를 한 덩어리로 생각하면 가속도의 크기는

$$a = \frac{m_B g}{m_A + m_B} = \frac{1 \times 10}{5} = 2 \text{ (m/s}^2\text{)} \text{이다.}$$

ㄴ. 실이 B를 당기는 힘의 크기는 A에 작용하는 알짜힘의 크기와 같다. 따라서 실이 B를 당기는 힘의 크기는 8 N이다.

오답 피하기

ㄷ. B가 등가속도 직선 운동을 하므로 2 m 내려간 순간의 속력은 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 $2 \times 2 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = v^2$ 에서 $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$ 이다.

문제 속 자료 두 물체가 도르레에 연결되어 운동할 때

A와 B가 한 덩어리로 움직이는 상황으로 생각하면, A, B 사이에 주고 받는 힘 T 는 소거되고, 한 덩어리($m_A + m_B$)에 $m_B g$ 의 힘이 작용한 경우로 생각하여 가속도의 크기를 구한다.

$$a = \frac{m_B}{(m_A + m_B)} g$$

- 15** ㄱ. 운동량의 변화량은

$$\Delta p = p - p_0 = 0.5 \times 4 - 0 = 2 \text{ (kg} \cdot \text{m/s)}$$
이다.

오답 피하기

ㄴ. 4초일 때 공이 등속도 운동을 하고 있다. 그러므로 공에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. 공과 발이 서로에게 작용하는 힘의 크기가 같고, 작용한 시간이 같으므로 충격량의 크기가 같다. 공이 발에 작용하는 충격량의 크기는 공의 운동량의 변화량과 같으므로 $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

- 16** ㄴ. 철수가 농구공에 작용한 힘과 농구공이 철수에게 작용한 힘의 크기는 같다. 그러므로 질량이 작은 농구공의 속도 변화량이 철수보다 크다.

ㄷ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 의미하므로 농구공을 던질 때 농구공에 작용한 힘의 크기는 $\frac{m(v_2 - v_1)}{t_2 - t_1}$ 이다.

오답 피하기

ㄱ. 농구공을 던지는 동안 농구공의 속력이 빨라졌으므로 철수가 농구공에 작용한 힘의 방향은 운동 방향과 같다. 반대로 농구공이 철수에게 작용한 힘은 운동 방향과 반대 방향이므로 철수의 속력은 느려진다.

2. 에너지와 열

01 | 역학적 에너지와 보존



탐구 대표 문제

p. 63

01 ④ 02 $\frac{1}{4}$ 배

- 01 공기를 주입한 경우에도 열에너지가 발생한다. 그러나 공기를 주입하지 않은 경우에 비해 마찰이 줄어서 발생하는 열에너지는 줄어든다. 따라서 활차가 좀 더 오랫동안 운동할 수 있다.

오답 피하기

탄성 퍼텐셜 에너지는 물체의 질량과 무관하다. 활차가 공중에 떠서 움직이더라도 결국 멈추는 것은 역학적 에너지가 보존되지 않기 때문이다.

- 02 용수철의 역학적 에너지는 용수철이 기준점에서 최대로 있을 때의 퍼텐셜 에너지와 같다. 용수철을 6 cm 잡아당겼을 때 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}k(6)^2$ 이고 최대 진동 폭이 3 cm로 줄었을 때 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}k(3)^2$ 이다. 따라서 처음의 $\frac{1}{4}$ 로 감소하였다.



기초 탄탄 문제

p. 65

01 ① 02 210 J 03 ③ 04 ③ 05 ② 06 ③

- 01 물체에 작용하는 힘이 15 N이고, 힘이 작용한 방향과 반대 방향으로 마찰력이 10 N 작용하고 있으므로, 알짜힘은 15 N - 10 N = 5 N이다. 즉, 이 물체는 5 N의 힘으로 5 m 이동하였으며, 이때 알짜힘이 한 일 $W = 5 \text{ N} \times 5 \text{ m} = 25 \text{ J}$ 이다. 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다.

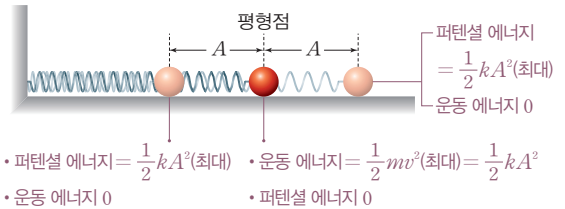
- 02 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 물체에 한 일이다. 따라서 15 m를 이동하는 동안 물체에 한 일 $W = 6 \text{ m} \times 20 \text{ N} + 9 \text{ m} \times 10 \text{ N} = 210 \text{ J}$ 이다.

- 03 힘 F 가 한 일은 물체를 2 m 올렸을 때 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로, $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이다.

- 04 '최대 변위에서 탄성 퍼텐셜 에너지 = 각 점에서 역학적 에너지'이므로 최대 변위 A 에서 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kA^2$ 인 지점에서 '탄성 퍼텐셜 에너지 + 운동 에너지'와 같다.

따라서 $\frac{1}{2}kA^2 = E_k + \frac{1}{2}k\left(\frac{A}{2}\right)^2$ 이므로 $E_k = \frac{3}{8}kA^2$ 이다.

문제 속 자료 탄성력에 의한 역학적 에너지 보존



- 05 '높이 30 m에서 퍼텐셜 에너지 = 높이 10 m에서 퍼텐셜 에너지 + 운동 에너지'이다. 물체의 질량을 m 이라 할 때,

$$m \times 10 \text{ m/s}^2 \times 30 \text{ m} = \frac{1}{2} \times m \times v^2 + m \times 10 \text{ m/s}^2 \times 10 \text{ m}$$

10 m에서 속도 $v = 20 \text{ m/s}$ 이다.

- 06 ③ 마찰과 공기 저항을 무시하면 나무 도막과 충돌하기 전까지 쇠구슬의 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합인 역학적 에너지는 보존된다. 즉, 역학적 에너지는 A, B, C에서 모두 같다.

오답 피하기

- ①, ②, ④ 쇠구슬은 아래로 내려오면서 속력이 점점 빨라지므로 운동 에너지는 증가하며, 높이가 낮아지므로 퍼텐셜 에너지는 감소한다. 속력은 운동 에너지가 클수록 크다.
⑤ 쇠구슬을 B에 놓으면 A에 놓았을 때보다 퍼텐셜 에너지가 작으므로 쇠구슬이 나무 도막에 하는 일의 양이 줄어든다.

내신 만점 문제

p. 66~69

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

19~20 해설 참조



- 01 ㄱ. B에서 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (4 \text{ m/s})^2 = 8 \text{ J}$ 이다.

ㄴ. '운동 에너지 증가량 = 알짜힘이 한 일'이므로,

$$F \times 10 \text{ m} = 8 \text{ J} \text{에서 } F = 0.8 \text{ N이다.}$$

ㄷ. 물체가 등가속도 운동을 하므로 A에서 B까지 평균 속력은 $\frac{0 + 4 \text{ m/s}}{2} = 2 \text{ m/s}$, 걸린 시간 $t = \frac{10 \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 5 \text{ 초}$ 이다.

- 02 ㄱ. 0 m ~ 2 m 동안 힘이 한 일은 그래프 아래 삼각형의 면적이므로 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ m} \times 10 \text{ N} = 10 \text{ J}$ 이다.

ㄴ. 4 m 지점까지 힘이 한 일은 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ m} \times 10 \text{ N} + 2 \text{ m} \times 10 \text{ N} = 30 \text{ J}$ 이고, 그만큼 물체의 에너지가 증가한다.

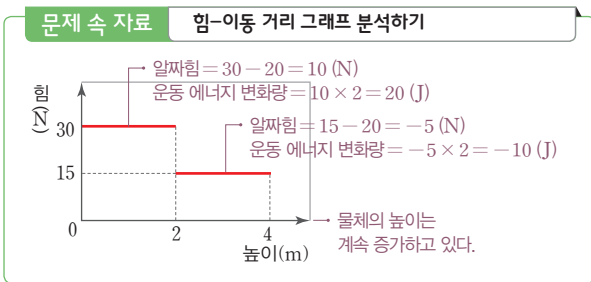
오답 피하기

ㄷ. 힘이 물체에 한 일은 2 m~4 m에서 $10 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이고, 4 m~8 m에서 $5 \text{ N} \times 4 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 로 같다.

- 03 ㄴ. 물체에는 연직 아래쪽으로 중력이 20 N 크기로 작용하고 있다. 2 m~4 m 구간에서 물체에 작용하는 힘은 연직 위로 15 N이고, 중력이 반대 방향으로 작용하므로, 알짜힘은 연직 아래로 5 N이다.

오답 피하기

ㄱ. 0~2 m 구간에서 물체에 연직 위쪽으로 30 N의 힘이 작용하고, 중력이 20 N이므로 알짜힘은 연직 위쪽으로 10 N 크기로 작용한다. 따라서 2 m 높이에서 물체의 운동 에너지 $E_k = \text{작용한 힘} \times \text{이동 거리} = 10 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이다.
 ㄷ. 2~4 m까지 감소한 운동 에너지가 10 J ($-5 \text{ N} \times 2 \text{ m}$)이다. 그런데 2 m 높이에서 운동 에너지가 20 J이므로 4 m 높이에서도 물체는 계속 위쪽으로 운동한다. 따라서 2~4 m 구간에서 물체의 퍼텐셜 에너지는 증가한다.



- 04 2 m 높이에서 물체의 운동 에너지가 20 J이므로

$$20 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2 \text{에서 속력은 } v = 2\sqrt{5} \text{ m/s이다.}$$

- 05 (가)에서 A의 운동 에너지 $E_0 = \frac{1}{2}m(3v)^2 = \frac{9}{2}mv^2$ 이고,
 (나)에서 A, B 전체의 운동 에너지 $E = \frac{1}{2}(3m)v^2 = \frac{3}{2}mv^2 = \frac{1}{3}E_0$ 이다.

- 06 물체를 일정한 속력으로 들어 올렸으므로, 물체에 작용한 알짜힘은 0이다. 이 물체에는 중력(mg)이 아래로 작용하며, 그와 반대 방향으로 같은 크기의 힘을 작용하여 물체를 들어 올렸다.
 ㄱ. 물체를 들어 올렸으므로 중력 퍼텐셜 에너지는 증가하였다.
 ㄴ. 중력 퍼텐셜 에너지는 물체를 기준점에서 일정한 높이까지 무게와 같은 크기의 힘으로 들어 올리는 데 한 일과 같다.
 ㄷ. 기준점에서 위치가 h 만큼 증가하면 mgh 만큼 중력 퍼텐셜 에너지가 증가하며, 이는 물체가 높이 h 에서 자유 낙하 하면서 할 수 있는 일의 양과도 같다.

- 07 ㄴ. A는 등가속도 운동을 하므로 A에 작용하는 알짜힘은 0이 아니며, 등가속도 운동이므로 속력은 점점 증가한다. 따라서 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 역시 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. A가 등가속도 운동을 하여 올라가므로 F 의 크기는 물체의 무게보다 크다.
 ㄷ. F 가 한 일만큼 A의 속력이 증가하고(운동 에너지 증가), 위치가 높아진다(퍼텐셜 에너지 증가). 따라서 F 가 한 일의 양은 A의 역학적 에너지 증가량과 같다.

- 08 ㄱ. 탄성 퍼텐셜 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$ 이며, A와 B는 평형점 O로부터의 거리가 같으므로 탄성 퍼텐셜 에너지도 같다.
 ㄴ. 마찰이 없을 때 역학적 에너지는 모든 점에서 일정하다.

오답 피하기

ㄷ. 추의 운동 에너지는 O에서 최대이고, 탄성 퍼텐셜 에너지는 A, B에서 최대이다. 따라서 추가 O점을 지나 A로 향할 때 추의 운동 에너지는 감소하고, 퍼텐셜 에너지는 증가한다.

- 09 ㄱ. 빗면 위의 물체가 가진 퍼텐셜 에너지는 빗면을 내려온 후 모두 운동 에너지로 전환된다. 물체가 마찰이 없는 수평면에서 등속 운동하므로, 수평면에서 물체가 가진 운동 에너지는 물체가 높이 5 m인 빗면 위에 있을 때 물체가 가진 퍼텐셜 에너지가 전환된 것이다. 빗면의 높이가 5 m이므로, 물체의 퍼텐셜 에너지는 $mgh = 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다.
 ㄴ. 물체가 빗면을 내려오는 동안 중력이 물체에 한 일은 물체가 5 m 높이에 있을 때의 퍼텐셜 에너지와 같다.
 ㄷ. 평면에서 물체의 운동 에너지는 용수철이 최대 압축되었을 때의 탄성 퍼텐셜 에너지와 같다. 즉, $50 \text{ J} = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2} \times 100 \text{ N/m} \times x^2$, 용수철이 최대 압축된 길이는 1 m이다.

- 10 ㄱ. 마찰이 없을 때 역학적 에너지는 모든 위치에서 보존되므로, 빗면을 내려오는 동안 역학적 에너지는 일정하다.
 ㄴ, ㄷ. '수평면에서 운동 에너지 = 최고점에서 퍼텐셜 에너지'이므로, $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ 가 성립한다. $v^2 = 2gh$ 이므로 수평면에서의 속력 $v = \sqrt{2gh}$ 이다.

- 11 ㄱ. 마찰이 없으므로 5 m 높이의 물체가 가진 중력 퍼텐셜 에너지는 지면에 도달하면 운동 에너지로 전환된다. 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이고, 이것은 지면에서 물체의 운동 에너지와 같다.
 ㄴ. 중력이 일을 하여 빗면 위의 물체가 내려왔다. 따라서 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

오답 피하기

ㄷ. 지면에서 운동 에너지 $100 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$ 이므로 지면에서 물체의 속도 $v = 10 \text{ m/s}$ 이다.

- 12** 빗면을 내려온 후 물체의 운동 에너지는 최고점에서 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $mgh = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이다. 물체가 마찰면을 지난 후 속력이 6 m/s 가 되었으므로, 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (6 \text{ m/s})^2 = 36 \text{ J}$ 이다. 따라서 운동 에너지 감소량은 $60 \text{ J} - 36 \text{ J} = 24 \text{ J}$ 이다.

- 13** 역학적 에너지가 보존되므로 감소한 퍼텐셜 에너지는 증가한 운동 에너지와 같다. 즉, $m \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2.4 \text{ m} = \frac{1}{2}m(2v_0)^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 에서 $v_0 = 4 \text{ m/s}$ 이다.

- 14** ㄱ. q에서 물체 A의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 0.4 \text{ kg} \times (2 \text{ m/s})^2 = 0.8 \text{ J}$ 이다.

ㄴ. 실이 A를 당기는 힘(장력)이 한 일은 A의 운동 에너지 변화량(q에서 A의 운동 에너지)과 같다.

오답 피하기

ㄷ. 두 물체가 실로 연결되어 운동하므로, A, B의 속도와 가속도 값은 같고, 두 물체에 작용하는 알짜힘은 B에 작용하는 중력이다. 두 물체의 가속도를 a 라 하면, $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에서 $(2 \text{ m/s})^2 - 0^2 = 2 \times a \times 1 \text{ m}$ 이므로 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 이다. $(m_A + m_B)a = m_Bg$ 에서 $(0.4 \text{ kg} + m_B) \times 2 \text{ m/s}^2 = m_B \times 10 \text{ m/s}^2$ 이므로 B의 질량은 $m_B = 0.1 \text{ kg}$ 이다.

- 15** 힘-이동 거리 그래프에서 힘이 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다. 전동기가 물체 A, B를 끌어당기고 있으므로 힘 F 가 한 일만큼 A와 B의 역학적 에너지가 증가한다.

ㄱ. $0 \sim 3 \text{ m}$ 까지 전동기는 15 N 의 힘을 작용하여 물체를 3 m 이동시켰다. 따라서 한 일은 $15 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 45 \text{ J}$ 이다.

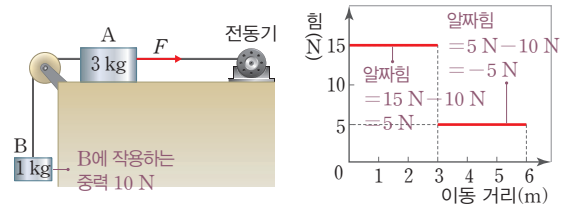
오답 피하기

ㄴ. 일 · 운동 에너지 정리에서 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다. $0 \sim 3 \text{ m}$ 까지 물체 A, B에는 전동기가 작용하는 힘 15 N 과 중력 10 N 이 서로 반대 방향으로 작용하고 있으며, 물체에 작용하는 알짜힘은 5 N 이다. 이 5 N 의 힘이 물체를 3 m 이동시켰으므로 $0 \sim 3 \text{ m}$ 까지 A, B 전체의 증가한 운동 에너지는 $5 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 15 \text{ J}$ 이며, 이것은 A와 B의 운동 에너지 증가량과 같다. 두 물체의 속력이 같으므로, 운동 에너지 비는 질량 비와 같고 A의 증가한 운동 에너지는 $15 \text{ J} \times \frac{3}{4} = \frac{45}{4} \text{ J}$ 이다. $0 \sim 3 \text{ m}$ 까지 증가한 B

의 퍼텐셜 에너지는 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 3 \text{ m} = 30 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. $3 \sim 6 \text{ m}$ 까지 물체가 계속 올라가므로 전동기가 한 일은 0보다 크다. 따라서 A, B의 역학적 에너지의 합은 증가한다.

문제 속 자료 도르레로 연결된 물체의 운동



- 전동기가 작용한 힘 F 가 한 일만큼 물체 A, B의 역학적 에너지가 증가한다. $\Rightarrow F \times s = A$ 의 운동 에너지 증가량 + B의 운동 에너지 증가량 + B의 퍼텐셜 에너지 증가량
- 두 물체에 작용하는 알짜힘
= A를 잡아당기는 힘 F - B에 작용하는 중력
= (A의 질량 + B의 질량) \times 가속도

- 16** 각 점에서 운동 에너지는 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같다. A에서 운동 에너지는 0이고, B에서는 높이가 1 m 줄어든 만큼 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환된다. 즉, 운동 에너지는 $mg \times (3 - 2) \text{ m}$ 이다. C에서는 위치가 1 m 더 낮아졌으므로, 운동 에너지는 $mg \times (3 - 1) \text{ m}$ 이다. 즉, C에서 운동 에너지는 $2mg$ 이고, 이것은 B의 2배이다.

- 17** B점에서 물체의 운동 에너지는 최고점에서의 퍼텐셜 에너지와 같다. 물체에 30 N 의 힘을 주어 2 m 이동시켰으므로 한 일 $W = 30 \text{ N} \times 2 \text{ m} = 60 \text{ J}$ 이고, 이것은 B점에서 물체의 운동 에너지와 같다. 따라서 높이 h 에서의 퍼텐셜 에너지는 $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times h = 60 \text{ J}$, 따라서 h 는 2 m 이다.

- 18** ㄴ. 역학적 에너지가 일정하게 보존되므로 감소한 퍼텐셜 에너지는 증가한 운동 에너지와 같다. 따라서 A에서 C까지 감소한 퍼텐셜 에너지는 C에서의 운동 에너지와 같다.

오답 피하기

ㄱ. 공기 저항과 마찰이 없으므로 역학적 에너지가 보존된다.

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

- 19** 운동량 보존 법칙에서 $m_A v_A = m_B v_B$ 이다. $m_A : m_B = 1 : 2$ 이므로 $v_A : v_B = 2 : 1$ 이다.

[모범 답안] (1) $2 : 1$ (2) A의 질량을 m 이라 하면 B는 $2m$ 이고, A의 속력을 $2v$ 라 하면 B의 속력은 v 이다.

A와 B의 운동 에너지 비는 $m \times (2v)^2 : (2m) \times v^2 = 2 : 1$ 이며, 이것은 중력 퍼텐셜 에너지의 비와 같다.

즉, $mgh_A : (2m)gh_B = 2 : 1$ 이며, $h_A = 4h_B$ 이므로 $h_A : h_B = 4 : 1$ 이다.

20 [모범 답안] (1) 역학적 에너지는 최고점에서 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $mgh = 80 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} \times 20 \text{ m} = 16000 \text{ J}$ 이다. 수면에 닿기 직전에는 처음 역학적 에너지가 모두 운동 에너지로 변하므로 $16000 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 80 \text{ kg} \times v^2$ 에서 수면에 닿기 직전의 속력 $v = 20 \text{ m/s}$ 이다.

(2) 구하려는 지점의 높이를 h_1 이라 하면 h_1 에서 중력 퍼텐셜 에너지는 mgh_1 , 운동 에너지는 $3mgh_1$ 이고, 역학적 에너지는 $4mgh_1$ 이 된다. 역학적 에너지 보존 법칙에서 h_1 에서의 역학적 에너지는 최고점에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로, $4mgh_1 = m \times g \times 20 \text{ m}$, $h_1 = 5 \text{ m}$ 이다.

02 | 내부 에너지와 열역학 제1법칙

기초 탄탄 문제

p. 75

01 ① 02 ④ 03 ② 04 ③ 05 ③ 06 ③
07 ②

01 이상 기체는 분자의 크기가 매우 작고 분자 사이의 인력을 무시할 수 있는 이상적인 기체를 말한다. 분자 사이의 인력을 무시하므로 퍼텐셜 에너지는 0이고 운동 에너지만 가진다. 단열 팽창하면 기체의 온도는 내려가고, 등적 과정일 때는 온도가 증가해도 외부에 일을 하지 않는다.

02 기체는 압력이 일정한 상태에서 부피가 증가했으므로 등압 과정(열 흡수)으로 변화했다. 등압 과정에서 기체는 열을 흡수하여 온도가 상승하고 부피가 늘어난다.

03 기체가 외부에 한 일은 '압력 \times 부피 변화량'이며,
부피 변화량 = $\frac{\text{한 일}}{\text{압력}} = \frac{2 \times 10^3 \text{ J}}{10^5 \text{ N/m}^2} = 0.02 \text{ m}^3$ 이다.

04 기체가 외부에 한 일은 압력과 부피 변화량의 곱으로 구할 수 있다. $W = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0.05 \text{ m}^3 = 10^4 \text{ J}$

05 기체의 내부 에너지는 온도에만 영향을 받는다. 따라서 온도가 일정하면 내부 에너지도 변하지 않는다.

06 등온 과정은 온도 변화가 없으므로 내부 에너지 변화량은 0이다($Q = 0 + W$). 기체를 압축했으므로 기체는 일을 받았고($W < 0$), 따라서 $Q < 0$ 이므로 열을 방출하였다. 즉, 기체는 열 방출, 압력 증가, 부피 감소하였고, 온도가 일정하므로 내부 에너지나 기체 분자의 평균 속력은 변하지 않았다.

07 공기가 상승하면 공기에 작용하는 외부의 압력이 줄어들므로 공기의 부피가 늘어난다. 이 과정은 빠르게 일어나 외부와 열 출입이 없다. 즉, 공기가 단열 팽창하며 부피가 증가하므로 외부에 일을 하고, 내부 에너지는 감소하고 온도가 내려간다.

내신 만점 문제

p. 76~79

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

19~20 해설 참조



01 온도가 낮을수록 분자 운동이 둔해지며, 열은 항상 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다.

02 열은 온도가 높은 B에서 온도가 낮은 A로 이동하여 열평형 상태에 도달한다. 열평형 상태에서 A, B의 온도는 같고, 같은 종류의 물질이므로 분자의 평균 운동 에너지도 같다.

03 부피가 증가하는 $A \rightarrow B$ 에서 기체는 외부로 일을 하고, 부피가 감소하는 $C \rightarrow D$ 에서는 외부에서 일을 받는다. 이와 같은 순환 과정에서 기체가 한 일은 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이이며, 2회 순환하였으므로 2배가 된다. 따라서 기체가 외부로 한 일은 $2 \times (400 - 200) \text{ N/m}^2 \times 2 \text{ m}^3 = 800 \text{ J}$ 이다.

04 기체가 한 일 $W = P\Delta V = 10^5 \text{ N/m}^2 \times (2 \times 10^{-3}) \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m} = 40 \text{ J}$ 이다. 그리고 가한 열은 한 일과 내부 에너지 증가량의 합과 같다. 즉, $450 \text{ J} = 40 \text{ J} + \text{내부 에너지 증가량}$, 따라서 내부 에너지는 410 J 증가하였다.

05 ㄱ, ㄴ. 열은 온도가 높은 풍선 속 기체에서 온도가 낮은 액체 질소로 이동하며, 풍선 속 기체는 부피가 감소하고 온도가 내려갔다. 따라서 내부 에너지도 감소하였다.

오답 피하기

ㄷ. 풍선의 부피가 줄어들었으므로, 풍선 속의 기체는 외부에서 일을 받았다.

06 ㄷ. 열역학 제1법칙은 열이 일과 내부 에너지로 전환되어 보존된다는 것을 나타낸다.

오답 피하기

ㄱ. 등온 과정일 때는 기체에 열을 가해도 온도가 변하지 않으므로 내부 에너지도 변하지 않는다.

ㄴ. 등적 과정에서는 열이 방출되어도 부피는 일정하다.

07 압력이 일정하므로 등압 과정이고, 부피가 증가했으므로 외부에 일을 하였다. 등압 과정에서는 기체가 열을 받아 온도가 올라간다. 그래프에서 색칠한 부분의 넓이는 기체가 한 일이고, $Q = \Delta U + W$, $W > 0$, $\Delta U > 0$ 이므로 기체가 흡수한 열은 기체가 한 일(색칠한 부분의 넓이)보다 크다.

08 ㄱ, ㄴ. 피스톤이 고정되어 있으므로 등적 과정이다. 등적 과정에서 기체가 열을 받으면 기체 분자의 운동 에너지가 증가하면서 내부 에너지가 증가, 온도가 상승하고, 압력이 높아진다.

오답 피하기

ㄴ. 등적 과정에서는 기체가 한 일이 0이므로 기체가 받은 열은 모두 내부 에너지 증가에 사용되었다.

09 ㄴ, ㄴ. 부피가 변하지 않았으므로 등적 과정이다. 부피 변화가 없으므로 기체는 외부에 일을 하지 않았고, 따라서 가해 준 열량이 모두 내부 에너지 증가에 사용되었다.

오답 피하기

ㄱ. 기체의 온도는 '압력 \times 부피'에 비례한다. 그래프에서 부피는 일정하지만 압력이 증가하였으므로 온도는 증가하였다.

10 (가)는 등적 과정, (나)는 등압 과정이다.

ㄴ. 온도는 $B > A$ 이므로 내부 에너지도 $B > A$ 이다.

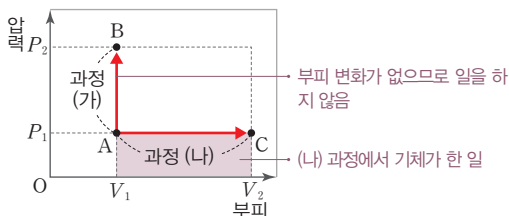
ㄴ. A에 비해 B는 압력이 증가하고, C는 부피가 증가하였다.

즉, B와 C는 모두 A에 비해 '압력 \times 부피' 값이 증가하였으므로 온도가 상승하였다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 부피 변화가 없으므로 외부에 일을 하지 않았다.

문제 속 자료 열역학 그래프 해석



- (가): 부피는 V_1 로 일정하고 압력은 $P_1 \rightarrow P_2$ 로 증가하였다. 따라서 (가)는 등적 과정이며, 온도가 상승하였으므로 열을 흡수하였다.
- (나): 부피는 $V_1 \rightarrow V_2$ 로 증가하였고 압력은 P_1 로 일정하다. 따라서 (나)는 등압 과정이며, 온도가 상승하였으므로 열을 흡수하였고, 부피가 증가하였으므로 외부에 일을 해 주었다.

11 ㄴ. 피스톤에 일정한 무게의 추가 놓인 상태에서 기체의 부피가 변하므로, 압력이 일정한 등압 과정이다. 등압 과정에서 열을 받으면 기체는 외부에 일을 하고 내부 에너지가 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 기체의 압력은 (가)와 (나)에서 같다.

ㄴ. $Q = \Delta U + W$ 이고, $\Delta U > 0$, $W > 0$ 이므로 가한 열은 내부 에너지 증가와 외부로 한 일에 사용되었다.

12 ㄱ. 늪새바람이 불 때 공기는 단열 과정을 거치게 된다. 공기가 산을 타고 올라갈 때는 단열 팽창하고, 산을 타고 내려올 때는 단열 압축한다. $A \rightarrow B$ 는 단열 팽창 과정으로, 부피가 팽창하면서 기체가 외부에 일을 한다.

오답 피하기

ㄴ. $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정은 단열 과정으로 외부와 열 출입 없이 부피 변화에 의해 기체의 온도가 변한다.

ㄴ. $B \rightarrow C$ 는 단열 압축 과정으로 기체는 외부에서 일을 받아 부피가 압축되고, 내부 에너지가 증가하여 온도가 높아진다.

13 단열 팽창은 열 출입이 없는 상태에서 기체의 부피가 팽창하면서 외부에 일을 하고, 이때 내부 에너지를 사용하므로 기체의 온도는 내려간다. 따라서 기체의 압력, 기체 분자의 평균 속력, 내부 에너지는 모두 감소하고, 기체의 부피는 증가한다.

14 ㄱ. 기체의 온도는 '압력 \times 부피'에 비례한다. $A \rightarrow B$ 에서 기체의 압력과 부피가 모두 증가하므로 기체의 온도 역시 높아진다.

ㄴ. 순환 과정에서 기체가 한 일은 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이다. 따라서 $W = \frac{1}{2} \times 3 \text{ m}^3 \times 30 \text{ N/m}^2 = 45 \text{ J}$ 이다.

오답 피하기

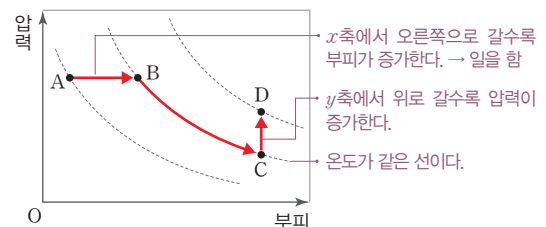
ㄴ. $C \rightarrow A$ 과정은 압력이 일정하므로 등압 과정이며, 열을 방출하여 부피가 줄어들고, 내부 에너지가 감소한다.

15 ㄱ. $A \rightarrow B$ 는 등압 과정이므로 기체가 열을 흡수하여 외부에 일을 하고 내부 에너지가 증가되었다.

ㄴ. $B \rightarrow C$ 는 등온 과정으로, 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변함 없고, 흡수한 열은 모두 외부로 한 일에 사용되었다.

ㄴ. $C \rightarrow D$ 는 등적 과정으로, 외부에 한 일이 0이므로 흡수한 열량은 모두 내부 에너지 증가에 사용되었다.

문제 속 자료 열역학 그래프 해석



- $A \rightarrow B$: 등압 과정. 열을 흡수하여 온도가 상승하고 내부 에너지가 증가하였으며, 외부에 일을 해 주었다. ($Q = \Delta U + W$)
- $B \rightarrow C$: 등온 과정. 외부에서 열을 흡수하였지만 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변하지 않았다. ($Q = W$, $\Delta U = 0$)
- $C \rightarrow D$: 등적 과정. 외부에서 열을 흡수하여 온도가 상승하였고, 내부 에너지가 증가하였다. 외부에 한 일이 0이다. ($Q = \Delta U$, $W = 0$)

16 ㄱ. $A \rightarrow B$ 는 등압 과정이고, 기체의 부피가 증가하였으므로 기체는 외부에 일을 하였다.

ㄴ. $B \rightarrow C$ 는 단열 팽창 과정으로, 내부 에너지를 사용하여 부피가 팽창한다. 따라서 기체의 내부 에너지는 감소한다.

오답 피하기

ㄷ. $C \rightarrow D$ 는 등온 과정으로, 기체의 온도는 변하지 않지만 외부와 열 출입은 있다. 즉, 기체는 외부로 열을 방출하고, 외부에서 일을 받아 부피가 줄어들었다.

17 ㄱ. 열을 흡수하면 분자 운동이 활발해지면서 압력이 증가한다. 이때 A가 B와 경계를 맞대고 있으므로 등압 과정이 아닌 것에 주의하자. 즉, A와 B는 피스톤을 사이에 두고 서로 밀고 있으므로 압력이 같으며, A는 B에 의해 등압으로 팽창하지 못하고 압력이 증가한다.

ㄴ. B는 단열 압축으로, 외부에서 일을 받아 부피가 압축되면서 내부 에너지가 증가하여 온도가 높아진다.

ㄷ. 기체가 한 일 $W = P\Delta V$ 이고 A, B는 압력과 부피 변화가 같으므로 'A가 한 일 = B가 받은 일'이다. B는 단열 과정으로 $\Delta U = -W$ 이므로, 기체 A가 기체 B에 한 일의 양은 기체 B의 내부 에너지 증가량과 같다.

18 ㄴ. (가)는 등압 과정으로, 열을 받으면 온도가 상승하므로 기체 A의 온도는 처음보다 높아지며, (나)에서는 (가)의 기체가 단열 압축되므로 온도가 (가)보다 더 높아진다. 따라서 (나)의 온도는 (가)보다 높다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 등압 과정이므로 압력이 일정하다.

ㄷ. 기체가 한 일 $W = P\Delta V$ 이다. (가)와 (나)에서 기체의 부피 변화는 같다. (가)는 등압 과정이므로 처음 상태와 압력이 같고, (나)는 단열 압축이므로 부피가 압축되면서 압력이 증가한다. 즉, 기체의 압력은 (나)가 (가)보다 크다. 따라서 (가)에서 기체가 한 일보다 (나)에서 기체가 받은 일의 양이 크다.

19 [모범 답안] (1) $B > A = C$. 내부 에너지는 온도에 비례하는데, 온도가 가장 높은 곳이 B, 온도가 가장 낮은 곳이 A와 C이기 때문이다.

(2) $B \rightarrow C$ 과정에서 외부로 한 일과 같다. 단열 과정이므로 내부 에너지 감소량은 외부로 한 일과 같다.

20 [모범 답안] (1) 기체가 한 일 $W = P\Delta V = 10^5 \text{ N/m}^2 \times 0.2 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}^2 = 2000 \text{ J}$ 이다. $Q = \Delta U + W$ 이므로 내부 에너지 증가량은 $6000 \text{ J} - 2000 \text{ J} = 4000 \text{ J}$ 이다.

(2) 등압 과정에서는 기체의 부피가 증가하면서 외부로 일을 하므로 가해 준 열량 중 외부로 한 일을 뺀 나머지가 내부 에너지

증가로 쓰여 온도를 상승시킨다. 그러나 등적 과정에서는 외부로 한 일이 0이므로 가한 열량이 모두 내부 에너지 증가로 사용되어 기체의 온도가 더 많이 증가한다.

03 | 열기관과 열역학 제2법칙

기초 단원 문제

p. 84

01 ⑤ 02 ③ 03 ③ 04 ① 05 ⑤ 06 ④

01 진자가 진공에서 운동할 때는 마찰이나 공기 저항이 없으므로 스스로 원래 상태로 돌아올 수 있는 가역 과정이다. 진자가 공기 중에서 운동할 때는 진자의 운동 에너지가 주변 공기에 전달되므로 진자가 운동하다가 멈추는 비가역 과정이다. 비가역 과정도 열역학 제1법칙을 만족한다.

02 열역학 제2법칙은 자발적으로 일어나는 비가역 현상에 방향성이 있음을 나타내는 법칙으로, 자연 현상은 질서 있는 배열 상태에서 무질서한 배열 상태 방향으로 일어난다.

03 열기관이 한 일은 '흡수한 열량 - 방출한 열량'이고, 열효율은 $\frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이다. 따라서 한 일은 $4Q - 3Q = Q$ 이고, 열효율 $e = \frac{Q}{4Q} = 0.25$ 이다.

04 열효율은 $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 이므로 A의 열효율은 $\frac{(200 - 160) \text{ J}}{200 \text{ J}} = 0.2$ 이고, B의 열효율은 $\frac{(250 - 125) \text{ J}}{250 \text{ J}} = 0.5$ 이다.

05 $A \rightarrow B$ 는 등적 과정(열 흡수), $B \rightarrow C$ 는 등온 과정(열 흡수), $C \rightarrow D$ 는 등적 과정(열 방출), $D \rightarrow A$ 는 등온 과정(열 방출)이다.

오답 피하기

⑤ 열기관은 한번 순환하여 다시 원래 상태가 되므로 온도가 처음과 같아지고, 따라서 내부 에너지도 변하지 않는다.

06 열효율 $e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로 Q_2 가 0이면 열효율은 1(100%)이 된다. 그러나 이것은 열역학 제2법칙에 어긋나므로 열효율이 1인 열기관은 존재하지 않는다.

오답 피하기

④ 카르노 기관은 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관이지만 Q_2 를 0으로 만들 수는 없다.

내신 만점 문제

p. 85~87

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

13~14 해설 참조



01 미지근한 물이 찬물과 더운물로 저절로 나뉘지 않는 것은 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다. 역학적 에너지가 보존되는 것은 에너지의 형태가 바뀌어도 그 양은 보존된다는 열역학 제1법칙으로 설명할 수 있다. 잉크가 물에 퍼지는 것은 비가역 과정의 방향성을 나타내는 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

02 열역학 제2법칙은 자연에서 일어나는 물질의 변화가 방향성을 가지고 일어난다는 것이다.

오답 피하기

ㄷ. 에너지가 전환될 때 모든 에너지의 총합이 보존된다는 것은 에너지 보존에 대한 열역학 제1법칙으로 설명할 수 있다.
ㄹ. 외부에서 에너지를 공급받지 않고 작동하는 장치를 만드는 것은 불가능한데, 이것은 에너지의 형태가 바뀌어도 보존된다는 열역학 제1법칙에 위배되기 때문이다.

03 기체 분자는 칸막이를 통해 양쪽 칸에 골고루 퍼지며, 아무리 시간이 지나도 한쪽으로 다시 모이지 않는다. 따라서 이것은 비가역 과정이며, 엔트로피가 증가하였다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. B가 진공 상태이므로 기체가 B로 팽창할 때 외부로 힘을 가하지 않았으며, 따라서 일을 하지 않았다. 또한 기체는 단열된 상태에서 운동하므로 외부와 열 출입이 없었다.
 $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = 0$, $W = 0$ 이므로 내부 에너지도 변하지 않는다. 한쪽 칸에 모여 있던 기체가 양쪽으로 퍼지므로 기체의 부피는 커지고 압력은 감소한다.

04 ㄱ. 잉크 방울은 저절로 물 전체로 퍼지지만 퍼진 잉크 방울이 한곳에 스스로 모이지 않으므로 비가역 과정이다.
ㄴ. 열역학 제2법칙은 비가역 과정에 방향성이 있음을 나타낸 것으로, 잉크 방울이 한곳에 모이지 않는 까닭을 설명한다.

오답 피하기

ㄷ. 잉크가 물에 퍼지면 비커 전체의 무질서도는 증가한다.
ㄹ. 잉크가 물에 퍼져 있을 확률은 잉크가 한곳에 모여 있을 확률에 비해 매우 높다.

05 열효율은 $\frac{W}{Q_1}$ 이므로 $0.25 = \frac{W}{2000 \text{ J}}$, $W = 0.25 \times 2000 \text{ J} = 500 \text{ J}$ 이다. '한 일 = 흡수한 열량 - 방출한 열량'이므로 방출되는 열량은 $2000 \text{ J} - 500 \text{ J} = 1500 \text{ J}$ 이다.

06 ㄱ. 이 열기관은 $10Q$ 의 열량을 흡수하여 $8Q$ 의 열량을 방출하므로 열효율 $e = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{8Q}{10Q} = 0.2$, 즉 20 %이다.
ㄴ. 열기관이 한 일은 '흡수한 열량 - 방출한 열량'이므로 $10Q - 8Q = 2Q$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 열효율이 2배인 열기관은 열효율이 0.4이므로 $10Q$ 의 열을 흡수하면 $4Q$ 의 일을 하고 저열원으로 $6Q$ 의 열을 방출한다.

07 ㄱ, ㄴ. 열기관이 한 일은 그래프로 둘러싸인 면적이다.
 $W = (2 \times 10^5) \text{ N/m}^2 \times (3 \times 10^{-3}) \text{ m}^3 = 600 \text{ J}$ 이고, 공급 받은 열량이 3000 J 이므로 열효율은 $\frac{W}{Q_1} = \frac{600 \text{ J}}{3000 \text{ J}} = 0.2$, 즉 20 %이다.

오답 피하기

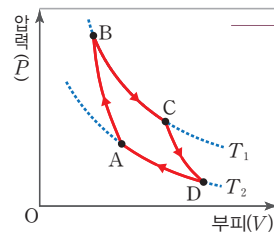
ㄷ. 기체는 순환 과정을 거쳐 처음 상태로 돌아왔다. 즉, 온도가 처음과 같은 상태이므로 내부 에너지는 변화 없다.

08 ㄱ. 카르노 기관에서 열기관은 $B \rightarrow C$ 과정에서 열을 흡수하고, $D \rightarrow A$ 과정에서 열을 방출한다.
ㄷ. 카르노 기관의 열효율 $e_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이므로 열효율을 높이려면 고열원의 온도 T_1 을 높이거나 저열원의 온도 T_2 를 낮추어야 한다.

오답 피하기

ㄴ. 그래프에서 ABCD로 둘러싸인 부분의 면적은 열기관이 한 번 순환할 때 열기관이 한 일이다.
ㄹ. 열기관은 순환 후 다시 처음 상태로 되돌아온다. 즉, 처음과 온도가 같으므로 열기관의 내부 에너지는 변하지 않는다.

문제 속 자료 카르노 기관의 압력-부피 그래프



• T_1 은 고열원의 온도, T_2 는 저열원의 온도이다.
• T_1 이 높아지거나 T_2 가 낮아지면 ABCD로 둘러싸인 부분의 면적이 커지므로 열기관이 한 일이 늘어나고 열효율이 높아진다.

- $B \rightarrow C$: 등온 과정. 외부에서 열을 흡수하였지만 내부 에너지는 변하지 않았다. 흡수한 열은 모두 외부로 한 일에 사용되었다.
- $C \rightarrow D$: 단열 팽창 과정. 외부와 열 출입 없이 부피가 팽창하여 온도가 내려간다. 부피가 팽창하므로 외부에 일을 하였으며, 온도가 내려갔으므로 내부 에너지는 감소하였다.
- $D \rightarrow A$: 등온 과정. 외부로 열을 방출하였지만 내부 에너지는 변하지 않았다. 기체는 외부에서 일을 받아 부피가 감소하였다.
- $A \rightarrow B$: 단열 압축 과정. 외부와 열 출입 없이 부피가 압축되어 온도가 올라간다. 부피가 줄어들었으므로 외부에서 일을 받았으며, 온도가 높아졌으므로 내부 에너지는 증가하였다.

09 실제 열기관의 열효율은 흡수한 열량과 방출한 열량으로 구한다. $e = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{700 \text{ J}}{1000 \text{ J}} = 0.3$ 이다.

이상적인 최대 열효율은 카르노 기관의 열효율 $1 - \frac{T_2}{T_1}$ 로 구한다. 따라서 $e_{\text{카}} = 1 - \frac{400 \text{ K}}{800 \text{ K}} = 0.5$ 이다.

10 나. 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관은 카르노 기관이다. 카르노 기관의 열효율은 고열원과 저열원의 절대 온도로 구할 수 있다. $e_{\text{카}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

오답 피하기

ㄱ. 공급된 열을 모두 일로 바꾸는 장치, 즉 열효율이 100 %인 열기관은 열역학 제2법칙에 위배되므로 존재할 수 없다.

ㄷ. 열기관이 한 일은 '고열원에서 흡수한 열량 - 저열원으로 방출한 열량'이다. 즉, 흡수한 열량이 방출한 열량보다 커야 열기관이 일을 할 수 있다.

11 나. 열량을 흡수하는 과정인 A→B의 온도가 고열원의 온도이고, 열량을 방출하는 과정인 C→D의 온도가 저열원의 온도이다. 카르노 기관의 열효율은 $1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{400 \text{ K}} = 0.25$ 이다. 그래프에서 점선은 등온선을 나타낸다.

오답 피하기

나. 열기관이 한 일은 그래프에서 ABCD로 둘러싸인 부분의 면적이며, 열기관이 A→B→C 과정에서 한 일에서 C→D→A 과정에서 받은 일을 뺀 값과 같다.

ㄷ. D→A는 단열 과정이므로 외부와 열 출입을 하지 않는다. 저열원으로 Q_2 를 방출하는 과정은 C→D이다.

12 카르노 기관에서 흡수한 열량은 I에서 흡수한 열량 a 이고, 방출한 열량은 III에서 방출한 열량 b 이다. 이때 표에서 $-b$ 로 되어 있는 것은 크기가 b 인 열량을 방출했다는 의미이다. 따라서 열효율 $e = \frac{a - b}{a}$ 이다.

13 [모범 답안] (1) 외부로 일을 하는 과정은 B→C이며, 이때 온도 변화가 없으므로 내부 에너지는 변하지 않는다.
(2) 열을 방출하는 과정은 C→D→A이다. C→D 과정에서는 부피 변화 없이 온도가 내려가므로(내부 에너지 감소), $Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U < 0$, $W = 0$ 이므로 $Q < 0$ 이 되어 기체가 외부로 열을 방출한 것이다. D→A 과정은 온도 변화 없이(내부 에너지 일정) 부피가 줄어들었으므로(외부에서 일을 받음), $Q = \Delta U + W$ 에서 $\Delta U = 0$, $W < 0$ 이므로 $Q < 0$ 이 되어 열이 외부로 빠져나갔다.

14 [모범 답안] (1) 열기관이 한 일은 $10 \text{ kJ} - 6 \text{ kJ} = 4 \text{ kJ}$ 이고 열효율은 $\frac{W}{Q_1} = \frac{4 \text{ kJ}}{10 \text{ kJ}} = 0.4$ 이다.

(2) 열역학 제2법칙에서 일은 모두 열로 바꿀 수 있지만, 열을 모두 일로 바꿀 수는 없다. 열효율이 1인 열기관은 받은 열량이 모두 일로 전환되어야 하는데, 이는 열역학 제2법칙에 위배되므로 열효율이 1인 열기관은 만들 수 없다.

단원 마무리하기

p. 90 ~ 93



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

01 나. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 힘이 한 일을 의미하므로 7 m 를 이동하는 동안 힘이 한 일은 $(8 \text{ N} \times 4 \text{ m}) + (6 \text{ N} \times 3 \text{ m}) = 50 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 힘이 한 일만큼 운동 에너지가 증가하므로

$$50 \text{ J} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2 \text{에서 } v = 10 \text{ m/s이다.}$$

오답 피하기

나. 일·운동 에너지 정리에서 알짜힘이 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량이고, 물체는 처음에 정지 상태이므로 처음 운동 에너지는 0이다. 따라서 7 m 를 이동한 후 물체의 운동 에너지는 50 J 이다.

02 4 m 에서의 속력을 v_1 이라 하면 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v_1^2 = 32 \text{ J}$ 에서 $v_1 = 8 \text{ m/s}$ 이므로 $v_1 : v_2 = 8 \text{ m/s} : 10 \text{ m/s} = 4 : 5$ 이다.

03 이 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 $20 \text{ N} - 10 \text{ N} = 10 \text{ N}$ 이므로, 가속도의 크기 $a = \frac{10 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이고, 알짜힘이 한 일은 $W = 10 \text{ N} \times 10 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다.

04 나. 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아래의 넓이는 한 일을 의미하므로 전동기가 물체를 당기는 힘이 한 일 $W = (120 \text{ N} \times 0.5 \text{ m}) + (100 \text{ N} \times 0.5 \text{ m}) = 110 \text{ J}$ 이다.

나. 0.5 m 높이까지 들어 올리는 동안 물체에 연직 위쪽으로 작용하는 힘이 120 N 이고, 중력이 100 N 이므로 알짜힘은 연직 위쪽으로 20 N 이다. 따라서 0.5 m 높이에서 물체의 운동 에너지는 $20 \text{ N} \times 0.5 \text{ m} = 10 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. 0.5 m 에서 1 m 까지 전동기가 물체를 당기는 힘은 중력과 평형을 이룬다. 따라서 물체는 등속 운동을 한다.

- 05 ㄱ. 전동기가 줄을 당기는 힘이 한 일은 $W = 12 \text{ N} \times 0.8 \text{ m} = 9.6 \text{ J}$ 이다.

ㄴ. 물체에 작용하는 중력이 연직 아래 방향으로 10 N 이므로 중력이 물체에 한 일의 크기는 $10 \text{ N} \times 0.8 \text{ m} = 8 \text{ J}$ 이다. 이때 중력이 한 일과 전동기가 한 일은 서로 반대 방향이다.

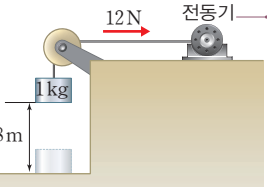
오답 피하기

ㄷ. 역학적 에너지 증가량은 줄이 물체를 당기는 힘이 한 일과 같으므로 물체의 역학적 에너지 증가량은 9.6 J 이다.

문제 속 자료 도르레로 연결된 물체의 운동

• 물체의 높이 증가 → 중력 퍼텐셜 에너지 증가

• 물체의 속력 증가 → 운동 에너지 증가



전동기 → 전동기가 당기는 힘과 중력은 서로 반대 방향으로 작용

• 알짜힘 = $12 \text{ N} - \text{중력} = 12 \text{ N} - 10 \text{ N} = 2 \text{ N}$

전동기가 한 일 = 물체의 역학적 에너지 증가량 = 9.6 J

중력 퍼텐셜 에너지 증가량 = $mgh = 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0.8 \text{ m} = 8 \text{ J}$

운동 에너지 증가량 = 알짜힘이 한 일 = $2 \text{ N} \times 0.8 \text{ m} = 1.6 \text{ J}$

- 06 ㄴ. A에서 B까지 물체의 위치(수직 높이)는 5 m 감소하였다. 따라서 A에서 B까지 물체에 작용하는 중력이 한 일 $W = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 100 \text{ J}$ 이다.

ㄷ. A에서 물체의 운동 에너지가 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (5 \text{ m/s})^2 = 25 \text{ J}$ 이고, 중력이 한 일만큼 운동 에너지가 증가하므로 B에서 물체의 운동 에너지는 125 J 이다.

오답 피하기

ㄱ. A에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $mgh = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m} = 120 \text{ J}$ 이고, 운동 에너지는 25 J 이다. 따라서 A에서는 운동 에너지가 중력 퍼텐셜 에너지보다 작다.

- 07 ㄱ. 수레는 빗면을 내려오는 동안 위치가 점점 낮아진다. 즉, 수레의 중력 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환된다.
- ㄷ. 수레의 처음 위치가 높을수록 수레의 중력 퍼텐셜 에너지는 커진다. 수레의 역학적 에너지가 보존되므로 아래로 내려왔을 때의 운동 에너지는 처음 위치의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다. 즉, 수레의 위치가 높을수록 바닥에 도달했을 때의 운동 에너지가 커지고, 수레는 수평면에 있는 나무 도막에 더 많은 일을 할 수 있으므로 나무 도막의 이동 거리 L 이 커진다.

오답 피하기

ㄴ. 수레가 빗면을 내려오는 동안에는 역학적 에너지가 보존된다. 그러나 수레가 나무 도막에 부딪히면, 수레의 역학적 에너지가 나무 도막을 미는 일을 하게 되므로 역학적 에너지는 일로 전환되어 보존되지 않는다.

- 08 역학적 에너지가 보존되므로 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지의 최댓값은 운동 에너지의 최댓값과 같다. 즉, $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$ 이므로 $\frac{1}{2} \times 200 \text{ N/m} \times (0.1)^2 = \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times v^2$, $v = 1 \text{ m/s}$ 이다.

- 09 마찰이 없는 곳에서 운동하는 물체의 역학적 에너지는 보존된다. 즉, P점에서 물체를 가만히 놓아 물체가 Q를 통과할 때 줄어든 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지로 전환된다.

Q에서의 운동 에너지는 $mg \times (h - \frac{1}{3}h) = \frac{2}{3}mgh$ 이다. R은 위치가 0이므로 P에서의 중력 퍼텐셜 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되었다. 즉 R에서 운동 에너지는 mgh 이다. 따라서 $E_Q : E_R = \frac{2}{3}mgh : mgh = 2 : 3$ 이다.

- 10 ㄱ. 기체의 내부 에너지는 기체의 절대 온도가 높을수록 크며 기체의 온도는 '압력 × 부피'에 비례한다. 따라서 기체의 온도는 $B > C > A > D$ 이다.

ㄴ. A→B는 압력이 일정한 등압 과정이며, 등압 과정에서 기체가 흡수한 열량은 기체의 내부 에너지 증가량과 기체가 외부로 한 일의 합이다.

오답 피하기

ㄷ. 기체가 한 번 순환할 때 한 일은 그래프 선으로 둘러싸인 부분의 면적으로, $(2P - P) \times (3V - V) = 2PV$ 이다.

- 11 열역학 제1법칙에서 $Q = \Delta U + W$ 이다. 이때 등적 과정은 부피 변화가 없으므로 $W = 0$ 이므로, $Q = \Delta U$ 이고, 등온 과정은 온도 변화가 없으므로 $\Delta U = 0$ 이므로 $Q = W$ 이다. 즉, 흡수한 열량이 같을 때 등온 과정은 흡수한 열량이 한 일과 같으며, 등적 과정은 흡수한 열량이 모두 내부 에너지 증가에 사용된다. 등압 과정은 흡수한 열량이 내부 에너지 증가와 외부로 일을 하는데 사용된다.

- 12 온도 차이가 같으면 내부 에너지의 변화량은 같다. 단열 팽창에서는 외부로 한 일이 내부 에너지의 감소량과 같다.

- 13 A는 등적 과정이고, B는 등압 과정이다.

ㄷ. 등적 과정은 부피 변화가 없으므로 기체가 한 일은 0이다. 따라서 흡수한 열량은 모두 내부 에너지 증가에 사용된다.

오답 피하기

ㄱ, ㄴ. B에서 흡수한 열량은 내부 에너지 증가와 외부로 한 일에 사용되고, A에서는 모두 내부 에너지 증가에 사용된다. 따라서 기체의 온도와 내부 에너지 증가량은 A가 B보다 높다.

14. 가. 뉴세바람이 불 때 공기는 $A \rightarrow B$ 에서 단열 팽창하고 $B \rightarrow C$ 에서 단열 압축한다. 따라서 $A \rightarrow B$ 에서 공기는 단열 팽창하여 부피가 증가하므로 외부로 일을 한다.

오답 피하기

나. $A \rightarrow B$ 에서 공기는 단열 팽창하므로 온도가 내려가 내부 에너지가 감소하고, $B \rightarrow C$ 에서는 단열 압축하므로 온도가 올라가고 내부 에너지는 증가한다. 이때 뉴세바람은 산을 넘어 오면서 고온 건조해지므로 산을 넘기 전보다 온도가 높다. 즉, 공기의 내부 에너지 크기는 $B < A < C$ 이다.

15. 다. 구슬이 든 상자를 흔들면 구슬은 양쪽 칸으로 흩어지지만, 흩어진 구슬이 한쪽 칸에 다시 모이는 일은 생기지 않는다. 이것은 열역학 제2법칙에 따라 자연 현상에 방향성이 있기 때문이다. 일은 모두 열로 바뀌지만 열은 모두 일로 바뀔 수 없는 것 역시 열역학 제2법칙의 다른 의미이다.

오답 피하기

가. 기체가 확산된 후 다시 모이는 것은 열역학 제2법칙에 어긋나므로 실제로 일어나지 않는다.
나. 역학적 에너지가 보존되는 것은 열역학 제1법칙으로 설명할 수 있다.

16. 나. 최대 열효율은 카르노 기관의 열효율이고, $e_{\text{카}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
 $= 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 로 구한다.

오답 피하기

가. 열효율은 항상 1(=100%)보다 작다.
다. 열기관이 한 일은 '고열원에서 흡수한 열량 - 저열원으로 방출한 열량'이다.

17. $Q_2 = 4W$ 이면 $Q_1 = W + Q_2$ 에서 $Q_1 = 5W$ 이다. 따라서 열효율 $e = \frac{W}{5W} = 0.2$ (20%)이다. 에너지의 형태를 바뀌어도 그 양이 보존된다는 에너지 보존 법칙은 언제나 성립한다.

18. 가. $Q_1 = W + Q_2$ 이므로 A에서 (가)는 $4Q - Q = 3Q$ 이고, B에서 (나)는 $6Q - 3Q = 3Q$ 이다.
다. A의 열효율이 0.25, B가 0.5이므로 A, B가 1의 열을 흡수하면 각각 0.75와 0.5의 열을 방출한다. 즉, Q_1 이 같을 때 Q_2 는 A가 B의 1.5배이다.

오답 피하기

나. A의 열효율은 $\frac{Q}{4Q} = 0.25$ 이고, B의 열효율은 $\frac{3Q}{6Q} = 0.5$ 이므로, B의 열효율은 A의 2배이다.

3. 특수 상대성 이론

01 | 특수 상대성 이론



기초 단단 문제

p. 100

01 ① 02 ④ 03 ① 04 ④ 05 ④ 06 ②

01. 배 A와 B가 같은 방향으로 이동하고 있으므로 A가 본 B의 상대 속도는 속도의 크기의 차이이다. 따라서 $v_{AB} = v_B - v_A = 8 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s} = 3 \text{ m/s}$ 이다.

02. 마이컬슨·몰리 실험은 빛을 전달해 주는 물질인 에테르의 존재를 확인하기 위한 실험으로, 실험 결과 에테르는 없으며 빛의 속력은 항상 일정하다는 것을 알게 되었다.

①, ② 주변에서 나타나는 소리, 물결과, 탄성파와 같은 파동은 매질을 통해서 전달된다. 맥스웰이 빛이 전자기파라는 사실을 발견한 후, 과학자들은 빛도 매질이 필요할 것이라 생각하고, 이 가상의 매질을 에테르라고 불렀다.

⑤ 빛의 속력이 어느 방향으로 측정하여도 같았기 때문에 에테르는 존재하지 않는다고 결론 내렸다.

오답 피하기

④ 아인슈타인은 이 실험에 대한 해석으로 빛의 속력은 관찰자의 운동에 관계없이 일정하다고 가정하여 특수 상대성 이론을 전개하였다.

03. ② 상대성 원리: 특수 상대성 이론에서는 동일한 운동을 어떤 관성 좌표계에서 관찰하여도 물리 법칙은 동일하게 성립한다고 가정하였다.

③, ⑤ 광속 불변의 원리: 진공에서 빛의 속력은 모든 관성계에서 같다고 가정하였다.

④ 한 관성 좌표계에 대해 일정한 속력으로 움직이는 좌표계는 모두 관성 좌표계이다. 상대성 원리에서 관성 좌표계를 전제하에 가설을 정하였다.

오답 피하기

① 시간 지연은 특수 상대성 이론의 결과로 해석된 것이다. 상대적으로 빠르게 운동하는 관성 좌표계에서 다른 관성 좌표계의 운동을 관찰하면 상대방의 시간이 느리게 흐르는 것으로 관찰된다.

04. 고유 시간은 관찰자와 사건이 발생하는 좌표 사이의 거리가 변하지 않을 때, 같은 위치에서 발생한 두 사건 사이의 간격이다.

① 고유 시간은 관찰자와 사건이 일어나는 장소 사이의 거리가 일정하게 유지될 때, 관찰자는 두 사건이 같은 위치에서 일어난 것으로 보게 된다.

② 고유 시간은 한 장소에서 발생한 두 사건 사이의 시간 간격이다.

③ 특수 상대성 이론의 시간 지연 현상 때문에 등속도 운동하는 관성 좌표계에서의 시계는 정지한 관성 좌표계에서의 시간보다 느리게 흐른다.

⑤ 입자와 함께 움직이는 좌표계에서 측정한 시간이 고유 시간이다.

오답 피하기

④ 정지한 관찰자가 측정한 시간은 두 사건이 서로 다른 위치에서 발생할 수 있으므로 고유 시간이 아니다.

05 ① 한 관찰자에게 동시에 발생한 두 사건은 상대적으로 등속도 운동하는 관찰자에게는 동시에 발생한 사건으로 보이지 않는다. 이것을 동시성의 상대성이라고 한다.

② 정지한 행성에서 빠르게 날아가는 시계를 보면 시간이 자신의 시계보다 느리게 흐른다. 이것을 시간 지연이라고 한다.

③ 우주선을 타고 빠르게 날아가면서 우주선 밖의 길이를 재면 날아가는 방향의 길이는 짧아지고 수직 방향의 길이는 고유 길이로 그대로 측정된다.

⑤ 뮤온이 지표면에서 발견될 수 있는 것은 시간 지연과 길이 수축에 의한 것으로, 특수 상대성 이론의 증거가 된다.

오답 피하기

④ 빛의 속력은 빛을 발사하는 발사체의 속력이나 관찰자에 관계없이 항상 일정하다.

06 지상의 관찰자가 보면 시간 지연이 일어나 뮤온의 수명이 고유 수명(2.2×10^{-6} s)보다 길어지기 때문에 뮤온이 지상에 도달한다.

오답 피하기

① 공기와 충돌은 뮤온의 수명과 관련이 없다.

③ 지상의 관찰자가 보면 뮤온의 이동 거리는 고유 길이를 이동한다.

④ 지구의 중력은 뮤온의 수명 연장에 영향을 줄 정도로 크지 않다.

⑤ 공기의 밀도는 뮤온의 이동 거리에 영향을 주지 않는다. 오히려 밀도가 크면 조금이라도 뮤온의 이동 거리가 짧아질 것이다.

01 아인슈타인은 특수 상대성 이론에서 모든 관성 좌표계에서는 물리 법칙이 동일하게 성립한다고 가정하였다.(상대성 원리)
보기 중 관성 좌표계는 힘이 작용하지 않을 때 물체가 계속 정지해 있거나 등속 직선 운동을 하는 좌표계를 나타낸 γ , Δ 이다.

오답 피하기

Δ . 비관성 좌표계(가속 좌표계)는 속도가 변하는 좌표계이다. 등속 원운동하는 우주선은 속력이 일정하여도 속도의 방향이时时각각 바뀌기 때문에 속도가 변한다.

02 γ . 우주에 에테르가 가득 차 있다고 가정하고 빛은 에테르를 통해 전파한다고 생각하여 실험하였다.

Δ . 지구가 빠르게 공전과 자전을 하므로 에테르는 정지해 있어도 지구에 설치한 실험 장치에서 볼 때는 에테르는 상대적으로 빠른 속력으로 흐른다.

Δ . 에테르가 있다면, 에테르의 흐름과 나란한 방향으로 왕복한 빛의 왕복 시간이 에테르의 흐름과 수직인 방향보다 더 클 것으로 가정하였다.

문제 속 자료 마이컬슨·몰리 실험

- 지구는 약 30 km/s의 속력으로 공전하고 있다.
- 지구에서 볼 때 에테르가 한쪽 방향으로 흐르고 있다.
- 빛의 진행 방향이 변하면 빛의 속력이 달라질 것이다.

[실험 과정]

- 광원에서 빛을 쏘면, 반거울에 의해 빛이 수직으로 나뉘어 진행한 후 반거울로부터 같은 거리에 있는 두 거울에서 반사되어 다시 반거울을 통해 빛 검출기에 도달한다.

[실험 결과]

- 회전 원판을 회전시켜 빛의 진행 방향이 달라져도 빛의 속력은 모든 방향에서 같다.

[결론]

- 빛이 검출기에 도달하는 시간이 같으므로 빛의 속력은 일정하다.
- 에테르는 존재하지 않으므로 빛은 매질없이 전파될 수 있다.

03 Δ . 실험 결과로 빛의 속력은 방향에 관계없이 일정하다는 사실을 알아내었다.

오답 피하기

γ . 빛은 파동의 일종이라는 것은 이 실험 이전에도 알고 있었던 사실이다. 이 실험으로 빛은 매질이 필요없는 파동이라는 것을 알게 되었다.

Δ . 우주에 에테르가 퍼져 있을 것으로 예상하고 실험하였으나 결론은 에테르가 없다는 것이었다.

04 γ . 행성에서 볼 때 레이저 빛의 속력은 광속 불변의 원리에 의해 항상 c 이다.

Δ . 우주선에서 볼 때 행성의 상대 속도를 구하면 $0.01c - 0.9c = 0.89c$ 이다. 따라서 행성은 우주선을 향해 $0.89c$ 의 속력으로 다가온다.

내신 만점 문제

p. 101~103

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



오답 피하기

ㄴ. 우주선에서 볼 때 레이저의 속력은 $0.1c$ 가 아니라 항상 c 이다(광속 불변 원리).

05 ㄱ. 광속 불변 원리에 의해 영희에게 빨간 빛과 파란 빛의 속력은 같다.

ㄴ. 빛의 속력이 같아도, 영희가 탄 우주선이 빨간 빛 쪽으로 이동하고 있으므로 빨간 빛을 먼저 보게 된다.

오답 피하기

ㄷ. 철수에게 동시에 일어난 사건이지만, 운동하고 있는 영희에게는 빨간 빛이 먼저 도착하고 파란 빛은 나중에 도착하는 것으로 관찰된다. 즉, 동시에 일어난 사건이어도 다른 관성계에서는 동시에 일어나는 사건이 아닐 수 있다.

06 ㄴ. 광속 불변 원리에 따라 우주선에서 볼 때 A, B에서 발생한 빛의 속력은 같다.

ㄷ. 우주선에 오른쪽으로 날아가고 있었으므로 지구에서 볼 때, 빛은 A에서 먼저 발생하여야 우주선에서는 동시에 발생한 것으로 관찰된다.

오답 피하기

ㄱ. 우주선이 오른쪽으로 날아가고 있으므로, A에서 발생한 빛이 우주선까지 진행한 시간이 더 길다.

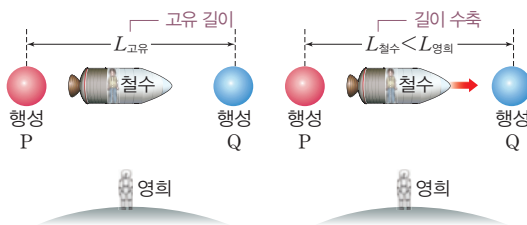
07 상대 속도의 차이가 클수록 상대방의 시간이 느리게 흐른다.

오답 피하기

ㄷ. 철수를 기준으로 하면 행성 P, Q가 철수에 대해 빠르게 운동하므로, P와 Q 사이의 거리는 길이 수축이 일어난다. 따라서 P와 Q 사이의 거리는 철수의 측정값이 영희의 측정값보다 작다.

문제 속 자료 시간 지연과 길이 수축

- 시간 지연: 영희는 자신이 정지해 있고 철수가 행성 Q로 운동하고 있는 것으로 관측하지만, 철수는 자신이 정지해 있고 영희가 행성 P로 운동하고 있는 것으로 관측한다. 따라서 상대방이 서로 자신에 대해 상대 운동을 하고 있으므로 상대방의 시간이 지연된다.
- 길이 수축: 영희가 정지해 있는 행성 P, Q 사이의 거리를 측정한 값이 고유 길이가 된다. 철수가 빠른 속도로 운동하고 있기 때문에 철수가 측정한 거리는 수축된다.



08 ㄱ. O점에 정지한 관찰자가 본 자의 길이는 운동하는 방향과 x 축 방향으로 나란하게 길이 수축되어 보인다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ O점에 정지한 관찰자가 본 y, z 축 방향의 자의 길이는 운동 방향과 수직이므로 길이 수축이 일어나지 않는다.

ㄹ. 우주선에 타고 있는 관찰자가 본 x 축 방향의 자의 길이는 상대 속도가 0이므로 고유 길이로 측정된다.

09 ㄱ. 우주선 B의 속력이 더 빠르므로 길이 수축 정도가 더 크다. 그럼에도 불구하고 A, B의 길이가 같다는 것은 실제로는 B의 고유 길이가 더 길다는 것이다. 즉, $L_A < L_B$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. B에서 본 빛의 속력과 C에서 본 빛의 속력은 같다.

ㄷ. 우주선 B의 속력이 더 빠르기 때문에 B에게는 우주선 A는 왼쪽으로 $0.6c$ 의 속력으로 날아가는 것과 같다. 또한, 우주선 A와 함께 a, b도 같이 왼쪽으로 이동하고 있고 빛이 양쪽에 동시에 도달한 것으로 B는 관측하였다. 따라서 광원에서 a까지의 거리가 광원에서 b까지의 거리보다 멀어야 광원에서 발사된 빛이 동시에 도착하게 된다.

10 정지한 관찰자에게는 뮤온의 시간(수명)이 지연되고, 뮤온과 함께 움직이는 좌표계에서는 길이가 수축된다. 특수 상대성 이론에서는 두 관찰자가 모두 뮤온이 지상에 도달할 수 있는 것으로 설명한다.

ㄷ. 뮤온과 함께 움직이는 좌표계에서 볼 때 지표면까지의 거리가 줄어들기 때문에 뮤온의 고유 수명(2.2×10^{-6} s)으로 지상까지 진행할 수 있는 것이다.

오답 피하기

ㄱ. 특수 상대성 이론에서는 지상의 관찰자가 볼 때 뮤온의 수명이 2.2×10^{-6} s보다 늘어나기 때문에(시간 지연) 뮤온이 실제 거리 $660 \text{ m} (= 2.2 \times 10^{-6} \text{ s} \times 3 \times 10^8 \text{ m/s})$ 보다 긴 거리를 이동할 수 있다.

ㄴ. 뮤온과 함께 움직이는 좌표계에서 볼 때 뮤온의 수명은 고유 수명이지만, 상공에서 지표면까지의 길이 수축 때문에 지표면에 도달할 수 있다.

11 (1) 우주선 안의 관찰자가 본 시간(고유 시간)은 실제 왕복 시간인 t_0 과 같다. 그런데 우주선 밖의 정지한 관찰자가 볼 때는 빛이 우주선의 운동에 따라 대각선으로 움직이므로 $t_2 > t_1$ 이다.

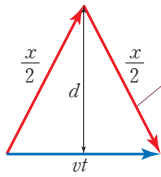
[모범 답안] $t_1 = t_0, t_2 > t_1$

(2) 우주선 안에서는 빛이 위아래로 d 의 길이로 이동하지만, 우주선 밖의 정지한 관찰자가 볼 때는 빛이 대각선으로 이동하고 있는 것으로 보인다.

[모범 답안] 대각선으로 이동한다.

문제 속 자료

우주선 밖에서 정지한 관찰자가 본 빛의 이동 거리



우주선 밖에서는 빛이 대각선 형태(빨간색 직선 경로)로 이동한다.

아래쪽 거울이 vt 만큼 이동하고 빛이 대각선으로 x 만큼 이동한다고 할 때 피타고라스의 정리에 의해 다음 식이 성립한다.

$$\left(\frac{x}{2}\right)^2 = d^2 + \left(\frac{vt}{2}\right)^2, x = \sqrt{(2d)^2 + (vt)^2} \text{이다.}$$

즉, 우주선 밖에서 빛을 관찰할 때 빛이 이동하는 거리는 우주선 안의 철수가 관측한 것보다 길어진다.

12 [모범 답안] (1) $L > L_{\text{영희}}$ (거리 수축), 빠른 속도로 움직이는 영희에게 길이 수축이 일어난다.

(2) $t_2 < t_1$, 영희가 보는 거리가 철수가 보는 고유 거리 L 보다 수축되었으므로 영희는 t_1 보다 빨리 지구에서 행성 A까지 이동할 수 있다.

02 | 질량-에너지 등가성



탐구 대표 문제

p. 107

01 ⑤ **02** 해설 참조

01 핵반응 후 핵반응 전보다 줄어든 질량은 0.0186 u 이며, 이것은 에너지로 환산하면 $0.0186 \times 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J} = 17.3 \text{ MeV}$ 이다. 이때 줄어든 질량은 에너지로 변환된다.

④ 반응 전과 후에는 전체 질량이 감소하고(질량 결손) 질량수는 보존된다. 즉, 반응 전후 원자핵의 양성자수와 중성자수 합은 일정하다.

오답 피하기

⑤ 무거운 원자핵이 두개의 가벼운 원자핵으로 분열되는 핵분열 반응이다.

02 핵반응 과정에서 반응 후 질량의 합은 반응 전 질량의 합보다 줄어든다. 이때 발생한 질량 결손은 에너지로 전환된다.

기초 탐구 문제

p. 108

01 ⑤ **02** ② **03** ① **04** ② **05** ④ **06** ④

01 1 g의 질량 결손에 의해 방출되는 에너지는 다음과 같다.

$$\Delta E = \Delta mc^2 = (1 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \times 10^{13} \text{ J}$$

02 반응 전후의 양성자수와 질량수가 각각 같아야 한다.

X의 양성자수 = $9 - 8 = 1$, X의 질량수 = $18 - 17 = 1$ 이므로 ${}^1_1\text{X}$ 는 양성자이다.

03 2개의 중수소 원자핵의 질량은 $2 \times 2.0141 \text{ u}$, 1개의 헬륨 원자핵의 질량은 4.0026 u 이다. 따라서 총 질량의 차이는 $2 \times 2.0141 \text{ u} - 4.0026 \text{ u} = 0.0256 \text{ u}$ 이다.

04 $2.6 \times 10^{-4} \text{ kg}$ 의 질량 결손에 의해 방출되는 에너지는

$$\Delta E = \Delta mc^2 = (2.6 \times 10^{-4} \text{ kg}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 2.34 \times 10^{13} \text{ J} \text{이다.}$$

05 핵반응을 할 때에는 핵을 이루는 입자들의 수와 질량을 포함한 총 에너지는 보존된다. 총 질량이 감소하고 이때의 질량 결손이 열에너지 등으로 변환한다.

06 원자력 발전소에서는 우라늄의 핵분열로 발생하는 에너지를 이용한다. 헬륨이 생기는 핵반응은 태양에서 수소 핵융합 과정의 일부이다. 태양에서 일어나는 수소들의 핵융합 과정에서 불안정한 헬륨 ${}^3_2\text{He}$ 보다 안정한 ${}^4_2\text{He}$ 로 변하면서 에너지를 방출한다.

오답 피하기

① 반응 전후의 양성자수는 각각 4로 같다.

② 반응 전후의 질량수는 각각 6으로 같다.

③ ${}^4_2\text{He}$ 이 ${}^3_2\text{He}$ 보다 중성자수가 많아서 안정된 원소이다. 양성자수가 같을 때는 중성자수가 많을수록 더 안정된 원소이다.

⑤ 핵반응에서 질량 결손에 의해 에너지가 발생한다.

내신 만점 문제

p. 109~111

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

12~13 해설 참조



- 01 ㄱ. 특수 상대성 이론에서 속력이 증가하면 질량도 증가하므로 더 이상 물질 고유의 양이라고 할 수 없다.

오답 피하기

ㄴ. 속력이 0일 때 물체의 질량이 가장 작고, 속력이 증가할수록 질량이 증가한다.
 ㄷ. 물체의 속력이 빛의 속력에 도달하면 질량은 거의 무한대에 가까워진다.

- 02 질량은 속력에 정비례하지 않는다. 물체의 속력이 빛의 속력에 가까워지면 질량은 매우 크게 증가한다.

ㄴ. 속력이 증가하면 질량도 증가하며, 속력이 광속에 가까워질수록 질량 증가가 급격히 일어난다.
 ㄷ. 속력이 빛의 속력에 가까울수록 질량 증가율이 더 크다.

오답 피하기

ㄱ. 속력이 작을 때는 질량의 증가량은 작지만 조금씩 증가한다.

- 03 ㄱ. 빛이 전자와 양전자로 변하는 현상은 에너지가 질량으로 변하는 쌍생성이다.

ㄴ. 원자력 발전소에서 사용하는 핵에너지는 우라늄의 질량이 줄어들면서 에너지가 발생하는 것이다.
 ㄷ. 수소와 수소가 반응하여 헬륨이 될 때는 핵의 질량이 줄어 들고 핵융합 에너지가 발생한다.

오답 피하기

ㄷ. 탄소의 연소는 양성자 또는 중성자의 변화가 일어나는 것이 아니라 원소들이 모인 분자들이 결합하여 일어나는 변화이다. 이때 질량은 보존되며 분자들의 결합에 의한 에너지의 차이가 열에너지로 발생하는 것이다.

- 04 필요한 우라늄의 질량을 m 이라고 하면, $\frac{0.2m}{1000} = \frac{m}{5000}$ 의 질량 결손이 생기고 이 때 생기는 열에너지는

$$\Delta E = \Delta mc^2 = \frac{m}{5000} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9 \times 10^4 \text{ kJ이다.}$$

$$\text{따라서 } m = \frac{9 \times 10^7 \times 5000}{9 \times 10^{16}} = 5 \times 10^{-6} \text{ (kg)이다.}$$

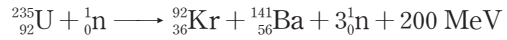
- 05 ㄱ. 반응 후 질량 결손은 $(4.033 \text{ u} - 4.0026 \text{ u}) = 0.0304 \text{ u}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 반응 전후에 총 질량은 감소하였으나 질량수는 보존된다.
 $2^1_1\text{p} + 2^1_0\text{n} \longrightarrow ^4_2\text{He}$
 ㄷ. 발생한 에너지 $\Delta E = \Delta mc^2$ 으로 '반응 후 줄어든 질량 \times (광속) 2 '이다.

- 06 원자로에서 우라늄 ($^{235}_{92}\text{U}$)이 핵분열하는 과정이다. 우라늄 ($^{235}_{92}\text{U}$)에 중성자(^1_0n)가 충돌하여 크립톤($^{92}_{36}\text{Kr}$)과 바륨($^{141}_{56}\text{Ba}$)

으로 분열하여 200 MeV의 에너지가 발생한다.



ㄱ. 큰 원자핵인 우라늄이 작은 원자핵인 크립톤과 바륨으로 분열하였다.

ㄷ. 우라늄 핵분열의 연쇄 반응에서 발생하는 고속 중성자를 감속재를 사용하여 속도를 늦춰 저속 중성자로 바꿔준다.

오답 피하기

ㄴ. 핵분열 과정에서 질량이 결손되었다. 결손된 질량은 에너지로 방출하였다.

- 07 ㄴ. 충돌로 핵이 분열하면서 질량이 줄어든다.

오답 피하기

ㄱ. $^7_3\text{Li} + () = ^4_2\text{He}$ 에서 () 안은 ^1_1p (또는 ^1_1H)이어야 한다. 리튬 ^7_3Li 에 충돌시킨 입자는 양성자이다.

ㄷ. 충돌에 의해 17.3 MeV의 운동 에너지가 증가하였다.

문제 속 자료

핵반응식 계산하기

$^7_3\text{Li} + (X) = ^4_2\text{He}$ 에서 핵반응 전후에 전하량과 질량수는 보존된다. 먼저 질량수를 구하면, 헬륨(^4_2He)의 총 질량수는 8, 리튬(^7_3Li)은 7이므로, $8 + () = 7$ 에서 구하고자 하는 X의 질량수는 1이다. 원자 번호는 양성자수를 나타내므로 같은 방법으로 구하면, $4 - 3 = 1$ 이 된다. X는 양성자(^1_1p 또는 ^1_1H)임을 알 수 있다.

- 08 ㄴ. 핵반응 전에 양성자수는 2, 중성자수도 2이며, 핵반응 후에도 양성자수는 2, 중성자수도 2이다.

ㄷ. 핵반응 전과 후에 양성자수와 중성자수는 같지만 질량은 감소하고, 감소한 질량을 에너지로 환산하면 반응 전후의 총 에너지는 보존된다. 즉, 질량을 포함한 총 에너지는 보존된다.

오답 피하기

ㄱ. 핵반응 전과 후에는 질량수가 2로 같다. 그러나 핵의 결합 에너지가 다르므로 질량은 다르다.

문제 속 자료

핵반응 전후의 보존 관계

① 질량 결손

입자	질량(u)
양성자	1.0078
중성자	1.0087
헬륨 원자핵	4.0026

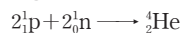
핵반응 전후에 질량수, 전하량은 보존되지만, 질량은 감소한다.

• 반응 전 총 질량: $1.0078 \times 2 + 1.0087 \times 2 = 4.033 \text{ (u)}$

• 반응 후 총 질량: 4.0026 (u)

→ 반응 전에 비해 반응 후의 총 질량이 $4.033 - 4.0026 = 0.0304 \text{ (u)}$ 만큼 결손이 생겼다. 질량 결손에 의한 에너지는 $E = 0.0304 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 4.54 \times 10^{-12} \text{ J}$ 가 된다.

② 질량수 보존



• 핵반응 전 질량수: $2 \times 1 + 2 \times 1 = 4$, 핵반응 후 질량수: 4 (보존)

• 핵반응 전 양성자수: $2 \times 1 + 2 \times 0 = 2$, 핵반응 후 양성자수: 2 (보존)

- 09 나. $2^3_2\text{He} \longrightarrow 2^1_1\text{H} + (\text{가})$ 에서 (가)에는 양성자수 2, 질량수 4인 원소가 들어간다. 따라서 (가)에 들어갈 원소는 ^4_2He 이다.

오답 피하기

- ㄱ. 핵반응 전후의 질량은 보존되지 않고 결손이 생긴다.
 ㄴ. ^3_2He 는 (가)의 원소보다 불안정하기 때문에 에너지를 방출하고 ^4_2He 로 변하는 것이다. 중성자가 많을수록 안정적이다.

- 10 ㄱ. $^{235}_{92}\text{U}$ 과 $^{238}_{92}\text{U}$ 은 양성자수는 92로 같지만 질량수는 각각 235, 238로 3 차이가 난다. 따라서 $^{238}_{92}\text{U}$ 은 $^{235}_{92}\text{U}$ 보다 중성자가 3개 더 많다.

- 나. 중성자수가 더 크면 핵은 더 안정적이다. 따라서 $^{238}_{92}\text{U}$ 의 핵이 $^{235}_{92}\text{U}$ 의 핵보다 더 안정적이다.
 ㄴ. 대부분의 핵발전소는 핵분열 반응을 일으켜 에너지를 얻고, 이 에너지는 이용하여 전기를 생산한다.

- 11 (가)의 핵반응식은 $4^1_1\text{H} \longrightarrow (\text{B}) + 2e^+ + 26 \text{ MeV}$ 에서 (B)는 양성자수가 2, 질량수가 4이므로 ^4_2He 이다.

(나)의 핵반응식은 $^3_1\text{H} + (\text{C}) \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n} + 17.6 \text{ MeV}$ 에서 C는 양성자수가 1, 질량수가 2이므로 ^2_1H 이다.

즉, A는 ^3_1H , B는 ^4_2He , C는 ^2_1H 이다.

- ㄱ. A와 C는 양성자수가 같으므로 서로 동위 원소이다.
 ㄴ. (나)는 (가)의 식 중 일부 과정이다. 태양 중심부와 같은 초고온 상태에서 일어나는 핵융합 반응이다.

오답 피하기

- 나. B는 ^4_2He 원자핵이다.

- 12 [모범 답안] (1) ^3_1H , 양성자수와 질량수 보존에 의해 (가)의 양성자수는 1, 질량수는 3이다. 양성자수는 같고 질량수가 다른 원소인 삼중수소이다(동위 원소).

(2) 핵융합과 핵분열을 하면 질량이 감소한다. 이때 감소된 질량에 해당하는 에너지를 외부로 방출한다.

- 13 (1) 3000 MW 중에서 900 MW가 전기 에너지로 전환되었으

므로 $\frac{900 \text{ MW}}{3000 \text{ MW}} \times 100 (\%) = 30 \%$ 이다.

[모범 답안] 30 %

(2) 질량-에너지 등가 원리에 의하면 $E = \Delta mc^2$ 이므로

$$\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{3.0 \times 10^9 \text{ J}}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2} = 3.3 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

$$= 3.3 \times 10^{-5} \text{ g} \text{이다.}$$

[모범 답안] $3.3 \times 10^{-5} \text{ g}$

단원 마무리하기

p. 114 ~ 117

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

- 01 실험 결과 에테르의 흐름과 나란하게 진행한 빛과 수직으로 진행한 빛의 왕복 시간은 같았다. 따라서 에테르의 흐름을 생각할 수 없었으며, 빛의 속력은 항상 같다고 가정하게 된다. 이후 이러한 빛의 진행에 대한 이론은 옳다는 것이 증명된다.

- 02 ㄱ. (가)에서 지상의 관찰자가 본 화살의 속도는 120 km/h와 150 km/h의 합인 270 km/h가 된다.

ㄴ. 특수 상대성 이론에서 가정한 것은 관성 좌표계에서 빛의 속도는 항상 c 로 일정하다는 것이다.

오답 피하기

나. (나)에서 지상의 관찰자가 본 빛의 속도는 120 km/h가 더해지는 것이 아니라 기차에 타고 있는 관찰자가 보아도 c 이고, 지상에 서 있는 관찰자가 보아도 c 로 같다.

- 03 ㄱ. 공이 손을 떠난 후에 공에 작용하는 힘은 중력뿐이다.

나. 상대성 원리는 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다는 것이다. (가)와 (나)는 관성 좌표계이며 물리 법칙은 동일하다.

ㄴ. 관측하는 좌표계가 등속도 운동을 하는 (가)에서 공의 운동은 $F = ma$ 라는 뉴턴 운동 제2법칙으로 설명할 수 있고, 정지한 좌표계인 (나)에서도 공의 운동은 $F = ma$ 라는 뉴턴 운동 제2법칙으로 설명할 수 있다. 즉, 물체의 운동을 설명하는 물리 법칙은 같다.

- 04 ㄱ. 우주선이 오른쪽으로 운동하고 있으므로 빛의 속력은 일정 한데 P까지 진행한 거리가 짧아진다. 따라서 광원에서 발생한 빛은 P에 가장 먼저 도달한다.

나. P에서 R까지의 거리는 철수가 측정할 때는 고유 길이가 되고 영희가 측정할 때는 길이 수축이 일어난다.

ㄴ. 영희가 측정할 때, 광원에서 발생한 빛이 Q에 도달하려면 빛이 비스듬히 앞으로 진행해야 한다. 따라서 철수가 측정한 진행 시간 t_0 보다 길다.

문제 속 자료 우주선 안의 빛의 경로



우주선 밖에서 정지한 관찰자(영희)가 광원과 Q 사이의 빛의 경로를 측정하면, 오른쪽으로 진행하는 우주선 안에서 비스듬히 진행하는 빛의 경로로 측정되고, 고유 시간보다 길어진다.

- 05 **ㄷ**. 영희가 측정한 기차의 길이는 길이 수축이 일어나 철수가 측정한 기차의 길이보다 짧아진다.

오답 피하기

ㄱ. 영희가 빛이 왕복하는 시간을 측정하면 시간 지연 효과에 의해 t_0 보다 길다. 빛의 속력은 일정하지만, 표적 거울이 기차가 운동하는 방향으로 움직이기 때문이다.
 ㄴ. 영희가 측정한 빛의 속력과 철수가 측정한 빛의 속력은 항상 같다. 관성 좌표계에서 관측자의 운동에 관계없이 빛의 속력은 일정하다.

- 06 우주선 안에서 측정한 빛의 왕복 시간은 $\frac{2l}{c}$ 이고, 이를 고유 시간이라고 한다. 정지한 관찰자가 빛의 경로를 관측하면 빛이 대각선으로 가는 것으로 보이고, 시간이 더 많이 걸려서 시간 지연이 일어난다.

ㄱ. (가)에서 측정한 빛의 왕복 시간은 이동 거리 $2l$ 를 속력 c 로 나눈 값인 $\frac{2l}{c}$ 이다.

ㄷ. 우주선의 속력이 빛의 속력에 비해 매우 느리면 시간 지연 효과는 매우 작기 때문에 (가)와 (나)에서 측정한 빛의 왕복 시간은 비슷하다.

오답 피하기

ㄴ. (나)의 관찰자(영희)에게는 우주선 안의 시간은 시간 지연이 일어난다. 따라서 우주선 안의 시계가 느리게 가는 것으로 관측하게 된다.

- 07 **ㄱ**. 행성 B에 대해 철수가 속력 $0.8c$ 로 운동하므로 철수가 측정할 때 B는 속력 $0.8c$ 로 다가온다.

ㄷ. 철수가 측정할 때 A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간은 고유 시간이므로 영희의 측정값은 시간 지연이 일어나 고유 시간 t 보다 길다.

오답 피하기

ㄴ. A와 B 사이의 거리는 영희의 측정값이 고유 길이이므로 영희의 측정값은 길이 수축된 철수의 측정값 L 보다 크다.

문제 속 자료 **고유 시간과 고유 길이**

- 고유 시간: 등속 운동하는 관찰자가 측정한 시간이므로 철수가 측정한 시간이다.
- 고유 길이: 관찰자가 정지 상태에서 동시에 물체의 앞과 뒤를 측정한 값이므로, 영희가 측정한 거리이다.

- 08 **ㄱ**. 우주선과 함께 운동하고 있는 철수가 측정한 거리 $L_{\text{철수}}$ 는 고유 거리이다. 우주선 밖에서 정지해 있는 영희가 측정한 거리 $L_{\text{영희}}$ 는 우주선의 길이와 함께 거리 수축이 일어난다.

ㄴ. 영희는 빠른 속도로 등속 운동하는 우주선을 보고 있으므로 영희가 측정하면 시간 지연이 일어난다.

오답 피하기

ㄷ. 빛의 속력은 어떤 관찰자가 측정해도 항상 c 로 일정하다.

- 09 **ㄱ**. 물체의 속력이 느릴 때는 수축 비율이 1에 가깝다. 즉, 수축 정도가 작다.

ㄴ. 그래프에서 물체의 속력이 $0.5c$ 일 때 $\frac{L}{L_0}$ 은 0.8이므로 0.5보다 크다.

ㄷ. 길이 수축은 아인슈타인이 특수 상대성 이론에서 예견하였다.

- 10 세 학생은 모두 상대적으로 운동하고 있으므로 시간 지연, 길이 수축이 일어난다.

ㄱ. 영희가 우주 정거장의 y 축 길이를 측정하면 운동 방향과 길이가 수직 방향이므로 길이 수축이 일어나지 않고 민수가 측정한 고유 길이인 L_0 과 같다.

ㄴ. 철수가 측정하였을 때 영희의 우주선은 자신에 대해 운동하고 있는 관성계이므로 시간 지연이 일어나고 영희의 시간이 자신의 시간보다 느리게 간다.

ㄷ. 민수가 측정하였을 때 철수의 우주선 길이는 매우 빠른 속도로 움직이고 있으므로 길이 수축이 일어나고, 우주선이 정지하였을 때 측정한 길이보다 짧아 보인다.

- 11 **ㄴ**. B는 매우 빠르게 움직이므로 시간 지연이 일어난다. 즉, 관찰자가 측정한 B의 수명은 t_0 보다 길다.

오답 피하기

ㄱ. 두 묶은 중에서 하나만 도달하였다면 속도가 빠른 묶은이 지면에 도달한다. 즉, 지면에 도달하는 묶은은 속도가 빠른 B이다.

ㄷ. 관찰자가 측정할 때 묶은의 시간은 묶은의 비행 시간 t_0 보다 길어지고 ' $0.9c \times$ 길어진 시간'이 l 와 같다.

- 12 질량은 속력에 정비례하지 않으며, 증가율도 속력의 크기에 따라 다르다.

ㄴ. 우주선 질량의 증가율은 처음에는 매우 작지만 우주선의 속력이 빛의 속력에 가까워지면 급격히 커진다.

ㄷ. 특수 상대성 이론에 의하면, 질량-에너지 등가성은 질량과 에너지가 $E = mc^2$ 의 관계로 상호 전환될 수 있다는 것이다. 우주선의 질량 증가가 에너지 증가에 사용된다.

오답 피하기

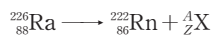
ㄱ. 우주선의 속력이 2배 증가하면 질량은 $\sqrt{2}$ 배가 아니라

$$\frac{1}{\sqrt{1-4v^2/c^2}} \text{배 증가한다.}$$

- 13 ㄱ. 정지해 있을 때에도 질량에 의한 에너지가 있다. 정지 질량이 m_0 인 물체의 에너지는 $m_0 c^2$ 이다.
 ㄴ. 속력 v 가 빛의 속력에 가까울수록 물체의 에너지는 커진다.
 ㄷ. 속력이 0에서 v 로 될 때, 물체의 질량이 운동할 때가 정지 상태일 때보다 크다.

- 14 ㄱ. X의 질량수는 $226 - 222 = 4$ 이다.
 ㄴ. 핵분열 전후 전하량의 합은 보존된다.
 ㄷ. X는 양성자 2개와 중성자 2개로 구성되어 있다.

문제 속 자료 핵반응식



	반응 전	반응 후
질량수	226	$222 + A$
양성자수	88	$86 + Z$

→ 핵반응 전후의 전하량 보존 법칙에 의해 X의 질량수 A 는 4이고, X의 양성자수 Z 는 2이다.

- 15 발생한 에너지는 $200 \text{ MeV} = 200 \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J}$ 이고,
 $E = mc^2$ 에서

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{3.2 \times 10^{-11}}{(3 \times 10^8)^2} = 3.6 \times 10^{-28} \text{ (kg)}$$
이다.
- 16 질량 결손은 $2 \times 2.0136 \text{ u} - 3.0150 \text{ u} - 1.0087 \text{ u} = 0.0035 \text{ u}$ 이고, 이 질량 결손에 의해 발생하는 에너지는 $E = mc^2$ 이므로

$$E = 0.0035 \times 1.66 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 5.2 \times 10^{-13} \text{ (J)}$$
이다.
- 17 수소 핵융합 반응에서 질량 결손은 $(1.0078 \times 4 - 4.0026) \text{ u} = 0.0286 \text{ u}$ 이다. 0.0286 u 를 에너지로 환산하면 $0.0286 \times 1.5 \times 10^{-10} \text{ J} = 4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$ 이다.
- 18 질량 결손 $\Delta m = 1.6749 \times 10^{-27} \text{ kg} - 1.6729 \times 10^{-27} \text{ kg} - 0.0009 \times 10^{-27} \text{ kg} = 1.1 \times 10^{-30} \text{ kg}$ 이다. 처음 운동 에너지는 0이고, 질량 결손에 의한 에너지는 모두 운동 에너지로 전환되었다면

$$E = 1.1 \times 10^{-30} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 9.9 \times 10^{-14} \text{ J}$$
이므로 약 10^{-13} J 이다.



물질과 전자기장

1. 전기

01 | 전자의 에너지 준위



탐구 대표 문제

p. 122

01 ① 02 (가) 연속 스펙트럼, (나) 선 스펙트럼

01 오답 피하기

- ② 선 스펙트럼에서 선의 위치에 따라 빛의 파장이 다르다.
 ③ 수은과 네온의 선 스펙트럼에서 선의 위치가 다르므로 수은과 네온의 에너지 준위는 다르다.
 ④ 헬륨 전등에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 여러 개의 선이 나타나는 선 스펙트럼이다.
 ⑤ 네온 전등에서 방출되는 빛의 선 스펙트럼은 대부분 노란색과 주황색이다.

- 02 빛이 스펙트럼에서 여러 색이 연속적으로 나타나는 것을 연속 스펙트럼, 특정한 색의 선이 나타나는 것을 선 스펙트럼이라고 한다.



기초 탐구 문제

p. 126

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

01 오답 피하기

- ① 전기력의 크기는 거리의 제곱에 반비례한다.
 ③ 전기력의 크기는 두 전하의 전하량 곱에 비례한다.
 ④ 두 전하가 멀리 떨어져 있어도 전기력이 작용한다.
 ⑤ 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 방향으로 작용하고, 다른 종류의 전하 사이에는 서로 당기는 방향으로 작용한다.

02 오답 피하기

- ① 전자는 원자핵 주위를 원운동한다.
 ③ 원자핵은 (+)전하를 띤다.
 ④ 원자 질량의 대부분은 원자 중심에 있는 원자핵이 차지한다.
 ⑤ 원자핵은 원자 중심에 있으며 원자의 대부분의 공간은 비어 있다.

03 오답 피하기

- ② 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이고, 특정한 값만을 가질 수 있다.
- ③ 바닥상태는 전자의 에너지가 가장 낮은 상태이며 원자핵에서 가장 가까운 궤도를 돌 때이다.
- ④ 전자가 안정된 궤도를 돌 때에는 전자기파를 방출하지 않는다.
- ⑤ 전자가 $n = 1$ 인 상태에 있을 때를 바닥상태라고 한다.

04 오답 피하기

- ① 빛의 에너지는 진동수에 비례한다.
- ② 빛의 파장과 진동수는 반비례하므로 파장이 클수록 진동수는 작다.
- ④ 파란색 빛의 에너지가 빨간색 빛의 에너지보다 크다. 따라서 파장은 파란색 빛이 빨간색 빛보다 작다.
- ⑤ 노란색 빛의 진동수가 초록색 빛의 진동수가 작으므로 에너지는 초록색 빛이 노란색 빛보다 크다.

05 오답 피하기

- ② 원자핵에 가까울수록 작은 에너지를 갖는다.
- ③ 에너지를 흡수하면 양자수가 작은 에너지 준위에서 큰 에너지 준위로 전이한다.
- ④ 전자가 전이될 때 두 궤도의 에너지 차이만큼의 에너지를 방출 혹은 흡수한다.
- ⑤ 전자가 전이하며 방출되는 빛은 자외선, 가시광선, 적외선이다.

06 오답 피하기

- ① 전자가 빛을 방출하면 양자수가 큰 에너지 준위에서 작은 에너지 준위로 전이한다.
- ② 전이하는 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 갖는 빛을 방출 혹은 흡수한다.
- ④ 기체 종류가 다르면 선 스펙트럼도 다르다.
- ⑤ 전자가 전이하며 방출한 빛의 에너지는 알 수 있다.

07 오답 피하기

- ① 가시광선과 자외선 영역에 속한다.
- ③ 라이먼 계열의 빛보다 파장이 길다.
- ④ 전이하며 발생한 빛은 눈으로 일부만 관찰할 수 있다.
- ⑤ 선 스펙트럼을 갖는다.

08 오답 피하기

- ① 백열등은 연속 스펙트럼이 나타난다.
- ② 가열된 기체가 방출하는 빛은 선 스펙트럼으로 나타난다.

- ④ 선 스펙트럼을 통해 전자의 에너지가 양자화되어 있음을 알 수 있다.
- ⑤ 태양의 흡수 스펙트럼은 연속 스펙트럼을 갖는 햇빛이 태양의 대기를 통과하며 흡수된 에너지가 선 스펙트럼으로 나타나므로 태양 대기 구성 원소를 알 수 있다.

내신 만점 문제

p. 127~131

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

19~20 해설 참조



- 01 A: A와 B 사이에는 척력, A와 C 사이에는 인력이 작용하지만 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 거리 제곱에 반비례하므로 B와 C로부터 A가 받는 전기력의 방향은 ←이다.
B: B와 A 사이에는 척력, B와 C 사이에는 인력이 작용하므로 B가 받는 전기력의 방향은 →이다.
C: C와 B 사이에는 인력, C와 A 사이에도 인력이 작용하므로 C가 받는 전기력의 방향은 ←이다.

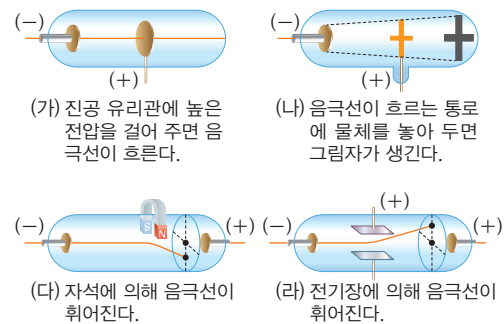
- 02 ①, ②, ③ 톰슨은 음극선에 전기장을 걸어 주었을 때 (+)극 쪽으로 휘어지며 자기장에도 반응하는 것을 통해 음극선을 이루는 입자가 (-)전하를 띤 전자의 흐름임을 알게 되었다.

오답 피하기

- ⑤ 음극선은 전자의 흐름이므로 자기장을 걸어 주면 자기력을 받아 음극선이 휘어진다.

문제 속 자료

톰슨의 음극선 실험

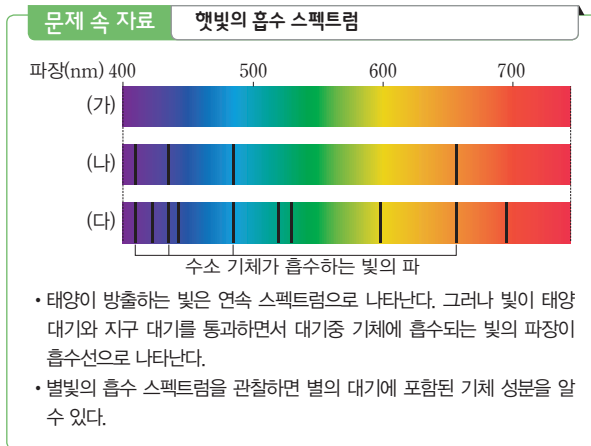


- 03 나. 연속 스펙트럼에 불연속적인 검정색 띠가 나타나 있는 흡수 스펙트럼으로 전자가 특정한 에너지 준위, 즉 에너지 준위가 양자화되어 있음을 알 수 있다.
다. 태양 대기를 통과한 태양 빛을 관찰하면 연속 스펙트럼 위에 검은 선이 불연속적으로 보이는 흡수 스펙트럼이 나타난다.

이는 태양의 대기 속 원소들이 에너지를 흡수하며 나타난 것이다. (다)에서 흡수 스펙트럼을 보면 수소 기체를 통과한 흡수 스펙트럼 선이 포함되어 있으므로 태양의 대기를 구성하는 원소들 중 수소 기체가 포함되어 있음을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. (나), (다)와 같이 연속 스펙트럼에 검정색 선이 불연속적으로 띄엄띄엄 관찰되는 스펙트럼을 흡수 스펙트럼이라고 한다.



- 04** ㄱ. 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적으로 양자화되어 있다.
 ㄴ. a에서 방출되는 광자 1개의 에너지는 전자가 $n=3$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이하며 방출된 것이므로 두 궤도의 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 갖는다. $E_a = |E_3 - E_1| = |-1.51 - (-13.6)| = 12.09 \text{ (eV)}$ 에 의해 a에서 방출하는 광자 1개의 에너지는 12.09 eV이다.
 ㄷ. 전자가 전이하면서 방출하는 빛의 에너지는 두 에너지 준위 차이만큼의 값을 갖는데, 양자수가 커질수록 두 에너지 준위 차이 값이 작아지므로 b가 c보다 큰 에너지 값을 갖는다. 또한 진동수는 에너지와 비례하므로 b일 때가 c일 때보다 크다.

- 05** ㄴ. 원자핵으로부터 멀어질수록 전자의 에너지 준위는 높아진다.
 ㄷ. 원자핵은 양(+)전하를 띠고 전자는 음(-)전하를 띠므로 두 전하 사이에는 인력의 전기력이 발생한다.

오답 피하기

ㄱ. 전자는 원자핵을 중심으로 특정 궤도에서 원운동을 한다.

- 06** ㄱ. 선 스펙트럼이 불연속적으로 나타난 것은 전자가 원자 내 특정 에너지 준위에 존재하며 전자의 에너지 준위는 양자화되어 있기 때문이다.
 ㄴ. 빛의 진동수는 파장에 반비례하므로 파장이 작은 P의 진동수가 Q의 진동수보다 크다.

오답 피하기

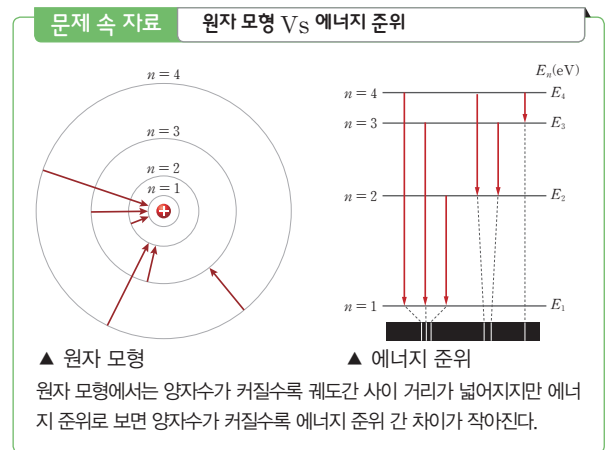
ㄷ. 원자에 따라 전자가 갖는 에너지 준위가 다르므로 선 스펙트럼에서 선의 위치는 기체가 가열되는 온도와 상관없이 원자의 종류에 따라 다르다.

- 07** ㄱ. a는 전자가 에너지 준위가 높은 상태에서 낮은 상태로 전이하는 과정이므로 전자의 에너지는 감소한다.

ㄷ. a 과정에서 에너지 준위 차이는 b, c 과정에서 에너지 준위 차이의 합과 같다. 즉, $E_a = E_b + E_c$ 이다. 광자 1개의 에너지는 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 수소 원자는 양자수가 클수록 에너지 준위 사이의 간격이 작아지므로 $E_c > E_b$ 이다.



- 08** ㄱ. c 과정에서 에너지 준위 차이는 a, b 과정에서 에너지 준위 차이의 합과 같으므로 $f_c = f_a + f_b$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 빛의 에너지는 c가 b보다 크고 $E = \frac{hc}{\lambda}$ 이므로 파장은 b가 c보다 크다.

ㄷ. c는 $n=3$ 인 상태에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛이므로 c를 흡수하면 $n=1$ 인 상태에서 $n=3$ 인 상태로 바로 전이한다.

- 09** 원자를 구성하는 대부분의 공간은 비워져 있고 원자 중심에는 매우 작은 크기의 (+)전하를 띤 원자핵이 존재한다. 때문에 대부분의 알파 입자는 원자를 통과하지만 원자핵 근처를 통과하는 매우 적은 수의 알파 입자는 원자핵으로부터 전기력(척력)을 받아 경로가 휘어진다.

오답 피하기

④ 원자핵의 부피는 원자에 비해 매우 작지만 원자핵의 질량은 원자의 질량에 대부분을 차지한다.

- 10 ㄱ. 선 스펙트럼이 불연속적으로 나타난 것은 전자가 원자 내 특정 에너지 준위에 존재하며 전자의 에너지 준위는 양자화 되어 있기 때문이다.

오답 피하기

수소 원자에서 전자가 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 높은 궤도의 에너지 준위가 높아질수록 큰 에너지를 방출한다. 즉 $E_3 \rightarrow E_2$ 전이 과정보다 $E_4 \rightarrow E_2$ 전이 과정에서 방출되는 빛의 에너지가 더 큰 값을 갖는다. 또한 $E=hf$ 이므로 에너지는 진동수와 비례한다.

ㄴ. 빛의 스펙트럼에서 f_A 는 가장 작은 값을 가지므로 $E_3 \rightarrow E_2$ 전이 과정에서 방출된 빛의 에너지임을 알 수 있다. 즉 $hf_A = E_3 - E_2$ 이다.

ㄷ. 진동수 A와 B는 각각 $f_A = \frac{E_3 - E_2}{h}$, $f_B = \frac{E_4 - E_2}{h}$

이므로 $f_B - f_A = \frac{E_4 - E_3}{h}$ 이다.

- 11 ㄷ. 파장이 λ_1 인 빛은 c에서 방출되는 빛으로 $n=2$ 인 에너지 준위에 있는 전자가 파장이 λ_1 인 빛을 흡수하면 $n=5$ 인 에너지 준위로 전이한다.

오답 피하기

ㄱ. 방출 되는 빛의 파장은 빛의 에너지와 반비례한다. 따라서 $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ 이다.

ㄴ. 양자수가 커질수록 에너지 준위 사이의 차이가 작아진다. 즉 $n=4$ 인 에너지 준위와 $n=3$ 인 에너지 준위 차이보다 $n=5$ 인 에너지 준위와 $n=4$ 인 에너지 준위의 차이가 더 작다. 그림 (가)에서 파장 사이의 거리를 보아 λ_1 과 λ_2 의 사이가 λ_2 와 λ_3 의 사이보다 작으므로 c를 통해 방출되는 파장은 λ_1 이다. 따라서 각 전이 과정에서 방출되는 파장은 a는 λ_3 , b는 λ_2 , c는 λ_1 이다.

- 12 ㄱ. 빛의 에너지는 파장에 반비례하므로 광자 1개의 에너지는 파장이 작은 a가 b보다 크다.

오답 피하기

ㄴ. 수소 원자의 선 스펙트럼에서 가시광선은 들뜬상태의 전자가 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출한다.

ㄷ. 수소와 헬륨의 스펙트럼에서 선의 위치가 다르므로 수소와 헬륨의 에너지 준위 사이 간격이 다르다.

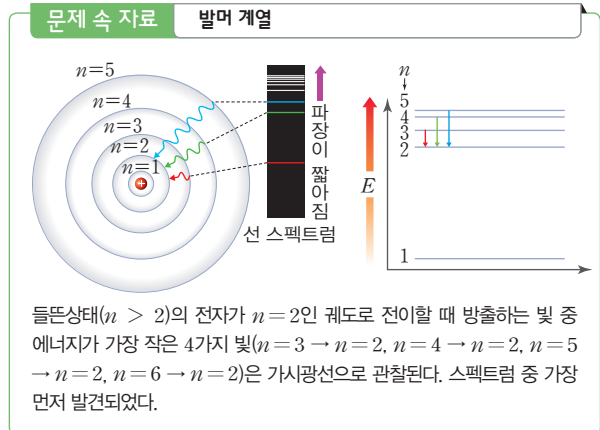
- 13 대전된 도체 A 옆에 대전된 도체 B를 놓으면 B에 작용하는 전기력의 크기는 F이다. 전기력의 크기는 거리 제곱에 반비례하므로 처음 거리의 2배만큼 띄었을 때 전기력의 크기는 처음의 $\frac{1}{2^2}$ 배로 줄어든다.

- 14 ㄱ. 수소 원자에서 양자수가 클수록 에너지 준위가 높다.

오답 피하기

ㄴ. a는 발머 계열에서 2번째로 파장이 긴 빛이므로 전자가 $n=4$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛이다. 따라서 광자 1개의 에너지는 $E_4 - E_2$ 이다.

ㄷ. b는 발머 계열에서 파장이 가장 길므로 에너지가 가장 작은 빛이다. 즉 전자가 $n=3$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛이다.



- 15 ㄱ. p는 전자가 b(높은 궤도)에서 c(낮은 궤도)로 전이하는 과정이므로 빛을 방출한다.

ㄴ. 원자핵으로부터 거리가 멀수록 에너지 준위가 높다.

ㄷ. 빛의 파장은 에너지에 반비례한다. 에너지 준위 차이가 클수록 흡수 또는 방출하는 빛의 에너지가 크므로 빛의 파장은 에너지가 작은 빛이 방출되는 p가 에너지가 큰 빛을 흡수하는 q보다 크다.

- 16 ㄱ. $n=1$ 인 상태에 있던 전자가 a를 흡수하여 $n=2$ 인 상태로 전이하므로 a의 에너지는 $n=1$ 인 상태와 $n=2$ 인 상태의 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 갖는다. 따라서 a의 에너지는 10.2eV이다.

ㄴ. b는 $n=2$ 인 상태와 $n=3$ 인 상태의 에너지 준위 차이만큼의 에너지인 1.9eV의 에너지를 갖는다. 빛의 진동수는 에너지에 비례하므로 진동수는 a가 b보다 크다.

오답 피하기

ㄷ. 전자가 $n=3$ 인 상태에서 $n=1$ 인 바닥상태로 전이할 때는 두 에너지 준위의 차이만큼의 에너지인 12.1eV의 에너지를 갖는 빛을 방출한다. 만약 전자가 $n=3$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태를 거쳐 $n=1$ 인 바닥상태로 전이할 때는 에너지가 1.9eV인 빛을 먼저 방출하고, 이어서 에너지가 10.2eV인 빛을 방출한다.

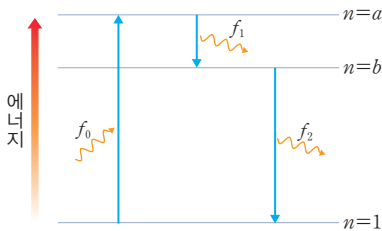
- 17 ㄱ. 바닥상태에서 흡수한 에너지와 들뜬상태에서 두 번의 전이 과정으로 바닥상태로 내려간 전자가 방출한 에너지의 합은 같다. 즉 $hf_0 = hf_1 + hf_2$ 이므로 $f_0 > f_1$ 이다.

오답 피하기

- ㄴ. 바닥상태의 전자가 진동수가 f_0 인 빛을 흡수하면 전자는 바닥상태보다 에너지가 hf_0 만큼 높은 에너지 준위로 전이한다. 즉, 전이하는 에너지 준위의 차이가 hf_0 이다.
- ㄷ. 들뜬상태에서 바닥상태로 전이할 때 진동수가 f_1, f_2 인 빛을 순서대로 방출하였으므로 바닥상태에서 들뜬상태로 전이할 때는 진동수가 f_2, f_1 인 빛을 순서대로 흡수하여야 한다.

문제 속 자료 전자 전이와 빛의 흡수, 방출

- 진동수가 f_0 인 빛을 흡수하여 $n=1$ 인 상태에서 $n=a$ 인 상태로 전이
- 진동수가 f_1 인 빛을 방출하며 $n=a$ 인 상태에서 $n=b$ 인 상태로 전이
- 진동수가 f_2 인 빛을 방출하며 $n=b$ 인 상태에서 $n=1$ 인 상태로 전이



- $n=1$ 인 에너지 준위보다 $E = hf_1$ 만큼 높은 에너지 준위가 없음.
→ $n=1$ 인 상태에 있던 전자는 진동수가 f_1 인 빛을 흡수할 수 없음.

- 18 ㄴ. C의 에너지는 A, B의 에너지의 합이므로 $hf_C = hf_A + hf_B$ 이다. 따라서 $hf_B = hf_C - hf_A$ 이고, 에너지는 10.2eV이다.
- ㄷ. 빛의 에너지와 진동수는 비례하므로 C의 에너지가 B의 에너지보다 크다.

오답 피하기

- ㄱ. 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이므로 방출되는 빛은 선 스펙트럼으로 나타난다.

- 19 [모범 답안] (1) a는 $n=6$ 에서 $n=2$ 로 전이하는 과정에서 방출하는 빛이고, b는 $n=2$ 에서 $n=3$ 으로 전이하는 과정에서 흡수하는 빛이다.

해설 a는 파장이 작으므로 방출되는 빛 중 에너지가 큰 빛이다. 따라서 a는 $n=6$ 에서 $n=2$ 로 전이하는 과정에서 방출하는 빛이다. b는 흡수하는 빛 중 파장이 크므로 에너지가 작은 빛이다. 따라서 b는 $n=2$ 에서 $n=3$ 으로 전이하는 과정에서 흡수하는 빛이다.

- (2) 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이라는 것을 알 수 있다.

서술형 Tip

빛을 흡수하는 경우와 방출하는 경우를 구분하고, 파장과 에너지 관계를 고려한다.

- 20 [모범 답안] (1) 1.6

해설 수소 원자가 방출하는 빛의 에너지는 $E = \frac{hc}{\lambda} = E_0$

$(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2})$ 이다. 또 가시광선 영역은 $n=3, 4, 5, 6$ 에서

$n=2$ 로 전이할 때 방출하는 빛이므로

$\frac{hc}{\lambda_{\max}} = E_0(\frac{1}{4} - \frac{1}{9}), \frac{hc}{\lambda_{\min}} = E_0(\frac{1}{4} - \frac{1}{36})$ 이다. 여기서

$\lambda_{\max} = \frac{36hc}{5E_0}, \lambda_{\min} = \frac{36hc}{8E_0}$ 이므로 $\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = \frac{8}{5} = 1.6$ 이다.

(2) 발머 계열이 가시광선 영역에 해당하는 빛을 포함하기 때문이다.

02 | 고체의 에너지띠와 전기 전도성



탐구 대표 문제

p. 135

- 01 ⑤ 02 플라스틱은 절연체이기 때문이다.

01 오답 피하기

- ① 전기 전도도는 비저항의 역수이다.
- ② 전압계는 측정하고자 하는 물체에 병렬로 연결한다.
- ③ 전기 전도도는 도체가 절연체보다 크다.
- ④ 연필심의 비저항이 절연체보다 작다.

- 02 절연체는 띠 간격이 매우 넓어 큰 에너지를 받아도 전자가 전이하지 못한다. 따라서 전기 전도도가 매우 작고 전류가 거의 흐르지 않는다.



기초 탐구 문제

p. 136

- 01 ⑤ 02 ④ 03 ③ 04 ④ 05 ③ 06 ③

01 오답 피하기

- ① 자유 전자는 전도띠에 존재한다.
- ② 고체에서는 에너지 준위가 미세하게 나뉘어 부분적으로 연속적인 에너지띠를 이룬다. 그러나 전자가 모든 에너지를 다 가질 수 있는 것은 아니다. 전자가 가질 수 있는 에너지띠를 허용된 띠라고 하며, 허용된 띠 사이를 금지된 띠라고 한다.
- ③ 원자가 띠는 절대 온도 0 K에서 전자가 채워진 가장 높은 에너지띠이며, 그 위의 에너지띠를 전도띠라고 한다.
- ④ 띠 간격은 원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 간격이다.

- 02 기체 원자의 에너지 준위는 불연속적인 값만 갖는다. 그러나 고체에서는 연속적인 에너지띠를 이룬다.

03 오답 피하기

- ① 양공은 전자의 빈 자리이므로 이웃한 전자가 이동할 수 있다.
- ② 양공으로 전자가 이동할 수 있으므로 양공도 전류 흐름에 기여한다.
- ④ 전류가 흐를 때 전자는 (+)극으로, 양공은 (-)극으로 이동한다.
- ⑤ 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동하여 생긴 빈 자리가 양공이다.

04 고체의 에너지띠에서 전자가 채워진 가장 높은 에너지띠를 원자가 띠라 하고, 그 위의 에너지띠를 전도띠라고 한다. 또 원자가 띠와 전도띠 사이의 에너지 간격을 띠 간격이라 하며 띠 간격에는 전자가 존재할 수 없다.

05 오답 피하기

- ① 반도체의 띠 간격은 절연체의 띠 간격보다 보다 작다.
- ② 온도가 낮을수록 전기 전도성이 낮다.
- ④ 원자가 띠에 존재하는 전자의 에너지는 모두 다르다.
- ⑤ 띠 간격 이하의 에너지에서는 전자가 전이되지 않아 외부 전압을 걸어 줘도 전류가 흐르지 않는다.

06 (가)는 띠 간격이 가장 크므로 절연체이고, (나)는 전도띠와 원자가 띠가 일부 겹쳐 있으므로 도체이다. (다)는 띠 간격이 작으므로 반도체이다.

내신 만점 문제

p. 137~139

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

11~12 해설 참조



01 나. 고체는 수많은 원자가 인접하여 서로의 에너지 준위에 영향을 미친다. 그 결과 에너지 준위가 미세하게 나뉘어 연속적인 에너지띠를 이룬다.
다. 고체에서 전자가 존재할 수 있는 영역을 허용된 띠라고 한다.

오답 피하기

ㄱ. A는 불연속적인 에너지 준위를 가지므로 기체이다.

02 오답 피하기

- ① 반도체의 에너지띠 구조이다.
- ③ (나)에는 전자가 채워져 있다.
- ④ A가 작을수록 전기 전도성이 좋다.
- ⑤ 온도가 높아질수록 (가)에 자유 전자 수는 증가한다.

03 ㄱ. 스위치를 열면 B만 연결된다. 이때는 전류가 흐르지 않으므로 B는 절연체이다. 스위치를 닫으면 A를 통해 전류가 흐르므로 A는 도체이다.

- 나. B는 절연체이므로 전도띠와 원자가 띠의 띠 간격이 크다.
- 다. A는 도체이므로 전도띠에 자유 전자가 많고 B는 절연체이므로 전도띠에 자유 전자가 거의 없다.

04 ㄱ. 고체는 기체와 달리 수많은 원자들이 가까이 위치하기 때문에 에너지 준위가 나뉘어 겹쳐져 연속적인 에너지띠를 이룬다.

오답 피하기

- 나. 허용된 띠 중 전자가 채워진 가장 높은 띠를 원자가 띠라 하고, 원자가 띠 위의 띠를 전도띠라고 한다.
- 다. 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 띠 간격이 작은 B가 A보다 전기 전도성이 좋다.

05 오답 피하기

⑤ 원자핵에 가까워질수록 에너지 준위 사이의 간격이 넓어진다.

06 나. 다이아몬드가 절연체이기는 하지만 띠 간격인 5.33 eV보다 큰 에너지를 흡수하면 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이한다.
다. 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋다. 따라서 규소가 다이아몬드보다 전기 전도성이 좋다.

오답 피하기

ㄱ. 빛의 파장은 에너지에 반비례한다. 전도띠에 있던 전자가 원자가 띠로 전이할 때 방출하는 빛 중 에너지가 가장 작은 것이 1.14 eV이므로, 파장이 가장 긴 빛의 에너지가 1.14 eV이다.

07 ㄱ. (가)는 전도띠와 원자가 띠 사이에 띠 간격이 존재하지 않으므로 에너지띠 내에서 전자의 이동이 자유롭기 때문에 전기 전도성이 높고 (나)는 띠 간격이 크므로 전기 전도성이 낮다.
나. 띠 간격이 좁을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 쉬우므로 (나)는 (다)에 비해 전자 이동이 어렵다.
다. 규소(Si)는 반도체로 반도체의 띠 간격은 절연체 보다 좁다.

문제 속 자료 도체, 절연체, 반도체의 에너지띠 비교

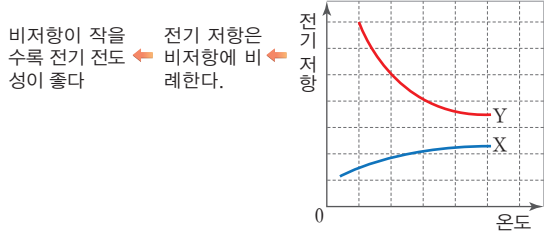
구분	도체	절연체	반도체
띠 간격	없음.	큼.	작음.
전도띠 전자	많음.	없음.	0 K에서는 없음 상온에서 존재
전기 전도성	좋음.	나쁨.	중간

- 08 나, 다. 반도체의 띠 간격은 절연체보다 작아 띠 간격 이상의 적당한 에너지를 받으면 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하여 전도성이 좋아진다. 즉 반도체는 온도가 높아질수록 열에너지로 인한 전자 전이로 전기 저항이 낮아지고 전기 전도성이 좋아진다.

오답 피하기

ㄱ. A는 전도띠와 원자가 띠가 겹쳐 있으므로 도체의 에너지 띠 구조이다.

문제 속 자료 온도에 따른 비저항과 전기 전도성



- X는 온도가 증가할 때 전기 저항(비저항)이 증가한다.
→ 온도가 증가할 때 전기 전도성이 나빠진다.
- Y는 온도가 증가할 때 전기 저항(비저항)이 감소한다.
→ 온도가 증가할 때 전기 전도성이 좋아진다.
- X는 도체, Y는 반도체의 그래프이다.

- 09 ㄱ. 절대 온도 0 K에서 반도체의 전도띠에는 전자가 존재하지 않는다. 하지만 온도가 높아질수록 전자는 열에너지를 흡수하여 원자가 띠에서 전도띠로 전이한다. 이때 원자가 띠에는 전이한 전자의 빈 자리인 양공이 발생한다.

오답 피하기

나. 전도띠에 존재하는 전자는 외부 전기장의 반대 방향으로 이동한다.

다. (가)에서 전도띠에 전자가 없으므로 $T_1 = 0$ K이다. 또한 반도체는 온도가 높아질수록 열에너지로 인한 전자 전이가 일어난다. 따라서 $T_1 < T_2$ 이다.

- 10 ㄱ. 스위치를 닫기 전과 닫은 후에 저항에 흐르는 전류의 세기가 같으므로 A는 도체, B는 절연체이다. 따라서 A는 X로만 들어졌다.

나. 띠 간격은 전자가 존재할 수 없는 영역이다.

오답 피하기

다. B는 절연체인 Y로 만들어졌다. 스위치를 닫았을 때 전류의 세기가 변하지 않았으므로, 스위치를 닫아도 B의 전도띠에는 전자가 존재하지 않는다.

- 11 [모범 답안] (1) 2개

해설 원자 사이의 거리가 점점 가까워지면 원자 사이의 상호작용에 의해 에너지 준위에 변화가 생기게 된다. 2개의 원자가 가까워지는 경우 파울리 배타 원리에 의해 하나의 전자는 하나

의 양자 상태에 있어야 한다. 따라서 원자에 대한 각각의 에너지 준위들은 2개의 에너지 준위로 미세하게 나뉘어져 존재한다.

(2) 하나의 전자는 하나의 양자 상태에 있어야 하므로 3개 이상의 원자가 가까워지면 전자의 에너지 준위가 원자 2개일 때보다 더욱 미세하게 차이를 두고 분포한다. 고체와 같이 많은 원자가 밀집하는 경우 에너지띠를 이룬다.

- 12 [모범 답안] (1) 상온에서 원자가 띠의 전자가 띠 간격 이상의 열 에너지를 받아 전도띠로 전이하였기 때문이다.

(2) 반도체는 온도가 상승할수록 열에너지를 흡수하여 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자가 많아지므로 전기 전도성이 좋아진다.

해설 반도체는 띠 간격이 작아 약간의 에너지로도 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이할 수 있다. 온도가 높아질수록 열에너지로 인한 전자 전이가 많이 발생하여 전도띠에는 전자가 원자가 띠에는 양공이 많아진다.

03 | 반도체 소자



탐구 대표 문제

p. 143

- 01 ④ 02 A: p형 반도체 (+)극, B: n형 반도체 (-)극

01 오답 피하기

- ① 다이오드에 순방향 바이어스가 걸리면 큰 전류가 흐를 수 있으므로 꼭 저항을 연결해야 한다.
- ② 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 각각 1개씩 접합하여 만든다.
- ③ 다이오드와 LED에 전류가 흐르게 하려면 p형 반도체에 (+)극을 연결해야 한다.
- ⑤ 다이오드와 LED를 서로 반대 방향으로 연결하면 한쪽에는 순방향 바이어스, 다른 쪽에는 역방향 바이어스가 걸려 전류가 흐르지 못한다.

- 02 다이오드에서 회색 띠가 있는 쪽이 n형 반도체이므로 B가 n형 반도체이고 A는 p형 반도체이다. 다이오드에 전류가 흐르게 하려면 순방향 바이어스가 걸려야 하므로 p형 반도체인 A에 전원의 (+)극을 연결하고, n형 반도체인 B에 전원의 (-)극을 연결해야 한다.



기초 탄탄 문제

p. 145

01 ⑤ 02 ③ 03 ② 04 ⑤ 05 ③ 06 ②

01 오답 피하기

⑤ 상온에서 p형 반도체에는 원자가 띠의 양공과 전도띠의 전자가 모두 존재한다. 이때 양공 중 일부는 전도띠로 전이한 전자의 빈 자리이고 일부는 원자가 전자가 3개인 불순물을 첨가하여 생긴 에너지띠로 원자가 띠의 전자가 전이하며 생긴 빈 자리이다. 따라서 원자가 띠의 양공이 전도띠의 전자보다 많으므로 양공이 주요 전하 운반체이다. 하지만 p형 반도체는 양공과 전자가 모두 전류 흐름에 기여한다.

02 오답 피하기

- ① 불순물이 섞여 있지 않은 반도체이다.
- ② 이웃한 원자들 사이에 공유 결합을 한다.
- ④ 순수 반도체는 절연체와 성질이 비슷하다. 따라서 외부 전기장에 의해 전류가 거의 흐르지 않는다.
- ⑤ 불순물을 많이 첨가할수록 전류가 잘 흐른다.

03 오답 피하기

- ① 여분의 전자가 발생하므로 n형 반도체이다.
- ③ 전자가 양공보다 많다.
- ④ p-n 접합 다이오드에서 순방향 바이어스를 걸어 주기 위해서는 n형 반도체와 (-)극이 연결되어야 한다.
- ⑤ 바이어스를 연결했을 때 주로 전자가 이동하여 전류가 흐르지만, 양공도 움직인다.

04 오답 피하기

- ⑤ 다이오드는 한 방향으로만 전류를 흐르게 하므로 정류 회로에 활용된다.

05 오답 피하기

- ① A는 p형 반도체이다.
- ② 상온에서 B에는 양공도 존재한다.
- ④ 순방향 바이어스가 걸렸을 때 A에서는 양공이 주로 움직이지만 전자도 움직인다.
- ⑤ 역방향 바이어스가 걸렸을 때 A에서 양공은 바이어스가 걸린 쪽으로 이동한다.

06 오답 피하기

- ① 접합면에서 전자가 양공과 재결합하며 빛을 방출한다.
- ③ 전류 흐름에 방향성이 있다.
- ④ p-n 접합 다이오드와 같은 구조를 가지고 있다.
- ⑤ 불순물 반도체로 발광 다이오드를 만들 수 있다.

내신 만점 문제

p. 146~149

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



01 ㄴ. 이 반도체는 원자가 전자가 3개인 불순물이 첨가된 p형 반도체이므로 양공이 전자보다 많다.

오답 피하기

- ㄱ. 저마늄 원자와 공유 결합을 한 전자들 중 한 쌍에서 한 자리가 비어있는 것으로 보아 A는 원자가 전자가 3개인 원자이다.
- ㄷ. 원자가 전자가 3개인 불순물이 첨가되는 경우 주요 전하 운반체는 양공이 되고 양공은 원자가 띠에 존재한다.

02 ㄱ. p-n 접합 다이오드에 바이어스를 걸었을 때 전류가 흐르는 것으로 보아 순방향 바이어스가 걸렸다는 것을 알 수 있다. p형 반도체에는 (+)극이 n형 반도체에는 (-)극이 연결되었을 때 순방향 바이어스가 걸리므로 A는 p형 반도체이고, p형 반도체에서 주요 전하 운반체는 양공이다.

- ㄴ. p-n 접합 다이오드에 순방향 바이어스가 걸리는 경우 p형 반도체에서는 양공이, n형 반도체에서는 전자가 접합면으로 이동하여 재결합을 한다.
- ㄷ. 전지의 극을 반대로 연결하면 다이오드에 역방향 바이어스가 걸려 전류가 흐르지 않는다.

03 ㄱ. A는 순수 반도체 내 저마늄 원자와 첨가된 불순물 비소와 공유 결합 후 남은 전자이다. A(전자)는 전도띠로 전이하여 주요 전하 운반체 역할을 한다.

- ㄴ. 원자가 전자가 3개인 인듐을 불순물로 첨가하는 경우 전자가 부족한 자리가 생기는데 이는 양공이다.
- ㄷ. 공유 결합 후 여분의 전자가 생긴 반도체는 n형 반도체라고 한다.

문제 속 자료 p형 반도체와 n형 반도체

구분	p형 반도체	n형 반도체
도핑 원소	• 13족 원소 • B, Al, Ga, In	• 15족 원소 • P, As, Sb
공유 결합	• 전자 부족	• 전자 남음
전하 운반	• 양공이 전자보다 많음 • 양공이 주요 전하 운반체	• 전자가 양공보다 많음 • 전자가 주요 전하 운반체

04 ㄱ. A 주위에 공유 결합에 참여하지 못하고 남은 전자가 있으므로 A의 원자가 전자는 5개이다.

ㄷ. P가 n형 반도체이고 Q가 p형 반도체이므로 스위치를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 바이어스가 걸린다.

오답 피하기

ㄴ. P가 n형 반도체이고 Q가 p형 반도체이므로 스위치를 a에 연결하면 다이오드에 역방향 바이어스가 걸려 전류가 흐르지 않는다.

05 ㄴ. 비소(As)는 공유 결합에 참여하지 못하는 전자가 남아 있으므로 비소의 원자가 전자는 5개이다.

ㄷ. A가 p형 반도체, B가 n형 반도체이므로 A에 (+)극을, B에 (-)극을 연결하면 다이오드에 순방향 바이어스가 걸려 전류가 흐른다.

오답 피하기

ㄱ. A는 공유 결합에서 전자가 부족하여 양공이 있으므로 양공이 전자보다 많다.

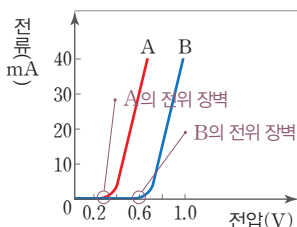
06 ㄱ. 전압-전류 특성 그래프를 보아 같은 전압을 걸어 주었을 때 A가 B보다 더 큰 전류가 흐르므로 A의 전기 전도성이 더 좋다.

ㄴ. p-n 접합 다이오드에 순방향 전압을 걸어 주는 경우 전류의 흐름이 생긴다.

오답 피하기

ㄷ. 원자가 띠에서 전도띠로 전자가 전이를 많이 할수록 전기 전도성이 좋아지는데 띠 간격이 작을수록 전자 전이가 쉽게 이루어진다. 즉 띠 간격이 작을수록 전기 전도성이 좋아지므로 띠 간격은 A가 B보다 작다.

문제 속 자료 다이오드 전류-전압 특성 곡선



- 다이오드를 접합하면 접합면 부근에 전위 장벽이 생긴다. 그래프에서 전위 장벽은 A가 B보다 작다.
- 전위 장벽 이상의 전압을 걸어주면 다이오드에 흐르는 전류가 급격하게 증가한다.
- 그래프에서 같은 전압을 걸었을 때 다이오드에 흐르는 전류의 세기가 A가 B보다 크다.
- 전기 전도성은 A가 B보다 크다.

07 발광 다이오드는 소모 전력이 작고 소형으로 제작할 수 있어 TV나 모니터, 휴대 전화 화면 등 각종 영상 장치, 리모컨, 조명 장치에 활용된다. 반도체 레이저 다이오드는 진동수와 위상이 같은 빛을 방출하며, 광통신을 비롯한 여러 분야에서 광원으로 사용된다.

08 ㄱ. ① 주변에 공유 결합에 참여하지 못하는 전자가 있으므로 ①을 첨가한 반도체는 n형 반도체이다. n형 반도체는 전자가 주요 전하 운반체이다.

ㄴ. ①을 첨가한 반도체에 전지의 (+)극이 연결되어 있으므로 스위치를 닫으면 다이오드에 역방향 바이어스가 걸린다.

오답 피하기

ㄷ. 스위치를 닫으면 다이오드에 역방향 바이어스가 걸려 ②의 양공이 접합면에서 멀어진다.

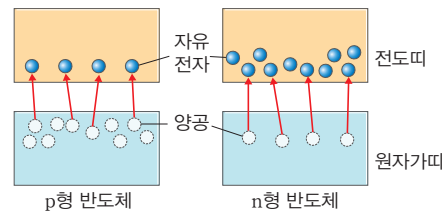
09 ㄱ. 전원을 연결했을 때 전구에 켜진 것으로 보아 회로에는 전류가 흐르고 p-n 접합 다이오드에는 순방향 바이어스가 걸려 있다.

ㄷ. p-n 접합 다이오드에 순방향 바이어스가 걸리는 경우 p형 반도체에서는 양공이, n형 반도체에서는 자유 전자가 접합면으로 이동하여 재결합한다.

오답 피하기

ㄴ. 전류는 (+)극에서 (-)극으로 흐르므로 전구에서는 a 방향으로 전류가 흐른다.

문제 속 자료 p형 반도체와 n형 반도체의 전자와 양공



- 상온에서 순수 반도체는 원자가 띠의 전자 중 일부가 전도띠로 전이하고, 원자가 띠에는 전자의 빈 자리인 양공이 형성된다. 이렇게 형성된 자유 전자와 양공의 개수는 같다.
- p형 반도체는 원자가 전자가 3개인 원소를 도핑하므로 공유 결합에 참여할 전자가 부족하여 양공이 형성된다.
- n형 반도체는 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑하므로 공유 결합에 참여하지 못하는 전자가 남는다.
- ➔ p형 반도체는 양공이 자유 전자보다 많고, n형 반도체는 자유 전자가 양공보다 많다.

10 ㄱ. LED에서 빛이 방출되고 있으므로 LED에는 순방향 바이어스가 걸려 전류가 흐른다.

ㄴ. LED에 순방향 바이어스가 걸리면 접합면에서 전도띠의 전자가 원자가 띠로 전이하며 에너지를 잃는다. 이때 이 에너지가 빛으로 방출된다.

오답 피하기

ㄷ. 전이 과정에서 전자가 잃는 에너지가 클수록 파장이 짧은 빛이 방출된다. 파란색 빛의 파장이 빨간색 빛의 파장보다 짧으므로 전자가 잃는 에너지는 (나)가 (가)보다 크다.

11 ㄴ. 전압이 (-)일 때만 전류가 흐르므로 B는 p형 반도체이다.

p형 반도체는 양공이 주요 전하 운반체이다.

ㄷ. 다이오드는 순방향 바이어스일 때만 전류가 흐른다.

오답 피하기

ㄱ. 전압이 (-)일 때만 전류가 흐르므로 A는 n형 반도체이다.

- 12** ㄱ. LED에서 빛이 방출되므로 순방향 바이어스가 걸려 있다.
 ㄴ. X는 p형 반도체이므로 양공은 LED의 접합면으로 이동하고, 전자들은 전원으로 이동하여 지속적으로 양공을 형성한다.

오답 피하기

ㄷ. Y는 n형 반도체이므로 전자가 양공보다 많다.

- 13** ㄱ. 다이오드에 걸리는 전압이 전위 장벽보다 작으면 전류가 흐르지 않는다. 즉, LED에 공급하는 에너지가 전위 장벽보다 작으면 빛을 방출하지 않는다. X는 빛을 방출하였고 Y는 빛을 방출하지 않았으므로 X의 전위 장벽이 Y보다 작다. 따라서 X에서 방출하는 빛은 빨간색이다.

ㄴ. X에서 빛이 방출되었으므로 X에는 순방향 바이어스가 걸려 있다. 따라서 전원의 (-)극에 연결된 B는 n형 반도체이다.

오답 피하기

ㄷ. B가 n형 반도체이므로 Y에도 순방향 바이어스가 걸려 있다. 다만 Y에 걸리는 전압이 Y의 전위 장벽보다 작아 전류가 흐르지 않는다.

문제 속 자료 **띠 간격에 따른 전자 전이**

순방향 바이어스가 걸림
 → A: p형 반도체
 B: n형 반도체

LED X: 전도띠 원자가 띠 E_X

LED Y: 전도띠 원자가 띠 E_Y

빛의 파장은 빛의 에너지와 반비례한다. $E_X < E_Y$ 이므로 $\lambda_X > \lambda_Y$ 이고 빨간색 파장이 파란색 파장보다 길기 때문에 LED X에서는 빨간 빛이 나온다.

LED에서 빛이 방출되기 위해서는 전위 장벽 이상의 순방향 바이어스가 걸려야 한다. X에 빛이 발생하는 것으로 보아 순방향 바이어스가 걸려 있으므로 Y 역시 순방향 바이어스가 걸려 있다. 하지만 Y에 빛이 방출되지 않는 까닭은 전원에서 공급되는 에너지가 전위 장벽보다 작기 때문이다.

- 14** ㄱ. 상온에서 반도체인 저마늄은 원자가 띠의 전자 중 일부가 열에너지를 흡수하여 전도띠로 전이한다. 이때 원자가 띠에는 전이한 전자의 빈 자리인 양공이 형성된다.
 ㄴ. (나)에서 a 주변에 공유 결합에 참여하지 못한 전자가 있으므로 a의 원자가 전자는 5개이다.
 ㄷ. n형 반도체에서 공유 결합에 참여하지 못한 전자는 전도띠로 전이하여 외부 전기장에 따라 쉽게 이동할 수 있다.

- 15 [모범 답안]** (1) 다이오드에 순방향 바이어스가 걸려 있으므로 p형 반도체에 연결된 a는 (+)극이다.

(2) p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자는 접합면 쪽으로 이동하여 재결합한다.

해설 다이오드에 순방향 바이어스가 걸리면 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 자유 전자가 계속 공급되어 접합면에서 재결합이 일어나고 전류가 흐른다.

- 16 [모범 답안]** (1) Q

(2) 교류 전원에서 전류가 흐르는 방향과 상관 없이 저항에는 항상 위에서 아래 방향으로 전류가 흐른다.

해설 A 방향으로 전류가 흐르면 D₁과 Q에 순방향 바이어스가 걸린다. 또 반대로 전류가 흐르면 D₂와 P에 순방향 바이어스가 걸린다. 따라서 교류 전원의 전류 방향과 상관 없이 저항에는 위에서 아래 방향으로 전류가 흐른다.

서술형 Tip

전류 회로의 역할을 생각하며 서술한다.

단원 마무리하기

p. 152 ~ 155



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

- 01** ㄱ. q가 음(-)전하일 경우 (+)전하인 Q₁과 음(-)전하인 Q₂로부터 받는 전기력의 방향은 모두 왼쪽이다.

ㄴ. 전하들 사이에 작용하는 전기력의 크기는 전하량에 비례하므로, 전하량이 커지면 전기력이 커진다.

오답 피하기

ㄷ. q가 양(+)전하이면 전기력이 0이 되기 위해서는 양(+)전하 Q₁과 음(-)전하 Q₂으로부터 받는 힘의 방향이 반대여야 한다. 하지만 C가 A와 B의 사이에서 받는 전기력 방향은 항상 같으므로 전기력의 세기가 0이 될 수 없다.

문제 속 자료 **전하 사이의 전기력**

C가 양(+)전하인 경우 A와 B로부터 받는 전기력의 합력 방향은 오른쪽이다.

C가 음(-)전하인 경우 A와 B로부터 받는 전기력의 합력 방향은 왼쪽이다.

- C가 A와 B로부터 받는 전기력의 합력이 0이 되기 위해서는 A와 B가 작용하는 힘의 방향은 반대여야 한다.
- 전기력의 크기는 두 전하의 전하량에 비례하고 거리 제곱에 반비례하므로 거리가 변하지 않은 조건에서 전하량이 증가하는 경우 전기력은 커진다.

(쿨롱 법칙: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$)

- 02 ㄱ. 빛의 파장은 에너지에 반비례한다. $E_2 > E_1$ 이므로 파장은 (가)에서 (나)에서보다 크다.

ㄴ. (나)에서 전자가 들뜬상태에서 에너지가 E_2 인 빛을 방출하며 바닥상태로 전이하였으므로, 바닥상태의 전자는 에너지가 E_2 인 빛을 흡수하면 들뜬상태로 전이할 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. 전자가 전이할 때 방출하는 빛의 에너지는 에너지 준위의 차이와 같다. $E_2 > E_1$ 이므로 전이하기 전 들뜬상태의 에너지는 (나)에서 (가)에서보다 크다. 따라서 들뜬상태의 양자수는 (나)에서 (가)에서보다 크다.

- 03 ㄴ. 다이아몬드는 띠 간격이 큰 절연체이다.

ㄴ. 저마늄의 띠 간격이 0.67 eV이므로 원자가 띠의 전자가 1 eV의 에너지를 흡수하면 전도띠로 전이할 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. 규소는 반도체이므로 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 있다.

- 04 ㄴ. 전자가 a를 방출한 후 b를 방출하며 전이할 때와 c를 방출하고 전이할 때 에너지 준위 차이가 같으므로 a, b의 광자 1개의 에너지의 합은 c의 광자 1개의 에너지와 같다.

ㄴ. $f_1 > f_2$ 이고 파장은 진동수에 반비례하므로 b의 파장은 진동수가 f_1 인 빛의 파장보다 크다.

오답 피하기

ㄱ. $f_1 > f_2$ 이므로 진동수가 f_1 인 빛의 에너지가 b의 에너지보다 크다. 따라서 f_1 은 c의 진동수이다.

- 05 ㄱ. 수소 원자 스펙트럼에서 가시광선은 들뜬상태의 전자가 $n=2$ 인 상태로 전이하며 방출하는 중 에너지가 제일 작은 4개의 빛이다. A는 가시광선 중 에너지가 가장 작은 빛이므로 $n=3$ 인 상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이하며 방출하는 빛이다.

오답 피하기

ㄴ. 발머 계열의 빛은 $n=1$ 인 상태와 $n=2$ 인 상태의 에너지 준위 차이보다 작다. 따라서 $n=1$ 인 상태에 있던 전자는 발머 계열의 빛을 흡수하여 전이할 수 없다.

ㄴ. 빛의 에너지는 파장에 반비례하므로 빛의 에너지는 C가 B보다 크다.

- 06 ㉠은 전자가 전이하며 에너지를 흡수하는 과정이고 ㉡은 에너지를 방출하는 과정이다. 흡수 스펙트럼에서 파장이 짧은 c가 d보다 에너지가 크므로 ㉠에 해당하는 스펙트럼 선은 c이다. 방출 스펙트럼에서 파장이 긴 b가 a보다 에너지가 작으므로 ㉡에 해당하는 스펙트럼 선은 b이다.

- 07 ㄱ. 상온에서 전기 전도성이 가장 좋고 온도가 올라갈수록 전기 전도성이 떨어지는 고체는 도체이다. 그러므로 A는 도체이고 대부분 도체에서 원자가 띠와 전도띠는 일부 겹쳐 있다.

ㄴ. 도체와 반대로 온도가 올라갈수록 전기 전도성이 좋아지는 고체는 반도체이다. 그러므로 B는 반도체이다.

ㄴ. 상온에서 전기 전도성은 도체인 A가 반도체인 B보다 좋다.

- 08 ㄴ. 기체의 종류에 따라 에너지 준위가 달라 흡수하는 빛의 파장이 다르므로 흡수선의 위치가 다르다.

오답 피하기

ㄱ. 빛의 에너지는 파장에 반비례하므로 파장이 짧은 b가 a보다 에너지가 크다.

ㄴ. 기체가 흡수하는 빛과 방출하는 빛의 파장은 같다. 따라서 기체 A를 가열하면 파장이 600 nm, 500 nm인 빛을 방출할 수 있고, 파장이 550 nm인 빛은 방출할 수 없다.

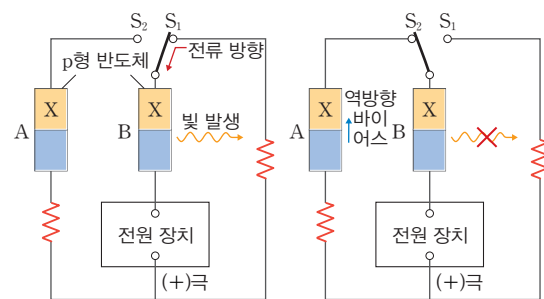
- 09 ㄴ. 스위치를 S_2 에 연결하면 A에는 역방향 바이어스가 걸려 회로에 전류가 흐르지 않으므로 B에서 빛이 방출되지 않는다.

오답 피하기

ㄱ. X는 양공이 있으므로 p형 반도체이다. 스위치를 S_1 에 연결했을 때 B에서 빛이 방출되었으므로 전원 장치의 아래쪽이 (+)극이다. 스위치를 S_2 에 연결하면 A에는 역방향 바이어스가 걸린다.

ㄴ. B에 전류가 흐르지 않으므로 전자와 양공은 재결합하지 않는다.

문제 속 자료 다이오드 회로



- (가) 스위치를 S_1 에 연결한다.
→ B에서 빛이 방출되고, X가 p형 반도체이다.
→ 붉은 화살표 방향으로 전류가 흐른다.
→ 전원 장치의 아래쪽이 (+)극이다.
- (나) 스위치를 S_2 에 연결한다.
→ A에 역방향 바이어스가 걸린다.
→ 전류가 흐르지 않는다.
→ B에서 빛이 방출되지 않는다.

- 10 ㄴ. B와 C는 모두 p형 반도체이므로 양공이 주요 전하 운반체이다.

ㄷ. D의 전도띠에 있는 전자는 접합면에서 에너지를 잃고 원자가 띠로 전이하여 양공과 재결합한다.

오답 피하기

ㄱ. LED에서 빛이 방출되므로 p-n 접합 다이오드에 순방향 전류가 흐른다. 전원 장치의 (+)극에 p형 반도체가 연결되어야 하므로 A는 n형 반도체이다.

- 11** ㄴ. (나)에는 공유 결합에 참여하지 못하는 전자가 있으므로 n형 반도체이다.

오답 피하기

ㄱ. 상온에서 순수한 반도체는 양공과 자유 전자의 수가 같다.
ㄷ. 순수한 반도체에 불순물을 첨가하면 전기 전도성이 좋아진다. 따라서 전기 전도성은 (나)가 (가)보다 좋다.

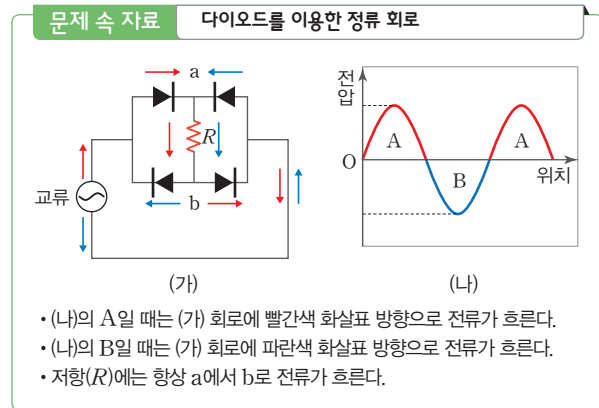
- 12** ㄱ. 반도체는 절대 온도 0 K에서 전도띠에 전자가 없지만 온도가 올라가면 열에너지를 흡수한 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이한다. 따라서 이 고체는 반도체이다.

ㄴ. T_2 일 때가 T_1 일 때보다 전도띠에 자유 전자가 많으므로 $T_2 > T_1$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 전도띠에 자유 전자가 많으면 전기 전도성이 좋고 비저항이 작다. 따라서 비저항은 T_1 일 때가 T_2 일 때보다 크다.

- 13** 4개의 다이오드를 이용한 정류 회로에서는 교류 전원의 전압 방향에 상관 없이 저항에 한 방향으로 전류가 흐른다.



- 14** ㄴ. 반도체는 온도가 올라가면 전도띠로 전이하는 전자가 많아지고, 원자가 띠에는 양공이 많아진다.

ㄷ. 상온에서 전기 전도성은 도체인 (가)가 절연체인 (나)보다 좋다.

오답 피하기

ㄱ. 반도체의 띠 간격은 절연체의 띠 간격보다 작다. 따라서 반도체의 에너지 띠 구조는 (다)이다.

- 15** ㄱ, ㄴ. LED에서 빛이 방출되고 있으므로 LED에 순방향 바이어스가 걸린다. p형 반도체에 연결된 a는 (+)극이다.

ㄷ. LED에 순방향 바이어스가 걸릴 때 p형 반도체의 양공은 접합면으로 이동하여 전자와 재결합한다.

- 16** ㄱ, ㄴ. A에 순방향 바이어스가 걸릴 때 전류는 A → 저항 → D로 흐르며, A에 역방향 바이어스가 걸릴 때 전류는 B → 저항 → C로 흐른다. 따라서 저항에 흐르는 전류의 방향은 항상 같다.

오답 피하기

ㄷ. C에 전류가 흐를 때는 P에 화살표 방향으로 전류가 흐르고, 이때 D에는 역방향 바이어스가 걸리므로 전류가 흐르지 않는다.

2. 자기

01 | 전류에 의한 자기장

탐구 대표 문제 p. 158

01 ③

- 01** ③ 전류에 의한 자기장은 도선과의 거리에 반비례한다.

오답 피하기

- ① 저항값을 크게 하면, 전류의 세기가 감소하여 전류에 의한 자기장의 세기도 감소한다. (옴의 법칙 $V=IR$ 에 의해 저항과 전류의 세기가 반비례 관계임을 알 수 있다.)
- ② 전류의 세기가 증가하면 전류에 의한 자기장 세기도 증가한다.
- ④ 전류의 방향을 반대 방향으로 바꾸면 나침반의 N극이 회전하는 방향이 반대가 된다.
- ⑤ 전류의 세기가 증가하면 나침반 바늘의 회전 각도는 증가한다.

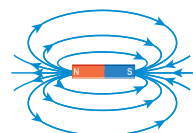
기초 단단 문제 p. 162

01 ② **02** ② **03** ① **04** ③ **05** ③ **06** ⑤

- 01** 지구 자기장의 방향은 북쪽이며, 나침반의 N극은 자기력에 의해 북쪽을 향한다.

오답 피하기

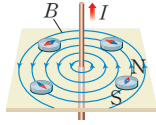
- ② 자석의 N극 주변에서는 자기력선이 나오고, S극 주변에서는 자기력선이 모여 들어가는 모양이다.



02 ② 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류의 세기에 비례한다.

오답 피하기

- ① 직선 도선 주위의 자기장은 도선을 중심으로 하는 시계 또는 반시계 방향이다.
 ③ 도선으로부터 멀수록 자기장의 세기가 감소한다.
 ④ 도선 주변의 자기장 방향은 도선을 중심으로 동심원 모양이므로 나침반의 N극이 가리키는 방향도 동심원을 이루는 방향이다.
 ⑤ 전류가 일정하면 자기장의 세기도 일정하다.



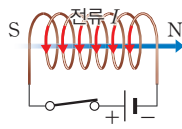
03 도선의 위쪽 방향으로 전류가 흐르면 도선을 중심으로 자기장이 시계 반대 방향으로 형성되고, 도선의 아래쪽 방향으로 전류가 흐르면 도선을 중심으로 자기장이 시계 방향으로 형성된다. 자기장의 방향은 나침반의 N극이 가리키는 방향이다.

04 원형 도선의 중심에 형성되는 자기장은 전류의 방향에 따라 수직으로 나오는 방향이거나 수직으로 들어가는 방향이다. 원형 도선 중심에 형성되는 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례한다. ($B \propto \frac{I}{r}$)

05 솔레노이드 내부에는 전류에 의해 오른쪽 방향으로 자기장이 형성된다.

오답 피하기

- ③ 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 단위길이당 감은 수와 전류의 세기에 비례한다. ($B \propto nI$)



06 발광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합시킨 전기소자로, 한쪽 방향으로 전류가 흐를 때 빛을 발생시키는 원리를 이용한 것이다.

내신 만점 문제

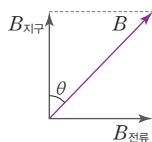
p. 163 ~ 165

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

12~13 해설 참조

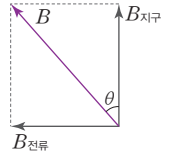


01 ㄱ. 지구 자기장의 방향은 북쪽, 전류에 의한 자기장 방향은 동쪽이며, 이들이 합성되어 북동쪽으로 자기장이 형성된다. 따라서 나침반의 N극은 북동쪽을 향한다.



오답 피하기

- ㄴ. 도선 아래쪽에서 전류에 의한 자기장의 방향이 동쪽 방향이기 때문에 전류의 방향은 남쪽이다.
 ㄷ. 전류의 방향이 반대가 되면 전류에 의한 자기장이 서쪽이 된다. 지구 자기장인 북쪽과 합성되어서 나침반의 N극은 북서쪽을 가리킨다.



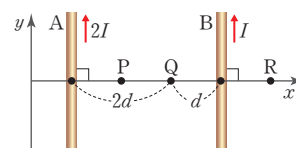
02 ㄱ. R에서 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 나타나려면 B에 흐르는 전류의 방향이 +y가 되어야 한다.

- ㄴ. Q점은 A 도선과 더 멀리 있지만 Q에서 A, B 도선에 의한 자기장의 합은 0이다. 즉, 도선에 흐르는 전류의 세기는 $A > B$ 이다.

오답 피하기

- ㄷ. P에서 A에 의한 자기장의 방향은 \otimes , B에 의한 자기장의 방향은 \odot 이며, 자기장의 세기는 $A > B$ 이다. 따라서 P점에서 자기장의 방향은 수직으로 들어가는 방향이다.

문제 속 자료 두 직선 전류에 의한 자기장 합성



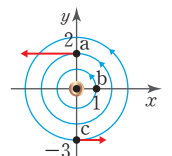
	P	Q	R
B_A	\otimes	\otimes	\otimes
B_B	\odot	\odot	\otimes

- 자기장의 방향이 Q점에서 서로 반대가 되어 상쇄되므로 두 도선에 흐르는 전류의 방향이 같다.
- Q에서 A, B 도선까지의 거리는 각각 $2d, d$ 이다. Q에서 자기장의 세기가 0이므로 전류의 세기는 A가 B의 2배이다.

03 직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 전류의 세기에 비례하고 도선으로부터의 거리에 반비례한다. A, B, C점은 도선으로부터 떨어진 거리의 비가 1 : 1 : 2 이므로 자기장의 세기의 비는 2 : 2 : 1이다.

04 종이면에서 직선 도선에 위쪽 방향으로 전류가 흐르고 있으므로 A는 수직으로 나오는 방향이고, B와 C는 수직으로 들어가는 방향이다.

05 xy 평면에서 수직으로 나오는 전류에 의한 자기장은 반시계 방향을 형성한다.
 ㄱ. a 지점에서 형성되는 자기장의 방향은 $-x$ 방향이다.



오답 피하기

- ㄴ. 자기장의 세기와 도선과의 거리는 반비례 관계이므로 거리가 가장 가까운 b에서 자기장의 세기가 가장 세다.
 ㄷ. 자기장의 방향은 a에서는 $-x$, c에서는 $+x$ 방향이다.

- 06 원형 도선 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례한다.

ㄴ. 전류의 세기가 2배가 되면 자기장의 세기도 2배가 된다.

오답 피하기

ㄱ. 원형 도선의 전류가 시계 방향으로 흐르므로 중심에서 자기장의 방향은 지면에 수직으로 들어가는 방향이다.

ㄷ. 원형 전류에 의한 자기장의 세기는 도선이 만드는 원의 반지름에 반비례하므로 반지름이 2배 증가하면 자기장의 세기는 $\frac{B_0}{2}$ 가 된다.

- 07 A에서 원형 전류에 의한 자기장의 방향은 수직으로 들어가는 방향이고 세기는 B_0 이다.

ㄱ. P의 전류의 세기가 I_0 일 때, A에서 P와 Q에 의한 자기장이 0이므로 A에서의 P에 의한 자기장의 세기는 B_0 이고 방향은 수직으로 나오는 방향이므로 P의 전류의 방향은 $-y$ 이다.

ㄴ, ㄷ. P의 전류의 세기가 $2I_0$ 이고 전류의 방향이 $+y$ 가 되면 A에서의 P에 의한 자기장의 세기는 $2B_0$ 이므로 P와 Q에 의한 자기장의 세기는 $3B_0$ 가 된다.

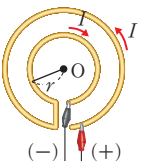
- 08 원형 도선 중심에서 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다. 두 원형 도선은 하나로 이어진 도선으로, 흐르는 전류의 세기는 같지만, 두 원형 도선의 반지름이 달라 O에서 두 원형 도선이 만드는 자기장의 세기와 방향은 다르다.

오답 피하기

ㄱ. O에서 자기장의 방향은 수직으로 들어가는 방향이다.

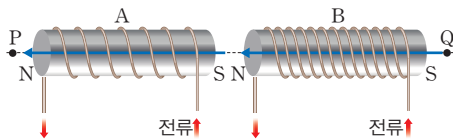
ㄴ. 전류의 세기를 증가시키면 O에서 자기장의 세기도 증가한다.

문제 속 자료 원형 전류에 의한 자기장



안쪽 원형 도선에는 시계 방향으로 전류가 흐르고, 바깥쪽 원형 도선에는 반시계 방향으로 전류가 흐른다. 전류의 세기는 일정하지만, O에서 자기장의 세기는 도선의 반지름에 반비례하므로 안쪽 원형 도선이 형성하는 자기장의 세기가 더 세다.

- 09 솔레노이드 A와 B의 중심축에서 자기장의 방향은 왼쪽 방향이다. 따라서 A와 B에 형성되는 자극은 그림과 같다.



P에서 자기장의 방향이 왼쪽이므로 나침반의 N극도 왼쪽 방향을 가리킨다. A와 B는 서로 반대 극이 마주보고 있으므로 인력이 작용하고, 감은 수는 B가 A의 2배이므로 B가 형성하는 자기장의 세기가 A가 형성하는 자기장의 세기보다 더 세다.

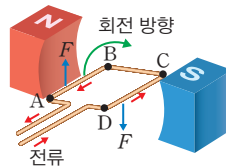
- 10 스피커의 코일에 전류가 흐르면 코일이 자기장을 형성하여 전자기력이 되고, 코일과 영구 자석 사이의 상호 작용에 의한 자기력으로 진동판이 진동하게 된다. 코일에 흐르는 전류가 반대 방향이 되면 코일에 의한 전자기력의 자극이 반대 방향이 되어 자석과 반대 방향으로 자기력이 작용한다.

- 11 ㄱ, ㄴ. 전류에 의한 자기장과 자석에 의한 자기장이 상호 작용하여 도선이 자기력을 받아 회전한다. 전동기는 도선에 흐르는 전기 에너지를 도선이 회전하는 운동 에너지로 전환시킨다.

오답 피하기

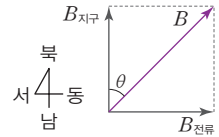
ㄷ. 전류의 방향이 바뀌면 자기력의 방향도 바뀐다.

문제 속 자료 자기력



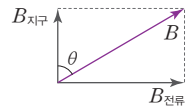
사각형 도선에 흐르는 전류는 세기와 방향이 주기적으로 변하는 교류이다. 자기장의 방향은 N극에서 S극으로 향하고, 도선 AB와 CD가 받는 힘(F)은 방향은 반대이고 크기가 같다.

- 12 (1) 나침반 자침의 N극이 북동쪽을 가리키려면 전류에 의한 자기장의 방향이 동쪽이어야 하므로 전류의 방향은 아래 방향이다.



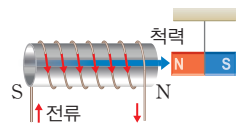
[모범 답안] 아래 방향, 나침반에 전류에 의한 자기장이 동쪽 방향이기 때문이다.

(2) 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선과의 거리에 반비례한다($B \propto \frac{I}{r}$). 전류의 세기가 증가하면 전류에 의한 자기장도 세진다.



[모범 답안] 전류의 세기를 증가시킨다. 나침반의 위치를 도선에 가까이 한다.

- 13 (1) 스위치를 닫으면 솔레노이드 내부에서의 자기장 방향은 오른쪽 방향이므로 솔레노이드는 왼쪽이 S극, 오른쪽이 N극을 형성한다.



따라서 솔레노이드와 자석은 서로 밀어내는 척력이 작용한다.

[모범 답안] 오른쪽 방향, 서로 밀어내는 힘이 작용한다.

(2) 솔레노이드의 자기장을 강하게 하면 솔레노이드와 자석 사이의 자기력을 증가시킬 수 있다. 솔레노이드의 자기장을 증가시키는 방법은 코일의 감은 수를 증가시키거나 코일에 흐르는 전류를 증가시킨다.

[모범 답안] 코일의 감은 수를 증가시킨다. 코일에 흐르는 전류를 증가시킨다.

02 | 물질의 자성



탐구 대표 문제

p. 169

01 ① 02 유리 막대

01 알루미늄 포일은 상자성체이며, 외부 자기장을 가하였을 때 외부 자기장의 방향으로 약하게 자기화된다.

오답 피하기

- ③ 오이가 자석에 밀려난 것은 반자성 물질인 물이 포함되어 있기 때문이다.
- ④ 유리 막대는 반자성체이므로 네오디뮴 자석의 자기장 방향과 반대 방향으로 자기화된다.
- ⑤ 상자성체와 반자성체는 자석을 제거하면 자성을 잃어버리므로 자성이 사라진다.

02 외부 자기장을 가까이 하였을 때 외부 자기장의 반대 방향으로 자화되고, 제거하였을 때 자성이 사라지는 물질은 반자성체인 유리 막대이다. 쇠못은 강자성체, 알루미늄 포일은 상자성체이다.



기초 탐구 문제

p. 170

01 ① 02 ① 03 ⑤ 04 ① 05 ② 06 ②

01 전자의 궤도 운동: 전자가 원자핵 주위를 궤도 운동하므로 자기장이 형성된다.

전자의 스핀: 전자의 회전 운동으로 인해 자기장이 형성된다.

오답 피하기

- ① 원자핵 자체가 운동하는 것이 아니라 원자 속 전자의 궤도 운동과 스핀으로 원자가 자성을 띌 수 있다.

02 ③ 강자성체는 자기화된 상태를 오랫동안 유지하지만 영구히 유지되는 것은 아니다. 시간이 지날수록 자기화된 자기 구역이 다시 흐트러진다.

⑤ 전자석은 코일 속에 강자성체인 철심을 넣어 강한 자기장을 형성할 수 있다. 자기 테이프는 강자성체를 이용하여 정보를 저장한다.

오답 피하기

- ① 강자성체는 외부 자기장과 같은 방향으로 자화되므로 자석과 인력이 작용한다.

03 자성체 중 외부 자기장의 방향과 반대로 자기화되는 물질은 반자성체이다.

니켈과 코발트는 강자성체이고, 알루미늄과 종이는 상자성체, 구리는 반자성체이다.

04 상자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되며, 자석과 인력이 작용한다.

05 액체 자석은 강자성체를 이용하므로 외부 자기장의 방향으로 자화되며, 외부 자기장이 제거되어도 오랫동안 자성을 유지한다. 이러한 성질을 이용하여 지폐의 위조 방지, MRI의 조영제 등에 이용된다.

오답 피하기

- ② 액체 자석은 강자성체 분말을 이용한다. 강자성체 분말을 이용해야 외부 자기장이 사라진 상태에서도 오랫동안 자성을 유지할 수 있다.

06 헤드에 흐르는 전류의 방향에 따라 강자성 물질의 자화 방향이 다르게 형성된다.

오답 피하기

- ① 하드 디스크의 플래터 표면에는 강자성 물질이 들어 있다.
- ③ 하드 디스크의 플래터는 강자성체의 자화 방향을 이용하여 정보를 저장한다. 전원을 차단해도 강자성체가 자화 방향을 유지하는 성질 때문에 저장된 정보가 그대로 유지된다.
- ④ 디스크 모터가 디스크를 회전시킨다. 회전 속도가 빠를수록 정보 읽기 성능이 좋다.
- ⑤ 플래터 표면의 작은 구역을 자기장 방향이 서로 다르게 하여 디지털 정보를 저장한다.

내신 만점 문제

p. 171 ~ 173

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



01 나. 알루미늄 조각이 자석에 끌려가기 위해서는 a의 반대편이 S극이어야 한다. 따라서 a에는 N극이 형성된다.

오답 피하기

- ㄱ. 알루미늄 조각이 자석과 인력이 작용하므로 알루미늄 조각은 반자성체가 아니다.
- ㄷ. 자석의 S극이어도 알루미늄 조각은 자석의 자기장 방향으로 자화되므로 자석에 끌려가게 된다.

02 ㄱ. 샤프심이 자석에서 밀려나고 있으므로 반자성체이다.

오답 피하기

ㄴ. 반자성체는 자석(외부 자기장)의 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

ㄷ. 자석의 극성에 관계없이 반자성체는 자석의 자기장의 방향과 반대 방향으로 자화되며 자석에서 밀려난다.

03 강자성체는 그림 (가)와 같이 외부 자기장이 가해졌을 때 외부 자기장의 방향으로 자화되고, 그림 (나)와 같이 외부 자기장을 제거하였을 때 자화된 상태를 오래 유지하는 물질이다.

04 상자성체는 그림 (가)와 같이 외부 자기장이 가해졌을 때 외부 자기장의 방향으로 약하게 자화되고, 그림 (나)와 같이 외부 자기장을 제거하였을 때 자성이 사라지는 물질이다.

오답 피하기

ㄱ. 상자성체이다.

ㄴ. 그림 (가)에서 외부 자기장의 방향과 물질에 형성된 자기장의 방향이 같다.

05 강자성체는 자석과 인력이 작용하고, 반자성체는 자석과 척력이 작용한다. 솔레노이드에 전류의 방향이 바뀌어 반대 방향의 자기장이 형성되어도 강자성체(Q)는 외부 자기장과 같은 방향으로, 반자성체(P)는 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 (A)와 (B) 모두 왼쪽 방향이다.

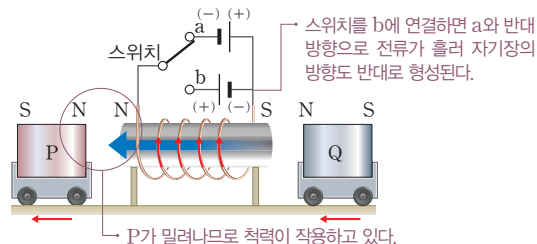
오답 피하기

ㄱ. P는 척력에 의해 왼쪽으로 운동하였으므로 반자성체이고, Q는 인력에 의해 왼쪽으로 운동하였으므로 강자성체이다.

ㄴ. P의 오른쪽 면에는 N극이 형성된다.

문제 속 자료 전류에 의한 자기장과 자성체의 자기화

스위치를 a에 연결하면 전류의 방향이 아래 그림과 같으므로 솔레노이드의 왼쪽 면에 N극이 형성된다. 실험에서 P가 왼쪽으로 운동하였으므로 P의 오른쪽 면에는 솔레노이드의 왼쪽 면을 밀어내는 극인 N극이 형성된다.



06 물체 A에 아래 방향으로 중력, 위 방향으로 자기력이 작용하고 두 힘의 크기가 같아 알짜힘이 0인 상태로 떠서 정지해 있다. A는 자석과 척력이 작용하므로 반자성체이다.

오답 피하기

ㄴ. 반자성체는 자석에서 멀리 하면 자성이 약해지거나 사라진다.

ㄷ. 반자성체는 자석의 자기장 방향과 반대로 자화된다.

07 저울의 측정값은 저울의 표면을 누르는 힘이 커지면 증가하고, 작아지면 감소한다. 물체 A에 의해 저울의 측정값이 감소하였으므로 물체 A는 자석을 당기는 힘을 작용하고, 물체 B에 의해 저울의 측정값이 증가하였으므로 물체 B는 자석을 누르는 힘을 작용한다.

ㄱ. 물체 A는 자석을 당기므로 상자성체이고 자기화 방향은 자석의 자기장 방향과 같다.

ㄷ. A에 의해 저울의 측정값이 0.004 N 감소하였으므로 A가 자석을 당기는 힘은 0.004 N이다. B에 의해 저울의 측정값이 0.002 N 증가하였으므로 B가 자석을 누르는 힘은 0.002 N이다.

오답 피하기

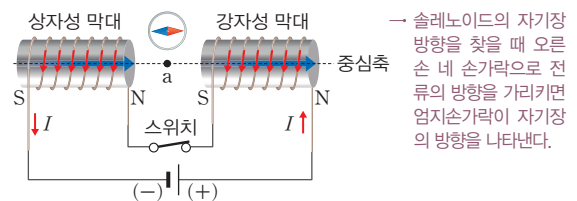
ㄴ. B는 반자성체이므로 자석의 자기장 방향과 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 B의 아랫면은 자석의 윗면과 같은 극인 N극이다.

08 상자성 막대와 강자성 막대는 솔레노이드에 의한 자기장과 같은 오른쪽 방향으로 자기화된다.

오답 피하기

ㄷ. 강자성 막대는 솔레노이드에 의한 자기장이 사라져도 자기화를 유지하므로 a점에서는 자기장이 오른쪽 방향으로 존재한다.

문제 속 자료 솔레노이드 안 강자성체와 상자성체



→ 솔레노이드의 자기장 방향을 찾을 때 오른손 네 손가락으로 전류의 방향을 가리키면 엄지손가락이 자기장의 방향을 나타낸다.

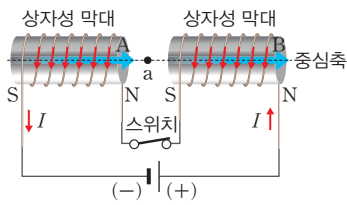
09 ㄱ. 상자성체는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화되므로, A와 B의 자극은 N극이다.

오답 피하기

ㄴ. a점에서는 오른쪽 방향으로 자기장의 방향이 존재하므로 자기장의 세기도 존재한다.

ㄷ. 상자성체는 외부 자기장이 사라지면 자기화가 사라진다. 따라서 상자성 막대 사이에는 자기력이 작용하지 않는다.

문제 속 자료 상자성체의 자기화



→ 솔레노이드에 의한 자기장이 오른쪽 방향이므로 상자성 막대의 자기화 방향도 오른쪽 방향이 된다. 따라서 A와 B 모두 N극을 띤다.

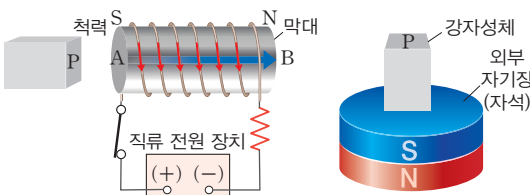
- 10 코일에 흐르는 전류의 방향에 의해 자기장의 방향이 결정되고, 그 방향으로 하드 디스크의 플래터에 들어 있는 강자성체가 자기화된다. 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 코일에 형성되는 자기장의 방향이 바뀌므로 정보 저장 물질인 강자성체의 자기화 방향이 바뀌고 이를 이용하여 정보를 저장한다.

오답 피하기

ㄷ. 플래터의 정보 저장 물질은 강자성체이다.

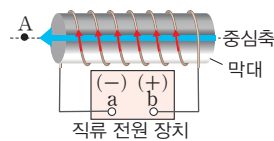
- 11 (1) [모범 답안] A: S극, B: N극, 솔레노이드 내부에 형성되는 자기장의 방향은 오른쪽 방향이다.
(2) [모범 답안] 물체가 솔레노이드에서 밀려나므로 P는 S극이고, P에 S극을 형성하기 위해서는 자석의 윗면이 S극이어야 한다.

문제 속 자료 자기화된 강자성체



솔레노이드와 물체 사이에 척력이 발생하므로 P는 S극이어야 하고, 물체는 자석의 자기장과 같은 방향으로 자화되므로 자석의 윗면이 S극이다.

- 12 a가 (-)극, b가 (+)극일 때 솔레노이드에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향은 왼쪽 방향이 된다.



[모범 답안] (1) 왼쪽 방향

- (2) 자기장의 세기: 강자성 막대 > 상자성 막대 > 반자성 막대, 강자성체는 솔레노이드의 자기장 방향으로 강하게 자기화되고, 상자성체는 약하게 자기화되고, 반자성체는 반대 방향으로 자기화된다.

따라서 A점에서 자기장의 세기는 강자성체를 사용할 때가 가장 강하고 반자성체를 사용할 때가 가장 약하다.

03 | 전자기 유도



탐구 대표 문제

p. 179

01 ④ 02 왼쪽 방향

- 01 N극을 멀리 할 때와 S극을 가까이 할 때 전류의 방향은 같다.

오답 피하기

- ① 솔레노이드와 자석의 상대적 운동이 0이면 유도 전류가 흐르지 않는다.
② 자석을 느리게 움직이면 전류의 세기가 감소한다.
③ 자석의 세기가 강할수록 전류의 세기가 증가한다.
⑤ 자석의 S극을 솔레노이드에 가까이 할 때와 멀리 할 때 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

- 02 솔레노이드에 N극을 가까이 할 때 흐르는 유도 전류의 방향과 S극을 멀리 할 때 흐르는 유도 전류의 방향은 같다.



기초 탐구 문제

p. 180

01 ① 02 ③ 03 ④ 04 ⑤ 05 ② 06 ②

- 01 솔레노이드를 통과하는 자기 선속이 변할 때 솔레노이드에 전류가 유도되는 현상을 전자기 유도로 하고, 이때 흐르는 전류를 유도 전류라고 한다.

오답 피하기

- ④ 정전기 유도란 대전체에 의해 물체의 한쪽이 (+)극, 반대쪽이 (-)극을 띠게 되는 현상을 말한다. 자기 전류라는 표현은 존재하지 않는다.
⑤ 피뢰침과 같이 땅으로 연결된 전선을 통해 흐르는 전류를 접지 전류라 한다.

- 02 전자기 유도 현상은 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 유도 전류가 흐르는 현상으로, 유도 전류의 세기는 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다.

오답 피하기

- ③ 코일 속에 자석을 넣고 정지해 있으면 코일 속 시간당 자기 선속의 변화량이 0이므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

- 03 코일과 자석이 상대적으로 운동할 때 코일에 유도 전류가 흐른다. 코일과 자석이 함께 일정한 간격을 유지하며 운동하면 서로의 상대 속도는 0이므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

- 04** ① 자석의 N극에서는 나오는 방향의 자기장이 형성되므로 자석의 N극을 아래 방향으로 하고 솔레노이드에 접근시키면 솔레노이드에는 아래 방향의 자기 선속이 증가한다.
 ② 솔레노이드에는 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 자석의 N극을 접근시키면 유도 전류가 형성하는 자기장의 방향은 위 방향이다.
 ③ 전자기 유도 현상의 변화를 방해하는 성질에 의해 자석이 가까이 접근하면 접근하지 못하게 하는 방향으로 자기력이 작용한다.
 ④ 강한 자석을 사용하면 자기력선의 수가 많아지므로 자기 선속의 시간적 변화율이 커진다. 따라서 유도 전류의 세기는 자석의 세기에 비례한다.

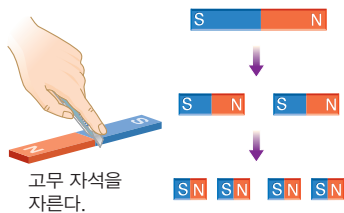
오답 피하기

- ⑤ 자석이나 솔레노이드를 빠르게 움직일수록 유도 전류의 세기가 세진다. 자석의 N극을 더 빠르게 가까이 하였으므로 검류계 바늘은 a 방향으로 더 크게 움직인다.

- 05** 솔레노이드에 N극을 가까이 할 때 흐르는 전류의 방향을 기준으로, N극을 멀리 할 때와 S극을 가까이 할 때 흐르는 전류의 방향이 반대이고, S극을 멀리 할 때 흐르는 전류의 방향은 같다.

오답 피하기

- ①, ⑤ 솔레노이드에 자석을 넣고 가만히 있으면 솔레노이드에 전류가 흐르지 않는다.
 ③ 솔레노이드를 자석의 N극에 가까이 할 때와 자석의 N극을 솔레노이드에 가까이 할 때는 같은 상황이다.
 ④ 자석은 계속해서 잘라도 N극과 S극으로 분리되지 않고 항상 N극과 S극이 쌍으로 존재한다. 따라서 자석을 작게 잘라도 각각이 작은 자석이 되기 때문에 검류계 바늘은 a 방향으로 움직인다.



- 06** 전동기는 전류에 의한 자기 작용을 이용한 장치이다.

문제 속 자료 발전기와 전동기의 차이

발전기는 운동 에너지를 전기 에너지로, 전동기는 전기 에너지를 운동 에너지로 전환한다.
 발전기는 코일을 회전시키면 전자기 유도에 의해 유도 전류가 흐르는 원리로 키토드의 발광 바퀴, 자전거의 전조등용 발전기 등에 이용된다.
 전동기는 전류가 흐르면 코일이 자석 사이에서 자기력을 받아 회전하는 원리로 선풍기, 세탁기, 무인 조정 비행기, 전동휠 등에 이용된다.

내신 만점 문제

p. 181 ~ 183

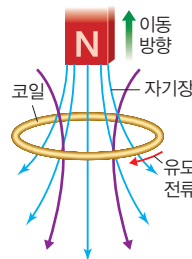
- 01** ⑤ **02** ① **03** ⑤ **04** ⑤ **05** ④ **06** ④
07 ④ **08** ③ **09** ① **10** ⑤ **11** ②

12~13 해설 참조



- 01** 코일을 아래 방향으로 통과하는 자기 선속이 감소하므로 코일은 아래 방향으로 유도 자기장을 형성하고 이때 흐르는 전류의 방향은 a가 된다. 전자기 유도 현상에 의해 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력이 작용한다.

문제 속 자료 유도 전류의 형성



자석의 N극이 멀어지면서 코일을 통과하는 자기 선속이 줄어든다. 따라서 코일은 자기 선속의 변화를 거부하는 방향인 아래 방향으로 자기장을 형성한다.
 이때 오른손의 엄지손가락이 아래 방향으로 자기장의 방향을 가리킬 때 나머지 네 손가락이 전류의 방향을 가리킨다. 따라서 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.

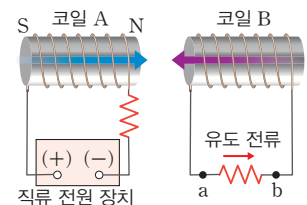
- 02** 전자기 유도 현상은 자석의 운동을 방해하는 방향으로 나타난다. 따라서 자석이 코일에 다가올 때는 다가오지 못하게, 멀어질 때는 멀어지지 못하게 자기력이 작용하므로 자석이 운동하는 폭이 감소하여 최대 각도 θ 는 감소한다.

오답 피하기

- ㄴ. 코일 앞에 자석의 S극이 가까워지거나 멀어지므로 전류의 방향이 바뀐다.

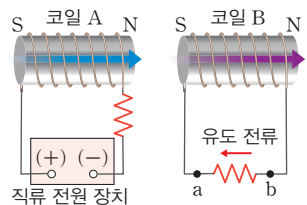
- 03** ㄱ. 코일 A의 중심에는 전류에 의한 자기장의 방향이 오른쪽 방향이다.

- ㄴ. 전원 장치의 전압이 증가하면 코일 A에 흐르는 전류가 증가하여 오른쪽 방향의 자기장이 증가한다. 이 자기장의 영향으로 코일 B



- 를 통과하는 오른쪽 방향의 자기 선속이 증가하므로 코일 B는 왼쪽 방향으로 자기장을 형성하며 유도 전류가 흐른다.

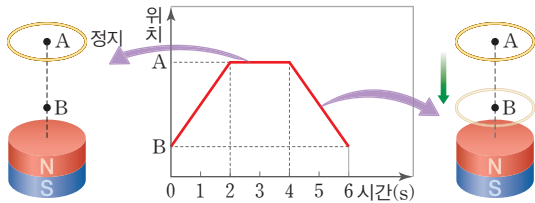
- ㄷ. 전원 장치의 전압이 감소하면 코일 A에 흐르는 전류가 감소하여 오른쪽 방향의 자기장이 감소한다. 코일 B는 오른쪽 방향으로



- 자기장을 형성하며 유도 전류가 흐른다. 따라서 코일 A와 B는 서로 인력이 작용한다.

- 04 ㄱ. 0~2초까지 원형 도선은 자석의 N극에서 멀어지고 있으므로 도선에 흐르는 유도 전류에 의한 자기장은 위 방향이다. 따라서 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.
 ㄴ. 2~4초 동안 원형 자석과 원형 도선이 일정한 거리가 유지되므로 원형 도선에 자기 선속의 변화가 없어 유도 전류가 흐르지 않는다.
 ㄷ. 4~6초 동안 원형 도선과 원형 자석이 가까워지므로 자기력의 방향은 서로 밀어내는 방향이다.

문제 속 자료 전자기 유도 현상의 그래프 분석



그래프에서 2~4초일 때 원형 도선의 위치가 A에서 변함이 없다. 가만히 있으면 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다. 4~6초일 때 원형 도선의 위치가 A에서 B로 가까워지면 자기력은 도선에 자기 선속의 변화가 커져 위로 작용한다.

- 05 자석의 N극에서는 아래 방향의 자기장이 형성되므로 코일 내부에는 아래 방향의 자기장이 증가한다. 단, 이때의 유도 자기장의 방향은 위 방향으로 형성된다.
 바늘의 움직인 각 θ 는 유도 전류의 세기에 비례하므로, 자기장의 세기가 더 센 막대자석을 사용하면 유도 전류가 세져 각 θ 가 증가한다.

오답 피하기

ㄴ. 막대자석의 속력이 빠를수록 회로에 흐르는 유도 전류의 세기가 증가하므로 각 θ 도 증가한다.

- 06 ㄴ. 자석이 q를 지날 때, 자석의 S극이 솔레노이드에서 멀어지고 있어 솔레노이드에 형성되는 자기장의 방향은 오른쪽 방향이므로 유도 전류는 b → 저항 → a 방향으로 흐른다.
 ㄷ. 전자기 유도 현상에 의해 자기력은 운동을 방해하는 방향으로 작용한다. p와 q에서 자기력은 왼쪽 방향으로 같다.

오답 피하기

ㄱ. 자석이 솔레노이드에 가까워지므로 자석은 전자기 유도 현상에 의해 솔레노이드로부터 운동 방향의 반대 방향으로 자기력을 받는다.

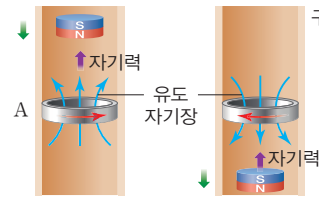
- 07 플라스틱관에서는 자석을 낙하시켜도 전자기 유도 현상에 의한 자기력이 작용하지 않기 때문에 자석은 A와 같은 자유 낙하 운동을 한다. 구리관에서는 전자기 유도에 의한 자기력에 의해 자석의 낙하 시간이 길어진다.

- 08 A와 B는 작용하는 힘이 중력뿐이므로 알짜힘이 중력인 자유 낙하 운동을 한다. C에는 전자기 유도에 의해 자기력이 운동을 방해하는 위 방향으로 나타난다.

오답 피하기

ㄴ. 플라스틱관에서는 전자기 유도 현상이 일어나지 않는다.

문제 속 자료 구리관을 통과하는 자석



구리관에서는 전자기 유도 현상이 일어난다. 자석이 A지점에 가까워지면 위 방향으로 자기력이 발생한다. A지점에서 멀어지면 떨어지고 있는 자석을 잡아당기는 방향으로 자기력이 발생하여 낙하 시간이 길어진다.

- 09 교통 카드는 전자기 유도 현상에 의한 유도 전류를 이용하여 정보를 처리한다.

오답 피하기

ㄱ. 교통 카드 속 코일에 유도 전류가 흐르기 위해서는 단말기에서 변하는 자기장이 발생해야 한다.

ㄷ. 교통 카드는 내장된 전원 장치가 존재하지 않고 유도 전류를 이용하여 정보를 처리한다.

- 10 ㄱ. 도선 고리가 회전하면 도선 고리를 통과하는 자기 선속이 변하므로 유도 전류가 흘러 전구에 불빛이 들어온다.

ㄴ. 고리가 회전하지 않으면 도선 고리를 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 전구에는 불빛이 들어오지 않는다.

ㄷ. 고리를 빠르게 회전시키면 고리를 통과하는 시간당 자기 선속의 변화량이 커지므로 유도 전류가 증가하여 전구의 불빛이 밝아진다.

- 11 무선 충전기에서 발생하는 변화하는 자기장이 휴대 전화에 유도 전류를 흐르게 하여 배터리를 충전시킨다.

오답 피하기

ㄱ. 코일 속 위 방향의 자기장이 감소하면 코일에 흐르는 유도 전류는 위 방향의 자기장을 형성하기 위해 b방향으로 흐른다.

ㄴ. 자기장이 일정하면 코일에는 유도 전류가 흐르지 않으므로 전기 에너지를 생산하지 못한다.

- 12 (1) 코일에 자석의 N극이 다가올 때 흐르는 전류의 방향과 멀어질 때 흐르는 전류의 방향은 반대 방향이다.

[모범 답안] 바늘이 움직이는 방향은 자석의 N극을 가까이 할 때와 멀리 할 때가 서로 반대 방향이 된다.

(2) 코일에 흐르는 유도 전류는 시간당 자기 선속의 변화량에 비례하고 코일의 감은 수에 비례한다. 따라서 자석의 속력을 증가시키고, 강한 자석을 사용하면 시간당 자기 선속의 변화량을 증가시켜 유도 전류의 세기를 증가시킬 수 있다.

[모범 답안] 자석을 빠른 속력으로 이동시킨다. 강한 자석을 사용한다. 코일의 감은 수를 증가시킨다.

- 13 (1) 소리의 진동에 의해 진동판이 진동하면서 코일과 자석이 상대적으로 운동하게 되어 진동하는 유도 전류가 발생한다. 마이크에서는 소리의 진동이 전류의 진동으로 바뀌면서 소리 신호가 전기 신호로 전환된다.

[모범 답안] 소리의 진동에 의해 진동판에 연결된 코일이 진동하면서 자석과의 전자기 유도 현상에 의해 유도 전류가 흐른다.

(2) 마이크의 신호 전환의 핵심 원리는 전자기 유도이므로 전자기 유도 현상이 이용된 기기를 찾아야 한다.

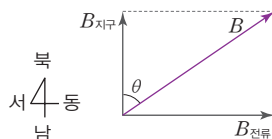
[모범 답안] 교통 카드, 발전기, 무선 충전, 전기 기타 등

단원 마무리하기

p. 186 ~ 189

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

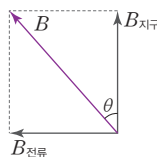
- 1 ㄱ. 나침반의 N극이 북동쪽을 가리키려면 전류의 자기장이 동쪽 방향이어야 하므로 전류는 북 → 남으로 흐른다.



ㄴ. 가변 저항의 크기를 증가시키면 전류의 세기가 감소하고 전류에 의한 자기장도 감소하여 θ 도 감소한다.

오답 피하기

ㄷ. 전류의 방향이 남쪽에서 북쪽 방향으로 되면 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽 방향이 되므로 나침반의 N극은 북서쪽을 향한다.



- 2 ㄴ. a, b와 도선의 간격을 d , 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 표현할 때, $B \propto \frac{I}{r}$ 의 식을 사용하면
a에서 자기장은 $\frac{I}{d} - \frac{2I}{d} + \frac{3I}{3d} = 0$
b에서 자기장은 $\frac{I}{3d} + \frac{2I}{d} + \frac{3I}{d} = \frac{16I}{3d}$ 이다.

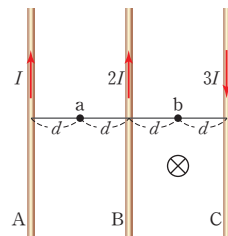
따라서 a에서보다 b에서 자기장의 세기가 세다.

ㄷ. A의 전류가 I 일 때 a에서 자기장이 0이므로 A의 전류를 $2I$ 로 바꾸면 A의 자기장이 증가하여 수직으로 들어가는 방향이 된다.

오답 피하기

ㄱ. a에서 자기장은 0이고, b에서 자기장은 수직으로 들어가는 방향이다.

문제 속 자료 전류에 의한 자기장의 방향



각 도선의 자기장	a점	b점
도선 A	⊗	⊗
도선 B	⊙	⊗
도선 C	⊗	⊗

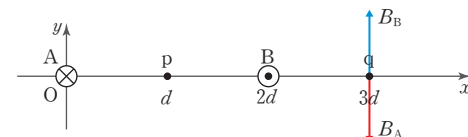
- 3 O점에서 자기장이 0이므로 O점에서 직선 도선에 의한 자기장과 원형 도선에 의한 자기장은 세기가 같고 방향이 반대이다. O점에 직선 도선이 형성하는 자기장의 방향은 수직으로 들어가는 방향이므로 원형 도선은 수직으로 나오는 방향의 자기장을 형성해야 한다.

ㄱ. 원형 도선에 흐르는 전류의 방향이 시계 반대 방향이어야 원형 도선이 O점에 형성하는 자기장이 수직으로 나오는 방향이다.

ㄴ. I_2 를 증가시키면 원형 도선에 의한 자기장이 증가하므로 O점에서 자기장의 방향은 수직으로 나오는 방향이다.

ㄷ. 직선 도선이 O점과 가까워지면 O점에서 직선 도선에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 O점에서 자기장의 방향은 수직으로 들어가는 방향이다.

- 4 q에서 자기장이 0이므로 A에 의한 자기장(B_A)과 B에 의한 자기장(B_B)은 세기가 같고 방향이 반대이다. A에 의한 자기장이 아래 방향이므로 B의 자기장은 위 방향이다.



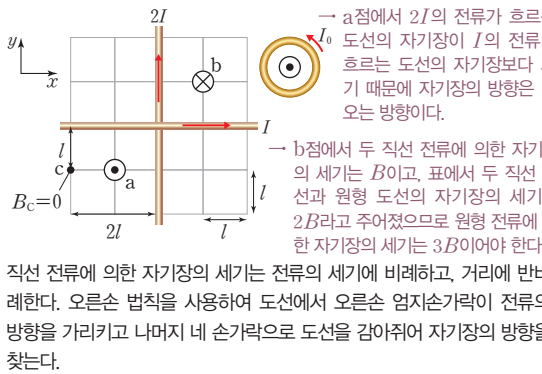
ㄱ. q에서 A와 B에 의한 자기장이 반대 방향이므로 A에 흐르는 전류의 방향과 B에 흐르는 전류의 방향은 반대이다.

ㄴ. q에서 A의 자기장이 $B_A = k \frac{I}{3d}$ (k 는 상수)이고 B의 자기장과 같아야 하므로 B의 전류는 $\frac{1}{3}I$ 이다.

ㄷ. p에서 A의 자기장과 B의 자기장은 $-y$ 로 같은 방향이다.

- 5 a와 b의 위치는 대칭이므로, 두 직선 도선에 의한 a와 b에서의 자기장은 세기가 같고 방향이 반대이다. a에서 두 직선 도선에 의한 자기장의 방향이 지면에서 나오는 방향이고 세기가 B 이므로, b에서 두 직선 도선에 의한 자기장의 방향은 지면으로 들어가는 방향이고 세기는 B 이다. 따라서 b에서 두 직선 도선과 원형 도선에 의한 자기장은 지면에서 나오는 방향이고, 세기는 $2B$ 이라면, 원형 도선에 의한 자기장은 지면으로 들어가는 방향으로 세기는 $3B$ 이어야 한다.
- c에서 두 직선 도선에 의한 자기장은 0이므로 원형 도선에 의한 자기장이 c에서의 자기장과 같다.

문제 속 자료 직선 전류와 원형 전류에 의한 자기장



- 6 A는 강자성체이므로 솔레노이드의 자기장 방향으로 자기화되고, B는 반자성체이므로 솔레노이드의 자기장 방향의 반대 방향으로 자기화된다.

ㄴ. 솔레노이드와 B는 척력이 작용하므로 B에 작용하는 자기력은 위 방향이다.

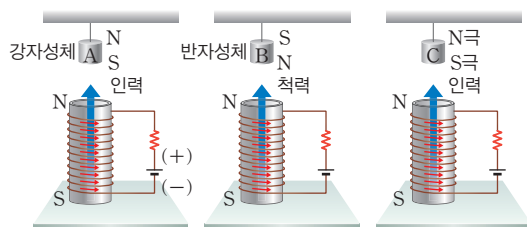
ㄷ. C는 아래 방향으로 중력과 자기력(인력)을 받으므로 실에 걸리는 힘은 중력과 자기력의 합이다.

오답 피하기

ㄱ. A의 아랫면은 S극, 윗면은 N극으로 자기화된다.

문제 속 자료 솔레노이드에 의한 자기장

솔레노이드에 흐르는 전류의 방향에 의한 자기장의 방향은 위 방향이다. 따라서 솔레노이드의 위쪽으로 N극이 형성된다.



- 7 마그네틱 카드는 강자성체를 이용하여 정보를 저장하고, 전자기 유도 현상을 이용하여 저장된 정보를 읽어낸다.
- ㄴ. 마그네틱 선에 강한 자석을 가까이 하면 강자성체의 자기화 방향이 바뀌게 되어 저장된 정보가 사라진다.

ㄷ. 판독기가 마그네틱 선에 저장된 정보를 읽는 원리는 전자기 유도이다.

오답 피하기

ㄱ. 마그네틱 선에 있는 강자성체의 자기화 방향을 이용하여 판독기가 저장된 정보를 읽는다.

- 8 실험 (가)의 결과를 바탕으로 알루미늄 포일이 강자성체 또는 상자성체임을 알 수 있고, 실험 (나)의 결과를 바탕으로 상자성체임을 알 수 있다. 만약 알루미늄 포일이 강자성체라면 실험 (나)에서 나침반 바늘이 움직여야 한다.

오답 피하기

ㄷ. 하드 디스크의 정보 저장 물질은 강자성체를 이용한다.

- 9 원형 도선이 직선 도선에 접근하는 동안 평면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가하게 되는데, 이를 방해하는 방향으로 유도 자기장이 형성되어 원형 도선에는 시계 반대 방향의 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 직선 도선의 자기장은 거리에 반비례하므로 거리가 가까워지면 자기장의 세기가 세져 원형 도선의 유도 전류의 세기가 증가한다.

오답 피하기

ㄴ. 원형 도선에 유도되는 자기장의 방향이 평면에서 수직으로 나오는 방향이고 유도 전류의 방향은 시계 반대 방향이다.

- 10 하드 디스크는 강자성체의 자기 배열을 통해 정보를 저장한다. 또한, 헤드에 있는 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향으로 정보 저장 물질이 자기화된다.

오답 피하기

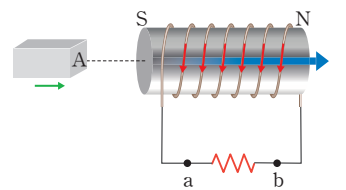
ㄷ. 정보 저장 물질인 강자성체의 자기 배열이 다르면 헤드의 코일에 흐르는 유도 전류의 방향이 변한다.

- 11 (가)에서 자기화된 물체를 (나)의 솔레노이드에 접근시켜 유도 전류가 'a → 저장 → b' 방향으로 흘렀으므로 유도 전류가 형성하는 자기장은 오른쪽 방향이다. 따라서 A는 S극이다.

ㄴ. 물체는 그림 (가)에서 자기화된 상태에서 자성을 오랫동안 유지되는 성질을 가진 강자성체이고, 자석의 자기장 방향으로 물체가 자화되므로 자석의 윗면이 S극이 된다.

오답 피하기

ㄷ. 그림 (나)에서 물체와 솔레노이드는 같은 S극으로 마주보게 되므로 서로 밀어내는 자기력(척력)이 작용한다.



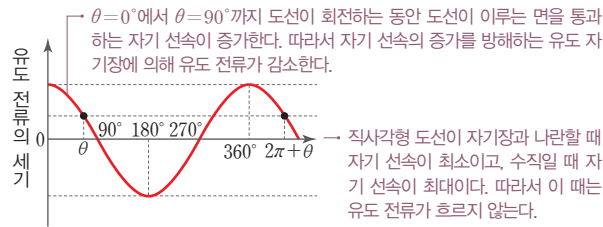
- 12 유도 전류의 세기는 시간당 자기 선속의 변화량에 비례한다.
 ㄱ. 5초일 때와 20초일 때 시간당 자기 선속의 변화량이 동일하므로 유도 전류의 세기도 같다.

오답 피하기

- ㄴ. 8초일 때와 13초일 때 정사각형 금속 고리 P를 통과하는 자기장의 세기가 변하지 않으므로 P에 흐르는 유도 전류의 세기는 0으로 같다.
 ㄷ. 15초일 때 P에 흐르는 유도 전류가 형성하는 자기장(유도 자기장)의 방향은 수직으로 들어가는 방향이므로 유도 전류의 방향은 시계 방향이다.

- 13 마이크는 소리의 진동에 의해 진동판이 진동하며 코일과 자석이 상대적 운동을 한다. 마이크는 전자기 유도에 의해 소리 신호를 전기 신호로 전환하고, 스피커는 코일과 자석 사이의 자기력에 의해 진동판이 진동한다.

- 14 도선의 회전에 의해 도선을 통과하는 자기장의 세기가 변하므로 전자기 유도에 의한 유도 전류가 흐른다. 자기장의 방향에 대한 도선의 각도에 따른 유도 전류의 세기는 아래 그래프와 같다.

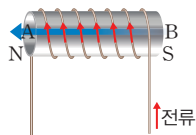


- ㄴ. $\theta = 90^\circ$ 전후로 전류의 방향이 바뀌므로 $\theta = 90^\circ$ 에서 유도 전류는 0이다.

오답 피하기

- ㄷ. $\theta = 100^\circ$ 를 지날 때 도선 속 자기장의 세기가 감소하므로 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장은 오른쪽 방향으로 형성되고 유도 전류는 'c → b → a' 방향이다.

- 15 ㄱ. 솔레노이드는 전류에 의해 왼쪽 방향으로 자기장을 형성하므로 강자성 막대는 A면이 N극, B면이 S극이 된다.



- ㄴ. 막대가 고리를 통과하여 멀어지게 되면 고리에서는 왼쪽 방향의 자기장이 감소하므로 고리에는 a방향으로 유도 전류가 흐른다.

오답 피하기

- ㄷ. 막대가 고리를 통과하는 동안 전기 에너지가 생산되므로 역학적 에너지가 감소한다.



파동과 정보 통신

1. 파동

01 | 파동의 성질



탐구 대표 문제

p. 194

01 ③ 02 6 cm

- 01 ③ 과정 ③에서는 종파가 발생하므로 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 서로 나란하다.

오답 피하기

- ① 과정 ②에서는 횡파가 발생한다.
 ② 과정 ②에서는 용수철의 마루와 골이 있다.
 ④ 과정 ③에서는 이웃한 밀한 부분과 밀한 부분 사이의 거리로 파장을 구할 수 있다.
 ⑤ 과정 ②와 ③에서 공통으로 리본은 제자리에서 이동할 뿐 파동과 함께 앞으로 이동하지는 않는다.

- 02 파장은 위상이 동일한 이웃한 두 지점 사이의 거리이다. 마루와 마루 사이의 거리가 눈금 6칸이므로 파장은 6 cm이다.



기초 탄탄 문제

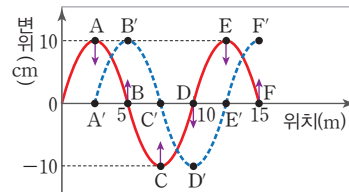
p. 198

01 ④ 02 ③ 03 ④ 04 ① 05 ②

- 01 파동의 주기는 2초이고, 파장은 4 m이므로 파동의 속력은

$$\text{속력} = \frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{4 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s이다.}$$

- 02 파동이 오른쪽으로 진행하므로, $\frac{1}{4}$ 주기 후 파동의 모습은 그림의 점선과 같다. 따라서 $\frac{1}{4}$ 주기 후 변위가 5 cm보다 큰 점은 B'과 F'이므로 변위가 5 cm보다 큰 점은 B와 F이다.



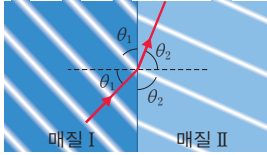
- 03 ㄴ. 파동의 속력은 파장과 진동수의 곱이다. 물결파의 파장은 매질 I에서 매질 II에서보다 작으므로, 물결파의 속력은 매질 I에서보다 매질 II에서 빠르다.

ㄷ. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르다. 매질 II에서의 속력이 I에서보다 빠르므로 물의 깊이도 더 깊다.

오답 피하기

ㄱ. 물결파의 진동수는 물결파가 진행하는 동안 매질이 바뀌어도 변하지 않는다.

문제 속 자료 물결파의 굴절



- 매질 I에서 매질 II로 진행할 때 입사각 = θ_1
- 매질 I에서 매질 II로 진행할 때 굴절각 = θ_2
- $\theta_1 < \theta_2$ 이므로 입사각 < 굴절각이다.

물결파의 속력	매질 I < 매질 II
물결파의 파장	매질 I < 매질 II
물결파의 진동수	매질 I = 매질 II
물의 깊이	매질 I < 매질 II

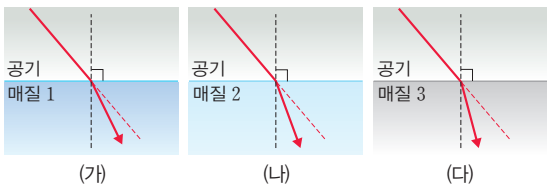
04 나. (나)에서 입사각보다 굴절각이 작으므로, 빛의 속력은 공기에서보다 매질 2에서 더 느리다.

오답 피하기

ㄱ. 굴절각은 법선과 굴절 광선이 이루는 각도이므로 (가)에서 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 매질의 경계를 지날 때 빛의 속력이 더 많이 변할수록 입사각과 굴절각의 차이가 크다. 매질 3에서 매질 1에서보다 굴절각이 더 작으므로 속력이 더 느려지고 파장이 더 짧다는 것을 알 수 있다.

문제 속 자료 입사각과 굴절각



- (가), (나), (다) 모두 굴절각이 입사각보다 작다.
→ 빛의 속력은 공기에서 매질 1, 2, 3에서보다 빠르다.
- 굴절각이 매질 1 > 매질 2 > 매질 3 순으로 작아진다.
→ 매질에서의 빛의 속력을 비교하면 공기 > 매질 1 > 매질 2 > 매질 3이다.

05 빛이 진행하는 중에 매질의 종류나 온도, 밀도 등이 달라지면 속력이 변하여 진행 방향이 꺾이므로 굴절한다.

오답 피하기

② 비눗방울에서 무지갯빛 무늬가 관찰되는 것은 비눗방울의 얇은 막에서 빛이 간섭하기 때문이다.

내신 만점 문제

p. 199 ~ 201

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



01 나. 나뭇잎이 물결파의 골에 위치하고 있고, 2초 후에 다시 골이 되므로, 주기는 2초이다.

오답 피하기

ㄱ. 물결파의 진폭은 진동 중심에서 마루까지의 수직 거리이므로, 마루와 골 사이의 수직 거리의 $\frac{1}{2}$ 인 15 cm이다.

ㄷ. 나뭇잎은 제자리에서 진동할 뿐 파동과 함께 이동하지 않는다.

02 ㄱ. 파동의 진행 방향이 오른쪽이므로, $t=0$ 초 이후에 A의 변위가 증가한다.

나. 0.5초는 $\frac{1}{4}$ 주기이므로, A는 마루에 위치하게 된다.

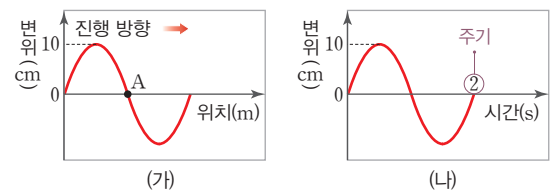
오답 피하기

ㄷ. 한 주기(2초) 후 다시 원래의 위치로 돌아오므로, 이때 A의 변위는 0이다.

문제 속 자료 파동을 나타내는 그래프

(가) 어느 한 순간 위치에 따른 매질의 변위 그래프

(나) 매질 위의 한 점(A)의 시간에 따른 변위 그래프



03 나. (가)의 파장은 0.5 m, (나)의 파장은 2 m, (다)의 파장은 1 m로, (나)가 가장 길다.

오답 피하기

ㄱ. (가)~(다)는 모두 주기가 1초로 같으므로 주기의 역수인 진동수도 같다.

ㄷ. 파동의 속도는 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$ 인데, 주기가 1초로 모두 같으므로 파동의 속도는 파장에 비례한다. 따라서 (나)의 속도는 (다)의 2배이다.

04 매질은 파동이 진행함에 따라 위아래로 진동 운동을 한다. 그림의 순간 P는 골에 위치하며, 운동 방향이 아래쪽에서 위쪽으로 바뀌기 때문에 순간적으로 정지한다. ②, ③번 그래프만 해당됨) 이 순간 이후에 파동이 오른쪽으로 진행하므로 매질은 위쪽으로 운동하여 (+) 속도를 갖게 된다.

05 파동의 속력이 8 m/s이고 파장이 8 m이므로, 파동의 주기는 $\frac{\text{파장}}{\text{속력}} = \frac{8 \text{ m}}{8 \text{ m/s}} = 1 \text{ 초}$ 이다. 주기가 1초인 그래프는 ②와 ③이다. 0초일 때 $x=6 \text{ m}$ 인 곳은 변위가 0이고, 다음 순간 변위가 아래 방향으로 적절하므로 적절한 그래프는 ③이다.

06 $\frac{v}{\lambda}$ 이다. I과 II에서 주기가 동일하므로 파동의 속력의 비는 파장의 비와 같다. 파장의 비가 $d_1 : d_2$ 이므로 속력의 비도 $d_1 : d_2$ 이다.

오답 피하기

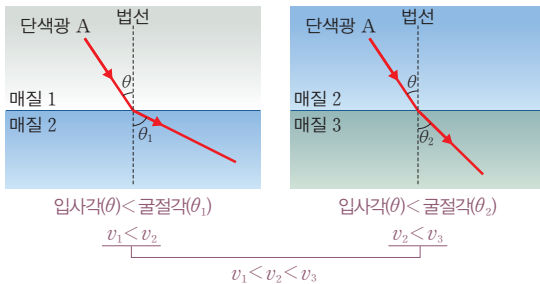
ㄱ. 파면은 파동에서 위상이 동일한 지점들을 연결한 선 또는 면으로, 파면 사이의 간격은 파장과 같다. 따라서 d_1, d_2 는 각각 I과 II에서의 물결파의 파장이다.
 ㄴ. 물결파의 진동수는 매질이 바뀌어도 변하지 않는다. 따라서 I과 II에서 물결파의 주기가 같다.

07 빛이 진행하는 매질이 바뀔 때 빛의 속력이 느려지면 입사각보다 굴절각이 작고, 빛의 속력이 빨라지면 입사각보다 굴절각이 크다. (가)에서 입사각보다 굴절각이 크므로 빛의 속력은 매질 2에서가 1에서보다 빠르다. ($v_2 > v_1$) (나)에서 입사각보다 굴절각이 크므로 빛의 속력은 매질 3에서가 2에서보다 빠르다. ($v_3 > v_2$) 따라서 $v_3 > v_2 > v_1$ 이다.

문제 속 자료 빛의 속력 비교

파동이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때, 입사각(i), 굴절각(r), 속력(v), 파장(λ) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$



- 속력이 빠른 매질 → 느린 매질: 입사각 > 굴절각
- 속력이 느린 매질 → 빠른 매질: 입사각 < 굴절각

08 ㄱ. 빛의 속력은 물에서보다 공기에서 더 빠르다.
 ㄴ. 물고기에서 지면의 눈으로 빛이 진행할 때, 굴절이 일어나지만 지면의 눈은 빛이 직진했다고 인식한다. 따라서 지면의 눈은 실제 위치보다 얕은 곳에 물고기가 있는 것처럼 보인다.

오답 피하기

ㄴ. 물고기에서 반사된 빛이 물에서 공기로 입사할 때, 속력이 빨라지므로 입사각보다 굴절각이 크다.

09 ㄱ. 돋보기에 사용하는 렌즈는 빛을 모으는 볼록 렌즈(가)이다.
 ㄴ. 빛의 속력은 공기보다 렌즈에서 느리므로 빛이 공기에서 렌즈로 들어갈 때는 입사각이 굴절각보다 크다.

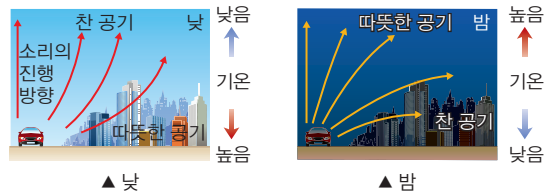
오답 피하기

ㄴ. 빛이 공기 중과 렌즈 내부를 진행할 때 진동수는 변하지 않지만, 속력과 파장은 변한다. '빛의 속력 = 진동수 × 파장'이며, 빛이 공기에서 렌즈로 입사할 때 빛의 속력이 느려지므로 파장이 짧아진다.

10 소리가 위로 굴절하므로 낮에 자동차 경적 소리의 굴절 경로를 나타낸 것이다.

ㄱ. 파동이 진행하면서 전파되는 면적이 점점 커지므로, 소리의 진폭이 작아진다.
 ㄴ. 위쪽으로 올라갈수록 굴절각이 작아지므로 지면에서 위로 올라갈수록 공기의 온도가 낮아진다는 것을 알 수 있다.
 ㄴ. 진동수가 일정할 때 공기의 온도가 낮을수록 음파의 속력이 느려지므로, '속력 = 진동수 × 파장'에 의해 소리의 파장이 짧아진다.

문제 속 자료 소리의 굴절



▲ 낮
 낮에는 소리가 위로 굴절하고, 밤에는 소리가 아래로 굴절한다. 따라서 낮보다 밤에 소리가 더 멀리까지 전달된다.
 • 낮: 태양 복사열에 의해 지면에 가까운 쪽의 기온이 상층 쪽의 기온보다 높기 때문에 음원에서 나온 소리는 지면에서의 속력이 빨라져서 위로 향하여 연속적으로 굴절하면서 나간다.
 • 밤: 지면이 냉각되어 지면에 접한 공기가 상층의 공기보다 온도가 낮게 되어 소리의 속력은 상층이 빠르고 지면 쪽이 느리게 된다. 따라서 소리는 지면 쪽으로 굴절하므로 밤에는 먼 곳의 소리도 잘 들린다.

11 (1) '초음파의 속력 = 진동수 × 파장'인데, 물질이 달라짐에 따라 파장은 달라지지만 진동수는 변하지 않는다. 따라서 초음파의 속력이 빠른 매질일수록 파장이 길다.

[모범 답안] 뼈 > 근육 > 젤 > 지방 > 공기

(2) 초음파 스캐너와 피부 사이에 공기층이 생기면 공기와 피부에서의 초음파의 속력 차이가 크기 때문에 피부 표면에서 굴절하거나 반사하여 인체 내부의 모습을 관찰하는 것을 방해한다. 피부와 굴절률이 비슷한 젤을 이용하면 초음파 스캐너에서 발사한 초음파가 피부 안쪽으로 잘 전달되어 선명한 영상을 얻을 수 있다.

[모범 답안] 초음파 스캐너와 피부 사이에 공기층이 생기면 속력 차이 때문에 초음파가 피부 표면에서 굴절하여 인체 내부 모습을 관찰하는 것을 방해하기 때문이다.

- 12 (1) 파동이 공기층의 경계를 지날 때마다 입사각보다 굴절각이 큰 방향으로 꺾이고 있다. 파동의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 커진다. 따라서 위쪽 공기층으로 갈수록 파동의 속력이 빨라진다. 공기의 온도가 높을수록 빛이나 소리의 속력이 빨라지므로, $t_1 < t_2 < t_3$ 임을 알 수 있다.

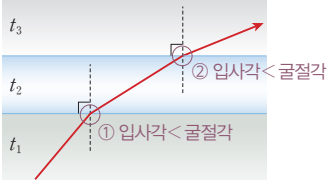
[모범 답안] $t_1 < t_2 < t_3$

- (2) 공기층의 온도가 지면에서 낮고, 위로 올라감에 따라 높아질 때 일어나는 파동의 굴절 현상의 예를 찾으려면 된다. 차가운 해수면 근처에서 발생하는 신기루 현상은 빛이 이와 같은 공기층에서 굴절하여 발생하는 현상이다. 또한, 소리는 지면이 차갑고 상층의 온도가 상대적으로 높은 밤에 그림과 같은 굴절이 일어난다. 따라서 밤에는 고도가 낮은 곳에서 소리가 더 잘 들리는 현상이 일어난다.

[모범 답안] 차가운 해수면 근처에서 신기루가 발생한다. 밤에는 고도가 낮은 곳에서 소리가 더 잘 들린다.

문제 속 자료 파동의 굴절

- 파동이 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행 → 입사각 > 굴절각
- 파동이 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행 → 입사각 < 굴절각



구분	① 파동이 매질 $t_1 \rightarrow t_2$ 로 진행할 때	② 파동이 매질 $t_2 \rightarrow t_3$ 로 진행할 때
입사각과 굴절각	입사각 < 굴절각	입사각 < 굴절각
파동의 속력	매질 $t_1 <$ 매질 t_2	매질 $t_2 <$ 매질 t_3

02 | 전반사와 광통신



탐구 대표 문제

p. 206

01 ② 02 $n_1 > n_2$

- 01 ② 빛이 유리에서 공기로 진행하는 각도가 임계각보다 크면 굴절이 일어나지 않는 전반사 현상이 나타난다.

오답 피하기

- 굴절각이 90° 가 되는 순간의 입사각을 임계각이라고 한다.
- 전반사가 일어나면 반사와 굴절이 모두 일어날 때보다 반사광의 밝기가 밝다.
- 굴절률은 유리 > 물이므로 전반사가 일어나기 시작하는 각도인 임계각은 빛이 유리에서 공기로 진행할 때보다 물에서 공기로 진행할 때가 더 크다.
- 굴절률은 공기보다 유리가 더 크므로 빛이 공기에서 유리로 진행할 때는 전반사가 일어나지 않는다.

- 02 전반사가 일어나기 위해서는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 입사해야 한다. 따라서 매질 1의 굴절률이 매질 2의 굴절률보다 크다.

기초 탄탄 문제

p. 208

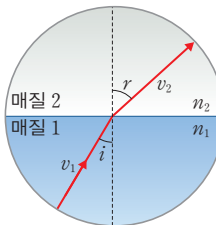
01 ② 02 ② 03 ③ 04 ⑤ 05 ④ 06 ③

- 01 빛이 매질 A에서 B로 진행할 때 굴절 법칙이 성립한다.

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{n_B}{n_A} = \frac{1}{n_A} \text{에서 A의 굴절률은 } n_A = \sqrt{2} \text{이다.}$$

문제 속 자료 굴절 법칙

빛이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때, 입사각(i), 굴절각(r), 속력(v), 파장(λ) 사이에는 다음과 같은 관계가 성립하고, 이를 굴절 법칙이라고 한다.



$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{n_B}{n_A} = \frac{1}{n_A} \\ \therefore n_A = \sqrt{2}$$

- 02 ㄷ. 전반사가 일어나려면 굴절률이 큰 매질(빛의 속력이 느린 매질)에서 작은 매질(빛의 속력이 빠른 매질)로 빛을 입사시켜야 한다.

오답 피하기

- 전반사가 일어나기 위해서는 입사각이 임계각보다 커야 한다.
- 전반사가 일어나기 위해서는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛을 입사시켜야 한다.

03 광케이블형 자연 채광 시스템, 내시경, 밝게 빛나는 다이아몬드, 잠망경은 빛의 전반사를 이용한 예이다.

오답 피하기

③ 지폐에서 위조를 방지하는 특수한 무늬는 빛의 전반사가 아니라 빛의 간섭을 이용한다.

04 ㄱ. 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 전반사가 일어나므로 유리의 굴절률이 공기보다 크다.

ㄴ. θ 가 작을수록 빛이 유리에서 공기로 입사할 때 입사각이 커진다. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로 θ 가 작을수록 전반사가 일어나기 쉽다.

ㄷ. 광섬유는 전반사를 이용하여 빛을 전송한다.

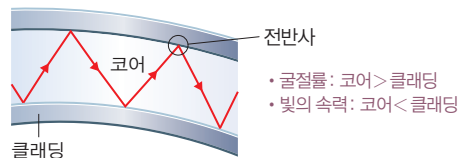
05 ㄱ. 빛은 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하며 진행한다.
ㄷ. 광통신은 여러 가닥의 광섬유로 만든 광케이블을 이용한다.

오답 피하기

ㄴ. 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 커서 빛은 광섬유 내부에서 전반사하며 진행한다.

문제 속 자료 광섬유

- 빛이 진행하다가 매질의 경계면에서 굴절하지 않고 전부 반사하는 것을 전반사라고 한다.
- 전반사는 빛이 '굴절률이 큰 매질 → 굴절률이 작은 매질'로 진행할 때 일어난다.



광섬유 내부의 코어로 입사한 빛은 클래딩으로 빠져나오지 못하고 전반사된다.

06 ㄱ. 광섬유를 통해 정보를 멀리까지 보낼 수 있다.
ㄴ. 광통신은 외부 전파에 의한 간섭이나 혼선이 없다.
ㄷ. 광섬유는 화재나 충격에 약하고 한번 끊어지면 연결하기 어렵다.

오답 피하기

ㄷ. 광통신은 전류가 흐르는 도선이 아닌 광섬유를 이용하기 때문에 열로 인한 에너지 손실이 발생하지 않는다.

01 ㄱ. 빛이 A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어났으므로, i 는 임계각보다 크다.

ㄷ. 동일한 단색광을 B에서 A로 입사시키면 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 진행하므로 단색광의 속력이 느려진다.

오답 피하기

ㄴ. A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어났으므로, 굴절률은 A가 B보다 크다.

문제 속 자료 전반사가 일어나기 위한 조건

- 조건 1. 빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행해야 한다.
- 조건 2. 입사각이 임계각보다 커야 한다.

02 ㄱ. 굴절과 반사가 모두 일어날 때보다 전반사가 일어날 때 반사광의 세기가 더 세다.

ㄴ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로 임계각은 θ_1 보다는 크고 θ_2 보다는 작다.

ㄷ. A에서 B로 입사할 때 전반사가 일어나므로 A의 굴절률이 B보다 크다. B에서 A로 입사하면 입사각보다 굴절각이 작으므로 아무리 입사각을 증가시켜도 전반사가 일어나지 않는다.

03 ㄴ. 빛이 A에서 B로 진행할 때 $\frac{\sin \theta_c}{\sin 90^\circ} = \frac{n_B}{n_A} = \frac{1.5}{3}$ 에서 임계각 θ_c 는 30° 이다. 따라서 $\theta_1 > 30^\circ$ 일 때 P는 A와 B의 경계면에서 전반사한다.

오답 피하기

ㄱ. P는 굴절률이 큰 매질(A)에서 작은 매질(B)로 입사하므로 입사각보다 굴절각이 더 크다.

ㄷ. Q는 굴절률이 작은 매질(B)에서 큰 매질(A)로 입사하므로 전반사가 일어나지 않는다.

04 ㄴ. A와 B의 경계면과 B와 C의 경계면은 서로 평행하므로 A에서 B로 진행할 때의 굴절각과 B에서 C로 진행할 때의 입사각은 서로 같다.

ㄷ. B와 C의 경계면에서 전반사가 일어나기 위해서는 입사각을 증가시켜야 한다. θ 를 증가시키면 A에서 B로 진행할 때의 굴절각이 증가하므로 B에서 C로 진행할 때의 입사각도 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. A에서 B로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 굴절률은 A가 B보다 크다. B에서 C로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 따라서 굴절률을 비교하면 $A > B > C$ 이므로 굴절률이 가장 큰 것은 A이다.

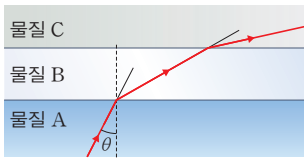
내신 만점 문제

p. 209 ~ 211

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



문제 속 자료 굴절률의 비교



- 물질 A에서 B로 입사할 때, 입사각 < 굴절각 → 굴절률: $A > B$
- 물질 B에서 C로 입사할 때, 입사각 < 굴절각 → 굴절률: $B > C$

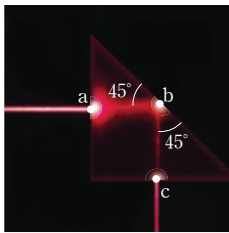
05 ㄱ. 직각 프리즘에서 공기로 레이저 빛이 진행할 때 전반사가 일어난다. 전반사가 일어나려면 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행해야 하므로 프리즘의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크다.

ㄴ. 레이저 빛의 속력은 공기에서보다 프리즘 내부에서 더 느리다.

오답 피하기

ㄷ. b에서는 빛의 전반사가 일어나므로 빛의 세기가 약해지지 않는다.

문제 속 자료 직각 프리즘에서의 빛의 진행

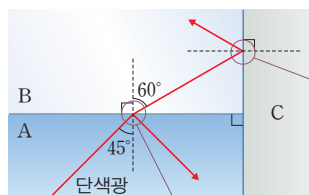


- 굴절률 : 프리즘 > 공기
- 빛의 속력 : 프리즘 < 공기

- 공기에서 프리즘의 수직면으로 빛이 입사할 때(a) : 빛의 속력이 느려지지만 입사각과 굴절각이 모두 90° 이므로 진행 방향이 꺾이지 않는다.
- 프리즘의 빗면에서 공기로 빛이 입사할 때(b) : 입사각이 임계각보다 크기 때문에 전반사가 일어난다. 프리즘의 빗면에 대한 입사각이 45° 이기 때문에 반사각도 45° 가 된다.
- 프리즘의 바닥면에서 공기로 빛이 입사할 때(c) : 빛의 속력이 빨라지지만 입사각과 굴절각이 모두 90° 이므로 진행 방향이 꺾이지 않는다.

06 A에서 B로 입사할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 A의 굴절률이 B보다 크다. ($n_A > n_B$) B에서 C로 입사할 때 전반사가 일어났으므로 B의 굴절률이 C보다 크다. ($n_B > n_C$) 따라서 굴절률의 크기를 비교하면 $n_A > n_B > n_C$ 이다.

문제 속 자료 전반사와 굴절



- B → C 진행 : $n_B > n_C$

- A → B 진행 : 입사각 < 굴절각 → $n_A > n_B$

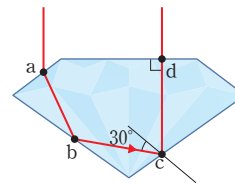
07 ㄱ. 다이아몬드의 굴절률은 공기의 굴절률보다 크다. 따라서 공기에서 다이아몬드로 빛이 입사할 때 입사각보다 굴절각이 작다.

ㄴ. 빛이 공기에서 다이아몬드로 입사할 때 임계각은 24° 이므로 b와 c에서 입사각은 임계각보다 크다. 따라서 전반사가 일어난다.

오답 피하기

ㄷ. d에서 입사각은 0° 이므로 굴절각도 0° 이다. 즉, 빛은 직진한다.

문제 속 자료 다이아몬드에서의 빛의 진행



- 전반사가 일어나는 곳 : b, c
- a : 굴절과 반사가 일어남
- d : 직진함

- a : 빛이 공기에서 다이아몬드로 입사하면서 굴절과 반사가 일어난다.
- b : 빛이 다이아몬드에서 공기로 입사할 때 전반사가 일어난다.
- c : 빛이 다이아몬드에서 공기로 입사할 때 전반사가 일어난다.
- d : 빛이 다이아몬드에서 공기로 경계면에 수직으로 입사할 때 직진한다.

08 ㄷ. 전반사를 이용하는 (가)는 도선에 흐르는 전류를 이용하는 (나)보다 에너지 손실이 적다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 빛 신호를, (나)는 전기 신호를 전달한다.

ㄴ. 케이블이 끊어졌을 때 광케이블은 수리하기 어렵다.

09 ㄱ. P에서는 전반사가 일어나고 Q에서는 전반사가 일어나지 않았으므로 P에서의 입사각은 임계각보다 크고, Q에서의 입사각은 임계각보다 작다. 따라서 P에서의 입사각은 Q에서보다 크다.

ㄷ. P에서는 전반사가 일어나므로 반사광의 세기가 입사광의 세기와 같다. Q에서는 반사와 굴절이 모두 일어나므로 반사광의 세기가 입사광의 세기보다 약하다.

오답 피하기

ㄴ. P에서 전반사가 일어나므로 A의 굴절률이 B의 굴절률보다 크다. 단색광의 속력은 굴절률이 작은 B에서가 A에서보다 빠르다.

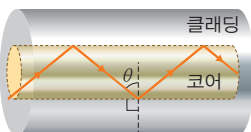
10 ㄱ. 광섬유 내부에서 전반사가 일어나기 위해서는 코어의 굴절률이 클래딩보다 커야 한다. B로 클래딩을 만들면 B보다 굴절률이 큰 C로 코어를 만들어야 한다.

ㄴ. 코어를 A, 클래딩을 B로 만들면 클래딩의 굴절률이 코어보다 커서 전반사가 일어나지 않는다.

ㄷ. θ 는 임계각이다. 임계각은 두 물질의 굴절률 차이가 클수록 작아진다. θ 가 최소가 되려면 두 물질의 굴절률 차이가 가장 커야 하므로 굴절률이 가장 큰 C로 코어를, 굴절률이 가장 작은 A로 클래딩을 만들어야 한다.

문제 속 자료 **광섬유**

광섬유는 빛을 전송할 수 있는 섬유 모양의 관으로, 굴절률이 큰 중앙의 코어를 굴절률이 작은 클래딩이 감싸고 있다.



물질	굴절률
A	1.33
B	1.50
C	2.42

• 굴절률 : 코어 > 클래딩
• 코어와 클래딩의 굴절률 차이가 클수록 임계각이 작아진다.

굴절률의 차이가 가장 큼
→ θ : 최소

- 11** (1) 발신기와 수신기에서 신호 전환 과정은 반대이다.
[모범 답안] 발신기에서는 음성 및 영상 정보를 담은 전기 신호가 빛 신호로 변환되고, 수신기에서는 빛 신호가 전기 신호로 변환된다.
- (2) 빛의 전반사를 통해 정보를 전달하는 광통신에서는 신호를 먼 곳까지 전달시킬 수 있다.
[모범 답안] • 광섬유 내부에서 빛의 전반사가 잘 일어날 수 있도록 빛을 광섬유의 축과 최대한 평행한 각도로 입사시킨다.
• 굴절률 차이가 큰 물질을 사용하여 광섬유 내부에서 전반사가 일어나기 위한 임계각을 작게 한다.
• 매우 먼 거리를 전달해야 할 때는 중간에 광 증폭기를 사용한다.
- 12** 컵과 컵 사이에 공기층이 있으면 전반사가 일어나고, 컵과 컵 사이에 물이 채워지면 전반사가 일어나지 않는다.
[모범 답안] (1) ㉠의 경우 B에 그린 그림만 보이고 ㉡의 경우 A와 B에 그린 그림이 겹쳐진 모습이 보인다.
(2) ㉠의 경우 A와 B 사이에 공기층이 있어서 물과 공기의 경계면인 컵 B에서 전반사가 일어나기 때문에 A에 그려진 그림이 보이지 않는다. ㉡의 경우 A와 B 사이의 공기층이 사라지고 물로 채워지므로 굴절률 차이가 없어서 전반사가 일어나지 않는다. 빛이 컵 A까지 도달하고 다시 반사되어 눈에 들어오므로 A와 B에 그려진 그림이 모두 보인다.

03 | 전자기파의 종류와 이용

기초 탄탄 문제

p. 216

01 ② 02 ⑤ 03 ③ 04 ③ 05 ① 06 ②

- 01** 전자기파는 매질의 진동을 통해 전달되는 파동이 아니다. 진동하는 전기장과 자기장이 서로를 유도하며 공간을 퍼져 나가는 파동이며, 매질이 없는 진공에서도 진행할 수 있다.
- 02** 사람의 눈에 감지되는 가시광선에 대한 설명으로, 사람의 눈에는 파장에 따라 다른 색으로 보인다.
- 03** 전자기파의 파장이 짧은 것부터 긴 순으로 나열하면 다음과 같다.
 γ 선 → X선 → 자외선 → 가시광선 → 적외선 → 마이크로파 → 라디오파
- 04** γ 선은 원자핵 내부에서 핵반응이 일어날 때 발생한다.
①은 마이크로파, ②는 라디오파, ④는 X선, ⑤는 자외선, 가시광선, 적외선의 발생 원리이다.
- 05** 적외선은 온도계, 리모컨, 카메라 등에 이용된다.
공항 검색대는 X선, 기상 레이더는 마이크로파, 휴대 전화 통신은 라디오파, 형광등은 자외선을 이용한다.
- 06** (가)는 라디오파, (나)는 X선이다.
ㄴ. 고속의 전자를 금속에 충돌시킬 때 발생하는 것은 X선이므로, (나)이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 라디오파이다.

ㄷ. X선이 라디오파보다 투과력이 좋으므로 (나)는 (가)보다 투과력이 좋다.

내신 만점 문제

p. 217 ~ 219

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

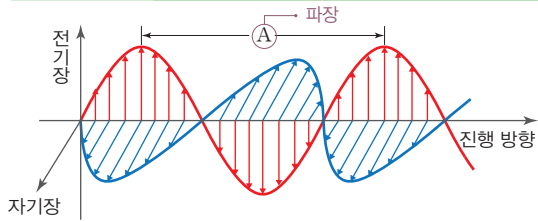


- 01** ㄱ. 전기장의 진동 방향은 진행 방향과 항상 수직이다.
ㄴ. 전기장과 자기장의 진동 방향은 항상 서로 수직이다.

오답 피하기

ㄷ. A는 이웃한 마루와 마루 사이의 거리로, 전자기파의 파장에 해당한다. 전파의 파장은 가시광선보다 길다.

문제 속 자료 전자기파



- 전기장과 자기장의 진동 방향, 전자기파의 진행 방향은 서로 수직이다.
→ 횡파이다.
- 매질이 없는 진공에서도 진행할 수 있다.
- 전자기파의 속력은 진공에서는 모두 광속과 같다.

02 전자레인지는 마이크로파를 사용한다.

- ㄱ. 마이크로파의 파장은 가시광선보다 길다.
 ㄴ. 전자레인지에 사용하는 마이크로파의 진동수는 물 분자의 고유 진동수와 같아서 음식물 속의 물 분자를 진동시켜 열을 발생시킨다.

오답 피하기

- ㄴ. 전자기파의 진공에서의 속력은 종류와 관계없이 모두 같다.

03 A. 식기를 소독하는 데는 자외선을 이용한다.

- B. 공항 수하물 검색에는 X선을 이용한다.
 C. TV 화면에서 나오는 것은 가시광선이다.
 파장이 가시광선, 자외선, X선 순으로 갈수록 짧아지므로 $\lambda_C > \lambda_A > \lambda_B$ 이다.

04 눈은 가시광선을 감지하고, 디지털카메라는 가시광선 영역뿐만 아니라 적외선 영역의 일부도 감지할 수 있다.

- ㄴ. 적외선(A)의 파장은 마이크로파보다 짧다.

오답 피하기

- ㄱ. A는 눈에 감지되지 않기 때문에 가시광선이 아니라 적외선이다.
 ㄴ. 휴대 전화에서 정보를 전송하는 데 이용되는 것은 라디오파이다.

05 ② (가)는 전파를, (나)는 X선을 이용하는 망원경이므로 진동수는 (나)가 (가)보다 크다.

오답 피하기

- ①, ③ 전파는 X선보다 파장이 길고, 진동수가 작고, 에너지가 작다.
 ④ X선은 전파보다 투과력이 좋다.
 ⑤ 파장이 짧은 X선은 대기에 의해 산란되기 때문에 지상에서는 관측하기 어렵다.

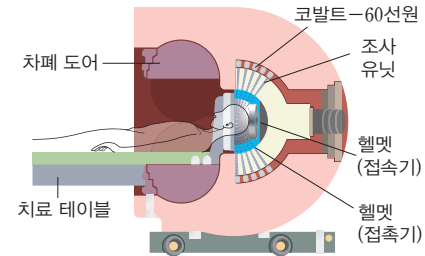
06 ㄱ, ㄴ. 전자기파 A는 γ 선이다. γ 선은 방사성 붕괴 과정에서 발생하며, 투과력이 매우 크다.

오답 피하기

- ㄴ. γ 선은 에너지가 매우 크기 때문에 인체에 노출되면 매우 위험하다.

문제 속 자료 γ 선을 이용한 암 치료

γ 선은 투과력이 강하며 에너지가 크므로 암 치료에 이용된다.



- 돋보기로 햇빛을 모으는 것처럼 γ 선을 암세포에 조사한다.
- 장점 : 머리뼈를 절개하지 않고 머릿속의 질병을 치료할 수 있다.
- 단점 : 오래 쪼이면 몸에 해롭다.

07 (가)는 적외선을 이용한 카메라로 사람을 촬영한 사진이다.

(나)는 자외선을 이용한 전등으로 지폐를 관찰한 것이다.

- ㄴ. 자외선(B)에 피부가 오래 노출되면 노화가 촉진된다.

오답 피하기

- ㄱ. 전자레인지에 이용되는 것은 적외선(A)이 아니라 마이크로파이다.
 ㄴ. 전자기파의 진동수는 자외선(B)이 적외선(A)보다 크다.

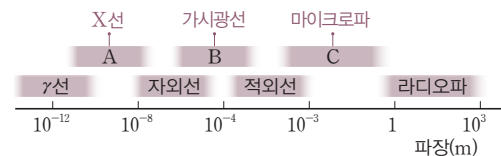
08 A는 X선, B는 가시광선, C는 마이크로파이다.

- ㄱ. 진동수는 X선(A)이 가시광선(B)보다 크다.

오답 피하기

- ㄴ. 진공에서의 속력은 전자기파의 파장에 관계없이 광속으로 모두 같다.
 ㄴ. (가)와 같은 레이더에서 이용하는 전자기파는 마이크로파인 C이다.

문제 속 자료 전자기파 스펙트럼



- 파장 비교: $A < B < C$
- 진동수 비교: $A > B > C$
- 진공에서의 속력 비교: $A = B = C$

09 A는 라디오파, B는 γ 선, C는 자외선이다.

ㄱ. 라디오파(A)는 라디오, 텔레비전 등에서 정보를 전달하는데 이용된다.

ㄴ. 파장을 비교하면 라디오파(A) > 자외선(C) > γ 선(B)이다. 따라서 자외선(C)은 라디오파(A)보다 파장이 짧다.

오답 피하기

ㄷ. 자외선은 살균 작용을 하므로 C에 해당하고, B는 γ 선이다.

10 A는 γ 선, B는 가시광선, C는 X선이다. 파장을 비교하면 가시광선 > X선 > γ 선이고, 진동수를 비교하면 γ 선 > X선 > 가시광선이다.

ㄴ. 가시광선(B)은 X선(C)보다 진동수가 작다.

ㄷ. X선(C)은 공항 수하물 검색에 이용된다.

오답 피하기

ㄱ. γ 선(A)은 전자기파 중 파장이 가장 짧다.

11 [모범 답안] (1) 마이크로파

(2) 전자레인지, 음식물 속의 물 분자의 고유 진동수와 같은 진동수의 마이크로파를 발생시키면, 물 분자의 진동으로 열이 발생한다.

12 [모범 답안] (1) 전자기파의 파장은 길어지고, 진동수와 에너지는 감소한다.

(2) (가)는 자외선이고, 식기 소독기, 형광등, 위조지폐 감별 등에 이용된다. (나)는 라디오파이고, 휴대 전화, 라디오, 텔레비전 등에서 정보를 전송하는 데 이용된다.

문제 속 자료 전자기파

γ 선 X선 (가) 적외선 마이크로파 (나)

$\xrightarrow{\text{자외선}} \quad \quad \quad \xrightarrow{\text{라디오파}} \text{A}$

- 파장: γ 선 < X선 < 자외선 < 가시광선 < 적외선 < 마이크로파 < 라디오파
- 진동수: 라디오파 < 마이크로파 < 적외선 < 가시광선 < 자외선 < X선 < γ 선
- 전자기파가 전달하는 에너지는 진동수가 클수록(파장이 짧을수록) 크다.

04 | 파동의 간섭



탐구 대표 문제

p. 222

01 ㄴ, ㄷ 02 한 스피커에서 나오는 소리보다 큰 소리를 듣는다.

01 ㄴ, ㄷ. (나)에서 두 스피커의 중앙 지점에서는 두 스피커로부터의 거리가 같아 보강 간섭이 일어나 소리가 커진다.

오답 피하기

ㄱ. 과정 ①에서 하나의 스피커에서 나오는 소리의 세기는 거리가 멀어질수록 작아질 뿐 커졌다 작아졌다를 반복하지는 않는다.

02 두 스피커에서 나오는 소리가 같은 위상으로 만나 보강 간섭을 하므로 한 스피커에서 나오는 소리보다 큰 소리를 듣는다.

기초 단단 문제

p. 226

01 ③ 02 ⑤ 03 ④ 04 ① 05 ②

01 ① 보강 간섭은 두 파동이 같은 위상으로 중첩되어 진폭이 증가하는 현상이다.

② 한 파동의 골과 다른 파동의 골이 만나면 변위의 방향이 같아서 변위의 크기가 증가한다.

③ 동일한 두 파동이 보강 간섭을 하면 진폭이 원래 파동의 2배가 된다.

02 ⑤ 헤드폰에서 소음과 상쇄 간섭을 일으키는 음파를 발생시키면 소음이 줄어든다.

오답 피하기

① 소음이 헤드폰을 투과하여 소음 제거 회로가 없다면 헤드폰을 쓴 사람에게도 소음이 들리게 된다.

② 헤드폰에서 재생되는 음악은 소음과 상쇄 간섭을 한다.

③ 헤드폰에서 소음보다 매우 큰 소리를 재생하는 것은 아니다.

④ 주변 소음의 진동수는 사람이 들을 수 있는 가청 주파수이다.

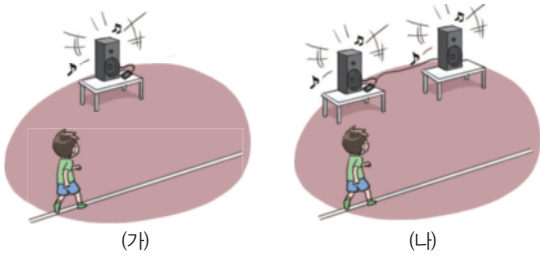
03 악기에서 선명하고 큰 소리가 나는 현상, 공작의 깃털이 선명하고 아름다운 색을 띠는 현상, 여객기 내부에서 엔진의 소음이 들리지 않는 현상, 지폐에 적힌 숫자가 보는 각도에 따라 다른 색깔로 보이는 현상은 파동의 간섭에 의한 것이다.

오답 피하기

④ 태양 빛을 프리즘에 통과시킬 때 무지갯빛이 나타나는 것은 빛의 파장에 따른 굴절률 차이로 인해 태양 빛이 프리즘에서 굴절되는 각도가 달라서 분산되기 때문이다.

04 두 스피커에서 나온 소리가 보강 간섭을 하는 경우 큰 소리가 들리고 상쇄 간섭을 하는 경우 소리가 거의 들리지 않는다.

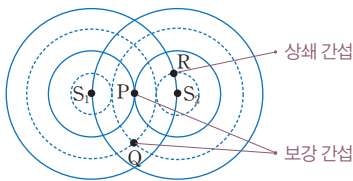
문제 속 자료 소리의 간섭



- (가) 소리의 크기는 스피커에서 멀어질수록 조금씩 작아진다.
 (나) • 두 스피커로부터 같은 거리만큼 떨어진 중앙 지점에서는 큰 소리가 들린다.
 • 중앙에서 조금씩 이동하면 소리의 크기가 점점 작아지다가 거의 들리지 않는 지점에 이른다.
 • 중앙에서 조금씩 이동함에 따라 큰 소리가 들리는 지점과 작은 소리가 들리는 지점이 반복된다.

- 05 P는 두 파동의 마루와 마루가 만나고, Q는 골과 골이 만난다. 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭을 한다. R는 마루와 골이 만나는 지점으로 상쇄 간섭이 일어난다.

문제 속 자료 두 점파원에서 발생한 파동의 중첩



- P : S₁에서 나온 파동의 마루와 S₂에서 나온 파동의 마루가 만나 보강 간섭을 한다.
 • Q : S₁에서 나온 파동의 골과 S₂에서 나온 파동의 골이 만나 보강 간섭을 한다.
 • R : S₁에서 나온 파동의 마루와 S₂에서 나온 파동의 골이 만나 상쇄 간섭을 한다.

내신 만점 문제

p. 227 ~ 229

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

- 01 ㄱ. A, B는 변위의 방향이 반대이므로 합성파의 변위는 각 파동의 변위보다 감소하는 상쇄 간섭을 한다.

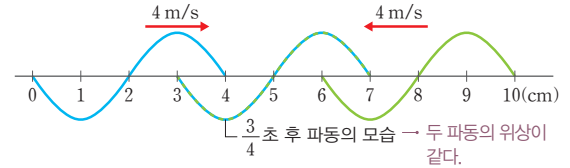
오답 피하기

- ㄴ. A, B는 변위의 방향이 반대이므로 합성파의 변위는 각 파동의 변위보다 감소한다.
 ㄷ. 파동의 독립성 때문에 A, B는 중첩된 이후에도 원래 진행하던 방향으로 계속 진행한다. 중첩된 이후 A는 진행 방향이 오른쪽으로 그대로 유지된다.

- 02 $t = \frac{3}{4}$ 초인 순간의 모습은 그림에서 각 파동이 3 m씩 이동한 모습이다. $x = 3$ m와 $x = 5$ m에서는 두 파동의 변위가 0인 점이 만나 합성파의 변위도 0이다. $x = 4$ m인 점에서는 두 파동의 골이 만나서 합성파의 변위가 -가 된다.

문제 속 자료 파동의 모습

파동은 1초에 4 m 이동하므로 $\frac{3}{4}$ 초 후에는 3 m 이동한다.



- 03 ㄱ. P에서는 두 파동의 마루와 마루가 만나고, Q에서는 골과 골이 만나고, R에서는 마루와 골이 만난다.

ㄷ. 세 점에서 수면의 높이는 $P > R > Q$ 순이다.

오답 피하기

ㄴ. 같은 위상으로 만나는 P와 Q에서는 보강 간섭이 일어난다, 반대 위상으로 만나는 R에서는 상쇄 간섭이 일어난다.

- 04 ㄱ. A 지점에서는 두 스피커에서 나온 소리가 같은 위상으로 만나 보강 간섭을 하여 소리의 세기가 커진다.

ㄷ. 소리의 진동수를 증가시키면 소리의 파장이 짧아지므로, 소리가 크게 들리는 이웃한 두 지점 사이의 거리가 짧아진다.

오답 피하기

ㄴ. B 지점에서는 두 스피커에서 나온 소리가 반대 위상으로 만나 중첩되어 상쇄 간섭을 한다.

- 05 ㄱ. (가)에서 A와 B의 파장은 각각 2 m이다.

오답 피하기

ㄴ. A와 B는 $x = 0$ 에서 같은 변위로 만나 중첩하므로, 합성파의 진폭은 각 파동의 진폭의 2배이다. (나)에서 합성파의 진폭이 20 cm이므로 A와 B의 진폭은 각각 10 cm이다.

ㄷ. $x = 0$ 의 위치에서 $t = 0$ 일 때 0 cm의 변위로 만나고 마루, 골을 거쳐 $t = 4$ s일 때 다시 0 cm의 변위로 만난다. 즉, 주기는 4초이고 진동수는 $\frac{1}{4\text{s}} = 0.25\text{ Hz}$ 이다.

- 06 ㄱ. 보는 각도에 따라 잉크의 표면에서 반사하는 빛과 잉크와 종이의 경계에서 반사하는 빛이 보강 간섭 되는 빛의 파장이 달라지기 때문에 나타나는 현상이다.

ㄴ. (가)에서 글자가 노란색으로 보였으므로 노란색 빛이 보강 간섭을 한다.

오답 피하기

ㄷ. (나)에서 글자가 초록색으로 보였으므로 초록색 빛이 보강 간섭을 한다.

문제 속 자료 지폐의 위조 방지



노란색 빛이 보강 간섭



초록색 빛이 보강 간섭

색 변환 잉크로 그려진 '10000'이라는 글자는 보는 각도에 따라 색이 달라진다. → 글자를 보는 각도에 따라서 보강 간섭이 되는 빛의 파장이 달라지기 때문이다.

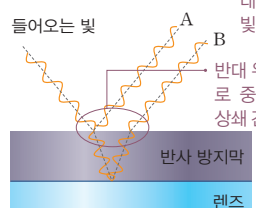
07 나. 반사 방지막을 코팅한 렌즈는 반사하는 빛이 없기 때문에 코팅하지 않은 렌즈보다 빛이 잘 투과한다.

ㄷ. 태양 전지에 반사 방지막을 코팅하면 태양 전지에 도달하는 빛의 세기가 증가하여 더 많은 전기 에너지를 생산할 수 있다.

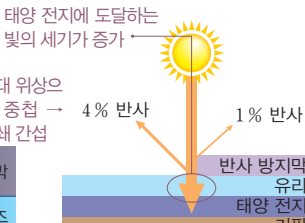
오답 피하기

ㄱ. A와 B가 반대 위상으로 중첩하여 상쇄 간섭을 하기 때문에 반사하는 빛이 제거된다.

문제 속 자료 반사 방지막을 코팅한 렌즈와 태양 전지



▲ 반사 방지막을 코팅한 렌즈



▲ 반사 방지막을 코팅한 태양 전지

08 (가)는 같은 위상으로 중첩하는 보강 간섭, (나)는 반대 위상으로 중첩하는 상쇄 간섭을 나타낸다.

ㄱ. 모르포 나비의 날개가 파란색을 띠는 까닭은 파란색 빛이 보강 간섭을 하기 때문이다.

ㄷ. 악기에서 일어나는 공명은 파동이 보강 간섭을 하여 진폭이 매우 커지는 현상이다.

오답 피하기

나. 마디선은 물결파가 상쇄 간섭을 하여 수면의 높이가 변하지 않는 지점이다.

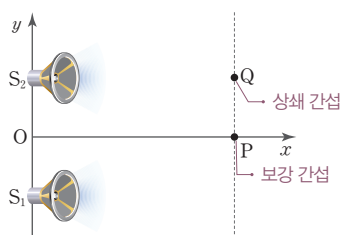
09 ㄱ. P점은 x 축상의 지점이고, 두 스피커의 y 좌표는 절댓값이 같으므로 P점에서 각 스피커까지의 거리가 같아 보강 간섭이 일어난다.

나. Q점에서는 두 스피커에서 온 소리가 상쇄 간섭을 하여 소리의 세기가 가장 작게 들린다.

오답 피하기

ㄷ. x 축상의 점들은 모두 각 스피커까지의 거리가 같아서 보강 간섭이 일어난다.

문제 속 자료 두 스피커에서 나온 소리의 간섭



- P점 : 각 스피커에서 P점까지의 거리가 같다. 두 소리가 같은 위상으로 만나서 보강 간섭을 한다.
- Q점 : 각 스피커에서 Q점까지의 거리의 차이가 반파장의 홀수 배일 때, 두 소리가 반대 위상으로 만나서 상쇄 간섭을 한다.

10 ㄱ. 통로 l_1 이 l_2 보다 길므로 l_1 로 진행하는 소리가 l_2 로 진행하는 소리보다 긴 거리를 이동한다.

오답 피하기

나. B점에서 상쇄 간섭이 일어나야 배기음이 제거된다.

ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나기 위해서는 $l_1 - l_2$ 는 $\frac{\lambda}{2}$ 의 홀수 배가 되도록 설계해야 한다.

11 (1) 두 스피커에서 A까지의 거리는 각각 3λ , B까지의 거리는 각각 4λ , 2.5λ 이다.

[모범 답안] A : 0, B : 1.5λ

(2) 두 스피커에서 A까지의 거리의 차이는 0이므로 두 스피커에서 나온 소리가 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어난다. 소리의 진폭이 커지므로 큰 소리가 들린다.

두 스피커에서 B까지의 거리의 차이는 반파장의 홀수 배이므로 두 스피커에서 나온 소리가 반대 위상으로 만나 상쇄 간섭이 일어난다. 소리의 진폭이 0이 되므로 소리가 거의 들리지 않는다.

[모범 답안] A에서는 보강 간섭이 일어나 큰 소리가 들린다. B에서는 상쇄 간섭이 일어나 소리가 거의 들리지 않는다.

12 소음 제거 헤드폰이나 자동차의 소음기, 무반사 코팅 렌즈 등은 상쇄 간섭의 원리를 이용한다.

[모범 답안] (1) 주변에서 들리는 소음과 위상이 반대인 파동을 발생시켜 그 파동과 소음이 상쇄 간섭을 하게 한다.

(2) 자동차의 엔진에서 발생하는 소리를 줄이기 위해 상쇄 간섭을 이용한 소음기를 사용한다. 무반사 코팅 렌즈를 끼운 안경에서는 코팅막의 윗면에서 반사된 빛과 아랫면에서 반사된 빛이 상쇄 간섭을 일으켜 물체를 선명하게 볼 수 있다.



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

1. 나. (나)에서 주기는 1초이므로 파동의 속력은

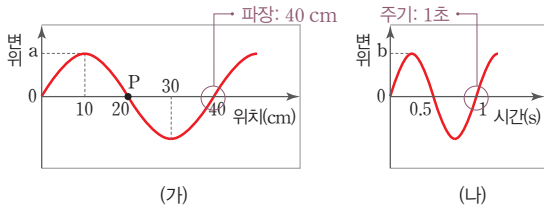
$$\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{40 \text{ cm}}{1 \text{ s}} = 0.4 \text{ m/s이다.}$$

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 파장은 40 cm이다.

ㄷ. a와 b는 모두 파동의 진폭으로 같다.

문제 속 자료 파동 그래프



2. ㄱ. 눈금 한 칸이 10 cm인데, 진폭은 2칸에 해당하므로 20 cm이다.

오답 피하기

나. 1주기 동안 파동은 8칸을 이동하는 데 1초 동안 파동이 1칸을 이동했으므로 $\frac{1}{8}$ 주기를 이동한 것이고 주기는 8초이다.

따라서 진동수는 $\frac{1}{8 \text{ s}} = 0.125 \text{ Hz}$ 이다.

ㄷ. 주기가 8초이고 파장은 80 cm이므로 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{80 \text{ cm}}{8 \text{ s}} = 0.1 \text{ m/s}$ 이다.

3. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르다. 매질의 성질이 바뀌어도 파동의 진동수는 바뀌지 않는다. 파동의 속력은 파장과 진동수의 곱이다.

ㄱ. 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

ㄷ. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊은 A에서가 B에서보다 빠르다.

오답 피하기

나. ㄷ. 진동수는 같은 값을 가지고 주기는 진동수의 역수이므로 A와 B에서 같은 값을 갖는다.

4. 굴절률은 '매질 1 > 매질 2 > 매질 3'이고, 빛의 속력은 '매질 1 < 매질 2 < 매질 3'이다. 매질이 달라져도 빛의 진동수는 변하지 않으므로 빛의 파장은 '매질 1 < 매질 2 < 매질 3'이다.

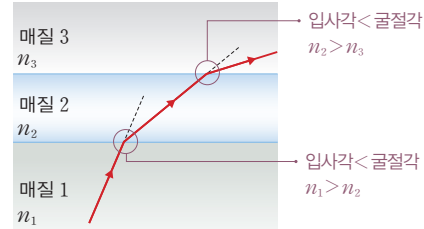
ㄷ. 빛의 속력은 매질 1에서가 매질 3에서보다 느리다.

오답 피하기

ㄱ. 매질 1에서 2로 입사할 때 입사각보다 굴절각이 더 크다.

나. 빛의 파장은 매질 2에서가 매질 3에서보다 짧다.

문제 속 자료 파동의 굴절



- 굴절률 비교: $n_1 > n_2 > n_3$
- 빛의 속력 비교: 매질 1 < 매질 2 < 매질 3
- 빛의 파장 비교: 매질 1 < 매질 2 < 매질 3

5. 나. 직각 프리즘에서 공기로 입사할 때 전반사가 일어났으므로 직각 프리즘의 굴절률이 공기보다 크다.

ㄷ. 직각 프리즘은 잠망경이나 쌍안경에 이용된다.

오답 피하기

ㄱ. 그림에서 레이저 빛이 직각 프리즘 내부에서 공기로 입사하는 각도는 45° 이다. 이때 전반사가 일어났으므로, 직각 프리즘의 임계각은 45° 보다 작다.

6. ㄷ. ㄷ은 빛의 전반사와 관련된 현상이다.

오답 피하기

ㄱ. 나. ㄷ은 빛의 굴절과 관련된 현상이다.

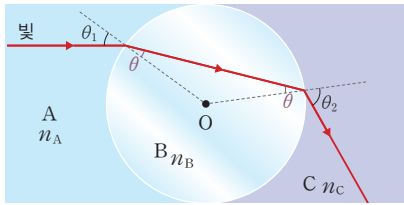
7. ㄱ. A에서 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로, B의 굴절률이 A보다 크다($n_B > n_A$). B에서 C로 입사할 때 입사각보다 굴절각이 크므로 B의 굴절률이 C의 굴절률보다 크다($n_B > n_C$). 따라서 A, B, C 중 굴절률이 가장 큰 것은 B이다.

나. A에서 B로 입사할 때의 굴절각을 θ 라고 하면, B에서 C로 입사할 때의 입사각도 θ 이다. 따라서 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta} = \frac{n_B}{n_A}$ 이고, $\frac{\sin \theta}{\sin \theta_2} = \frac{n_C}{n_B}$ 이다. 두 식을 곱하면 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_C}{n_A}$ 이다. $\theta_1 < \theta_2$ 이므로 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_C}{n_A} < 1$ 이다. A의 굴절률이 C보다 크므로 단색광의 속력은 A에서가 C에서보다 느리다.

오답 피하기

ㄷ. $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_C}{n_A}$ 로 일정하므로 θ_1 이 감소하면 θ_2 도 감소한다.

문제 속 자료 매질 A, B, C에서 빛의 경로



- $\theta_1 > \theta$
→ $n_B > n_A$
- $\theta > \theta_2$
→ $n_B > n_C$

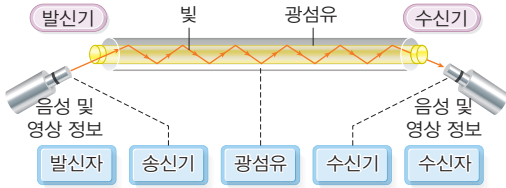
- 매질 A에서 B로 입사할 때의 굴절각과 매질 B에서 C로 입사할 때의 입사각은 θ 로 같다.
- 굴절 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta} = \frac{n_B}{n_A}, \frac{\sin \theta}{\sin \theta_2} = \frac{n_C}{n_B}$$

- 8 마이크는 ㉠ 소리 신호를 ㉡ 전기 신호로 변환하고, 스피커는 전기 신호를 소리 신호로 변환한다. 발신기는 전기 신호를 ㉢ 빛 신호로 전환하고, 광 수신기는 빛 신호를 전기 신호로 변환한다. 광섬유는 빛 신호를 전달한다.

문제 속 자료 광통신

- 송신부: 정보 신호를 전기 신호로 변환한 후 다시 빛 신호로 바꾸어 광섬유로 보낸다.
- 수신부: 빛 신호를 수신하여 전기 신호로 바꾼 후 컴퓨터 등과 같은 장치로 재생한다.



- 9 A는 X선, B는 가시광선, C는 적외선이다.
ㄴ. 가시광선과 적외선은 진공에서의 속력이 같다.
ㄷ. 적외선은 온도계에 이용된다.

오답 피하기

- ㄱ. X선의 파장은 가시광선보다 짧다.

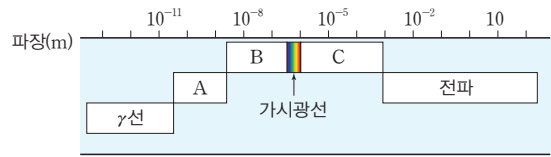
- 10 (가)는 라디오파, (나)는 γ 선, (다)는 마이크로파이다. 진동수가 큰 순서대로 나열하면 γ 선(나)-마이크로파(다)-라디오파(가)이다.

- 11 A는 X선, B는 자외선, C는 적외선이다.
ㄱ. X선은 공항의 수하물 검색에 이용된다.

오답 피하기

- ㄴ. 적외선은 자외선보다 진동수가 작다.
ㄷ. 물을 가열하는 성질이 있어서 전자레인지에 이용되는 것은 마이크로파이다.

문제 속 자료 전자기파의 스펙트럼



- A 영역: X선
 - B 영역: 자외선
 - C 영역: 적외선
- 파장 비교: γ 선 < X선 < 자외선 < 가시광선 < 적외선 < 전파

- 12 A는 자외선이고 (나) 영역에 속한다. B는 X선이고 (가) 영역에 속한다. C는 전파이고 (다) 영역에 속한다.

- 13 합성파의 변위는 두 파동의 변위의 합과 같다. 파동 1과 파동 2의 변위의 방향이 반대이므로 합성파의 변위는 2 cm와 -2 cm 사이에서 반복된다. 따라서 합성파의 진폭은 2 cm이다.

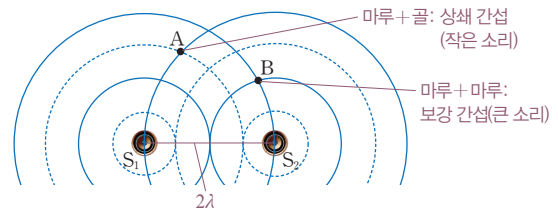
- 14 (가) 물이 담긴 컵 속에 넣은 젓가락이 꺾여 보인다. - 굴절
(나) 비눗방울에 무지개빛 무늬가 나타난다. - 간섭
(다) 더운 여름날 고속도로에서 신기루가 생긴다. - 굴절
(라) 연못이나 수영장 바닥이 실제보다 얕아 보인다. - 굴절
(마) 신용카드의 홀로그램은 보는 각도에 따라 다른 무늬가 보인다. - 간섭
(가), (다), (라)는 빛의 굴절과 관련된 현상이고, (나), (마)는 빛의 간섭과 관련된 현상이다.

- 15 ㄷ. S_1 에서 B까지의 거리는 2λ 이고, S_2 에서 B까지의 거리는 λ 이므로 거리의 차는 λ 이다.

오답 피하기

- ㄱ. A에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 소리가 거의 들리지 않는다.
ㄴ. 밀한 부분(실선)과 밀한 부분(실선) 사이의 거리가 λ 이므로 S_1 과 S_2 사이의 거리는 2λ 이다.

문제 속 자료 상쇄 간섭



- 16 자동차 내부에 설치한 ㉠ 마이크가 소음을 감지하고, 소음과 진동수는 같고 위상이 ㉡ 반대인 소리를 발생시키면 ㉢ 상쇄 간섭이 일어나서 소음이 제거된다.

2. 빛과 물질의 이중성

01 | 빛의 이중성



탐구 대표 문제

p. 239

01 ② 02 자외선등, (광)전자

01 ② 텀가죽에 마찰시킨 에보나이트 막대는 음(-)전하로 대전되고, 이 에보나이트 막대에 접촉된 검전기의 아연판과 금속 박은 모두 음(-)전하로 대전된다.

오답 피하기

- ① 텀가죽에 마찰시킨 에보나이트 막대는 음(-)전하로 대전된다.
- ③ 아연판과 형광등의 거리를 매우 가깝게 해도 빛의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작으므로 금속박의 벌어진 각도는 변하지 않는다.
- ④ 자외선등을 비추면 광전자가 방출되므로 금속박의 벌어진 각도는 줄어든다.
- ⑤ 빛의 입자성으로 실험의 결과를 설명할 수 있다.

02 둘 중 하나에서만 금속박이 벌어졌으므로 하나는 문턱 진동수보다 빛의 진동수가 크고, 다른 하나는 문턱 진동수보다 빛의 진동수가 작다. 빛의 진동수는 형광등 빛의 진동수보다 자외선등 빛의 진동수가 크므로 금속박이 벌어지게 한 것은 자외선등이다. 이때 금속판에서 튀어 나온 것은 (광)전자이다.



기초 탄탄 문제

p. 241

01 ② 02 ④ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ③

01 영희: 광전 효과는 빛의 입자성을 증명하는 현상으로 빛은 광자 한 개의 에너지가 진동수에 비례하는 입자의 흐름이라는 것을 보여준다.

오답 피하기

철수: 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.
민수: 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 커야 금속 표면에서 광전자가 튀어 나올 수 있다.

02 ㄱ. 빛의 진동수가 아연판의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출된다.

ㄷ. 자외선의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 크므로 오랫동안 비추면 방출되는 광전자 수가 증가한다. 따라서 금속박이 오므라들다가 양(+)전하로 대전되면서 다시 벌어진다.

오답 피하기

ㄴ. 빛의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자 수가 증가한다.

03 광양자설은 빛을 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자라는 입자들의 흐름으로 보는 이론이다.

04 ㄱ, ㄴ. 광 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체가 접합되어 있는 구조로, 빛에 의해 접합면 부근에서 양공과 전자가 생성되어 한쪽 방향으로 전류를 흐르게 한다.

ㄷ. 광 다이오드는 광전 효과를 이용하는 장치로, 작동 원리를 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

05 ㄱ. 마이크로 렌즈는 빛을 모아 색 필터를 통과하는 빛의 세기를 증가시킨다.

ㄴ. 빛의 색에 따라 색 필터를 통과하는 빛의 세기가 달라지므로, 이를 이용하여 빛의 색을 구분한다.

오답 피하기

ㄷ. 광 다이오드는 빛의 세기만을 측정하여 빛을 전기 신호로 전환한다.

내신 만점 문제

p. 242~243

01 ① 02 ⑤ 03 ② 04 ② 05 ⑤ 06 ① 07~09 해설 참조



01 ㄱ. 단색광의 진동수가 A의 문턱 진동수보다 작기 때문에 (가)에서 전자가 튀어 나오지 않고, B의 문턱 진동수보다 크기 때문에 (나)에서 전자가 튀어 나온다. 따라서 A의 문턱 진동수가 B의 문턱 진동수보다 크다.

오답 피하기

ㄴ. 단색광의 진동수는 A의 문턱 진동수보다 작으므로 단색광의 세기를 증가시켜도 광전자는 방출되지 않는다.
ㄷ. 단색광의 진동수를 감소시켜 B의 문턱 진동수보다 작아지면 광전자는 방출되지 않는다.

문제 속 자료

(가) 단색광 진동수 < A의 문턱 진동수
→ 전자 방출 안 됨

문턱 진동수

(나) 단색광 진동수 > B의 문턱 진동수
→ 전자 방출됨

02 hf 의 에너지를 가지는 광자가 일함수 W 인 금속 표면의 전자와 충돌하면 전자를 방출시키는 데 에너지의 일부가 사용되고, 남은 에너지는 광전자의 운동 에너지(E_k)가 된다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = hf - W = hf_1 - hf_0$$

- 03 아연판에 형광등을 비추었을 때 검전기의 금속박에 아무런 변화가 없으므로 광전자가 방출되지 않는다. 따라서 형광등의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작다.

ㄷ. 적외선등의 진동수는 형광등의 진동수보다 작으므로 광전자가 방출되지 않는다.

오답 피하기

ㄱ. 형광등의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작으므로 형광등을 가까이 가져가도 광전자는 방출되지 않아 금속박은 아무런 변화가 없다.

ㄴ. 형광등의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작으므로 형광등을 비추는 시간을 길게 하여도 광전자는 방출되지 않아 금속박은 아무런 변화가 없다.

- 04 B를 비추었을 때 광전자가 방출되지 않았으므로 B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작고, C를 비추었을 때 광전자가 방출되었으므로 C의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크다.

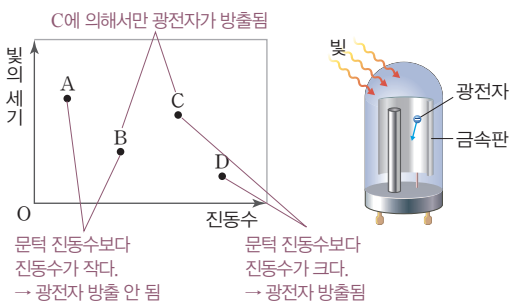
ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 단색광의 진동수가 클수록 크다.

오답 피하기

ㄱ. A의 진동수는 B의 진동수보다 작으므로 광전자가 방출되지 않는다.

ㄴ. B는 광전자를 방출시키지 않으므로 B와 C를 동시에 비추어도 C에 의해서만 광전자가 방출된다. 따라서 광전자의 수는 C만 비추었을 때와 같다.

문제 속 자료 광전 효과에서 빛의 세기와 진동수



- 05 ㄱ. 빛의 간섭과 회절은 빛의 파동성에 의해 나타나는 현상이다. 따라서 (가)는 빛의 파동성을 증명한다.

ㄴ. 광전 효과는 빛이 입자의 성질을 가진 광자라는 것을 증명한다.

ㄷ. (가)는 빛의 파동성을, (나)는 빛의 입자성을 증명하므로 (가)와 (나)를 통해 빛이 파동성과 입자성을 동시에 가지고 있다는 빛의 이중성을 설명할 수 있다.

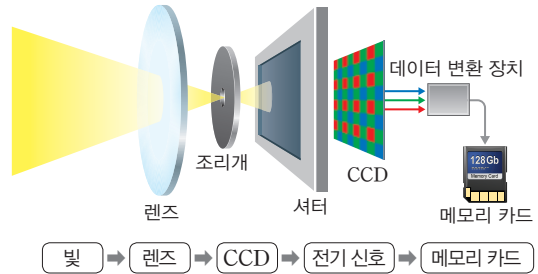
- 06 ㄴ. CCD는 빛을 전기 신호로 전환시킨다.

오답 피하기

ㄱ. 빛이 렌즈를 통과하면서 굴절하는 현상은 빛의 입자성으로도 설명할 수 있고, 파동성으로도 설명할 수 있다.

ㄷ. CCD는 빛의 색을 색 필터를 이용해서 구분한다.

문제 속 자료 CCD의 구조와 원리



① CCD는 광자의 수에 비례하여 광전자를 방출하는 방식으로 빛을 전기 신호로 전환한다.

② CCD는 빛의 세기를 분석해서 천연색 영상 정보를 메모리 카드에 저장한다.

- 07 X는 A와 B에서 광전자를 방출시키지 않았으므로 X의 진동수는 A와 B의 문턱 진동수보다 작다. Y는 A와 B에서 광전자를 방출시키므로 Y의 진동수는 A와 B의 문턱 진동수보다 크다. Z는 A에서만 광전자를 방출시키므로 Z의 진동수는 A의 문턱 진동수보다는 크고 B의 문턱 진동수보다는 작다. 따라서 진동수의 크기는 $X < Z < Y$ 이고 빛의 진동수는 빨강 < 초록 < 파랑이므로 X가 빨강, Z가 초록, Y가 파랑이다.

[모범 답안] 빨강-X, 초록-Z, 파랑-Y, X의 진동수는 A와 B의 문턱 진동수보다 작고, Y의 진동수는 A와 B의 문턱 진동수보다 크고, Z는 A의 문턱 진동수보다는 크고 B의 문턱 진동수보다는 작다. 따라서 빛의 진동수는 $X < Z < Y$ 이다.

- 08 A의 문턱 진동수를 f_A , B의 문턱 진동수를 f_B 라 할 때 진동수의 대소 관계는 $f_X < f_A < f_Z < f_B < f_Y$ 이다.

[모범 답안] B, A의 문턱 진동수는 초록(Z)과 파랑(Y)의 진동수보다는 작지만 B의 문턱 진동수는 초록(Z)의 진동수보다는 크고 파랑(Y)의 진동수보다 작다.

- 09 X와 Z의 진동수는 B의 문턱 진동수보다 작으므로 X와 Z에 의해 광전자는 방출되지 않는다.

[모범 답안] 옳지 않다. X는 B의 금속판의 문턱 진동수보다 작은 진동수의 빛이므로 X의 세기를 증가시켜도 광전자가 방출되지 않기 때문이다.

02 | 물질의 이중성



탐구 대표 문제

p. 246

01 ① 02 레이저 빛, 빛의 파동성

01 ㄱ. 모래의 물질파 파장이 레이저 빛의 파장보다 훨씬 짧기 때문에 파동성이 거의 나타나지 않는다. 따라서 스크린에는 이중 슬릿과 같은 2개의 무늬가 나타난다.

오답 피하기

ㄴ. 모래를 슬릿의 틈이 한 개인 슬릿에 통과시키면 스크린에는 1개의 무늬를 나타낸다.

ㄷ. 레이저 빛에 의한 스크린 무늬의 모습은 빛의 파동성 때문이다.

02 이중 슬릿을 통과하는 레이저 빛은 회절과 간섭에 의해 여러 개의 무늬가 관측된다. 하지만 모래는 입자성 때문에 이중 슬릿을 통과한 2개의 무늬만 관측된다.



기초 탄탄 문제

p. 247

01 ③ 02 ③ 03 ① 04 ② 05 ③

01 철수, 민수: 물질파는 드브로이파라고도 하며, 물질파의 파장은 물체의 질량과 속력의 곱에 반비례한다.

오답 피하기

영희: 질량이 m , 속력이 v 인 물질파의 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이다.

02 ㄱ, ㄴ. 스크린의 무늬는 빛의 이중 슬릿 실험에 의한 간섭무늬와 유사하다. 이것은 전자의 파동성 때문이다.

오답 피하기

ㄷ. 모래는 입자성이 크고 파동성이 매우 작기 때문에 스크린에 간섭무늬와 유사한 무늬가 만들어지지 않는다.

03 ① 물질파는 물질(입자)도 파동성을 가진다는 것을 보여 준다.

오답 피하기

② 야구공은 질량이 크기 때문에 물질파의 파장이 매우 짧다. 따라서 파동성을 관측하기 어렵다.

③ 운동하는 물질의 위치와 속도를 동시에 정확히 측정하기 어렵다는 이론은 불확정성 원리이다.

④ 관성 질량과 중력 질량이 같다는 개념은 물질의 이중성과 관계가 적다.

⑤ 시간 지연과 길이 수축은 특수 상대성 이론에 의한 결과이다.

04 질량이 m , 속력이 v 인 물질파의 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 의 관계로 표현된다. 따라서 파장과 속력은 반비례 관계이다.

05 전자선의 파장이 가시광선의 파장보다 짧아서 가시광선의 파장보다 크기가 작은 물체를 볼 수 있다.

내신 만점 문제

p. 248~249

01 ③ 02 2 : 1 : 1 03 ⑤ 04 ① 05 ③ 06 ① 07~08 해설 참조



01 ㄱ. A는 전자의 입자성이 클 때 나타나는 무늬이고, B는 전자의 파동성이 클 때 나타나는 무늬이다. 따라서 전자가 입자성만 있다면 A가 관측된다.

ㄴ. B가 발생하는 까닭은 전자의 파동성 때문이다.

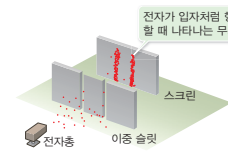
오답 피하기

ㄷ. B는 간섭무늬로, 전자의 물질파에 의한 간섭무늬이다.

문제 속 자료

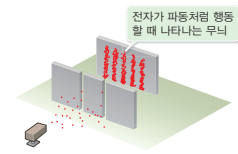
전자를 이용한 이중 슬릿 실험

전자가 입자처럼 행동할 때



전자들을 이중 슬릿에 통과시키면 이중 슬릿의 위치에 해당하는 부분에서만 스크린에 전자가 도착하여 두 개의 무늬를 형성하게 된다.

전자가 파동처럼 행동할 때



전자들을 이중 슬릿에 통과시키면 빛의 이중 슬릿 실험에서 간섭에 의한 여러 개의 무늬 결과와 비슷한 무늬를 형성하게 된다.

02 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다.

$$A: \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

$$B: \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \times 2m \times 2E}} = \frac{h}{2\sqrt{2mE}}$$

$$C: \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \times 4m \times E}} = \frac{h}{2\sqrt{2mE}}$$

따라서 A, B, C의 파장의 비 $\lambda_A : \lambda_B : \lambda_C = 2 : 1 : 1$ 이다.

03 ㄱ. X선의 회절 무늬는 X선의 파동의 성질 때문에 나타난다. ㄴ. 전자선 실험에서 회절 무늬가 나타났으므로 전자선이 회절된 결과이다.

ㄷ. 회절 무늬는 파동의 성질 때문에 나타나는 현상이다. 전자선에 의해 회절 무늬가 나타난 결과로 보아 전자선이 파동의 성질을 가지고 있음을 알 수 있다.

- 04 ㄱ. 특정 각도인 $\theta=50^\circ$ 에서 도달한 전자 수가 최대인 결과는 보강 간섭의 효과로 설명할 수 있다. 간섭은 파동의 성질이므로 전자선이 파동성을 가진다는 물질파 이론으로 설명할 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. $\theta=50^\circ$ 에서 전자선의 물질파가 보강 간섭을 한 결과로 해석할 수 있다.

ㄷ. $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이므로 전자의 운동 에너지를 변화시키면 전자의 물질파 파장이 달라진다. 따라서 보강 간섭이 일어나는 각도도 달라진다.

- 05 물질파의 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다.

ㄱ. 속력이 v_0 일 때 물질파의 파장이 A가 B보다 크므로 질량은 A가 B보다 작다.

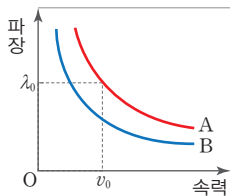
ㄴ. $\lambda = \frac{h}{p}$ 이므로 물질파의 파장이 같으면 운동량이 같다.

오답 피하기

ㄷ. $p=mv$ 에서 속력은 같고 질량은 B가 A보다 크므로 입자의 운동량은 B가 A보다 크다.

다른 풀이 $\lambda = \frac{h}{p}$ 에서 입자의 속력이 v_0 일 때 물질파의 파장이 A가 B보다 크므로 입자의 운동량은 B가 A보다 크다.

문제 속 자료 물질파의 파장과 속력



$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

속력이 v_0 일 때

- 파장: $A > B$
- 질량: $A < B$
- 운동량: $A < B$

- 06 ㄱ. 전자 현미경을 사용하는 까닭은 가시광선 영역의 파장보다 작은 물질을 관찰하기 위해서이다. 따라서 전자 현미경에서 사용되는 전자선의 파장은 가시광선 영역의 파장보다 짧다.

오답 피하기

ㄴ. 분해능은 파장이 짧을수록 좋으므로 (나)가 (가)보다 좋다.
 ㄷ. 전자 현미경은 가시광선 영역의 빛을 사용하지 않으므로 물질의 색을 구분할 수 없다.

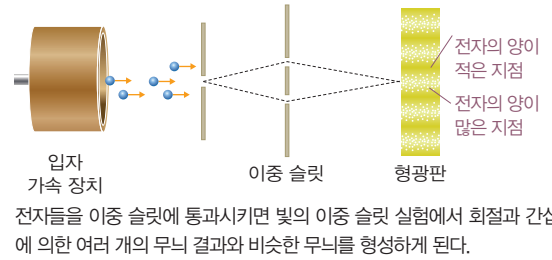
- 07 (1) 전자가 파동처럼 간섭을 일으켜서 간섭무늬를 형성하였다고 할 수 있다.

[모범 답안] 파동성

(2) 간섭무늬는 파동의 성질 때문에 나타나는 현상이므로 입자의 파동성에 의한 결과이다.

[모범 답안] 입자가 파동의 성질을 지니기 때문이다.

문제 속 자료 전자가 만드는 간섭무늬



- 08 (1) $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$ 에서 $p = \sqrt{2mE_k}$ 이므로 A의 운동량 $p_A = \sqrt{2m \times E_0}$ 이고, B의 운동량 $p_B = \sqrt{2m \times 4E_0} = 2\sqrt{2m \times E_0}$ 이다.

[모범 답안] $p = \sqrt{2mE_k}$ 이므로

$$p_A : p_B = \sqrt{2mE_0} : \sqrt{2m \times 4E_0} = 1 : 2 \text{이다.}$$

$$(2) \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \text{에 의해 } \lambda_A = \frac{h}{\sqrt{2mE_0}} \text{이고,}$$

$$\lambda_B = \frac{h}{2\sqrt{2mE_0}} \text{이다.}$$

[모범 답안] $\lambda = \frac{h}{p}$ 에서 A와 B의 운동량이 1 : 2이므로

$$\lambda_A : \lambda_B = 2 : 1 \text{이다.}$$

답원 마무리하기

p. 252 ~ 255



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

- 01 아연판과 금속박이 음(-)전하로 대전되어 있으므로 금속박이 떨어져 있다. 빛의 진동수가 아연판의 문턱 진동수보다 크면 아연판에서 광전자가 방출되면서 금속박의 음(-)전하가 감소하여 금속박이 오므라든다.

ㄷ. (라)에서 금속박이 더 빨리 오므라드는 것은 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 (라)에서가 (다)에서보다 많기 때문이다.

오답 피하기

ㄱ. 네온등 빛의 진동수가 아연판의 문턱 진동수보다 작기 때문에 네온등을 비추었을 때 광전자가 방출되지 않아 금속박이 오므라들지 않았다.

ㄴ. 금속박이 오므라드는 것은 광전자의 방출 때문으로 빛의 진동수가 아연판의 문턱 진동수보다 크기 때문이다. 빛의 세기가 크면 방출되는 광전자의 수가 증가하고 이것은 (다)와 (라)의 결과를 통해 확인할 수 있다.

- 02 ㄱ. 광전 효과에 의해 A와 B에서 광전자가 방출되어 A와 B 모두 양(+)전하로 대전되었다. 따라서 서로 밀어내는 전기력에 의해 두 금속구가 멀어진 것이다.

오답 피하기

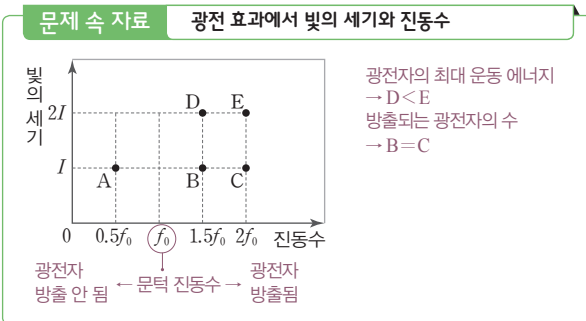
- ㄴ. 단색광의 세기를 증가시키면 방출되는 광전자 수가 증가하여 두 금속구에는 상대적으로 양(+)전하가 많아진다. 따라서 두 금속구 사이의 전기력은 증가하여 더 멀어진다.
 ㄷ. 진동수가 $2f_0$ 인 빛을 비추어도 광전자는 방출되므로 금속구는 멀어진다.

- 03 ㄱ. 문턱 진동수가 f_0 이므로 빛의 진동수가 f_0 보다 크면 광전자가 방출되고 작으면 광전자가 방출되지 않는다. A는 진동수가 문턱 진동수보다 작으므로 광전자가 방출되지 않는다.

- ㄴ. B와 C는 문턱 진동수보다 큰 진동수를 갖고 있으므로 광전자가 방출되고, 빛의 세기가 같으므로 방출되는 광전자 수는 같다.

오답 피하기

- ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$ 이므로 빛의 진동수가 클수록 크다. E의 진동수가 D의 진동수보다 크므로 광전자의 최대 운동 에너지는 E가 D보다 크다.



- 04 ㄴ. (가)의 결과를 통해 B에서만 광전 효과가 일어남을 알 수 있다. 따라서 (나)에서도 (가)와 동일한 결과가 나타난다.

- ㄷ. B에서 광전 효과가 일어나므로 진동수 f 는 B의 문턱 진동수보다 크다.

오답 피하기

- ㄱ. (가)의 도선에서 전자의 이동 방향이 A에서 B이므로 광전 효과에 의해 B에서 광전자가 방출되어 A에서 B로 전자가 이동하고 있다는 것을 알 수 있다.

- 05 B에서 광전자가 방출되지 않으므로 f_2 는 광전관의 문턱 진동수보다 작다. C에 비춰지는 L_2 의 진동수는 f_2 이므로 f_2 에 의해 광전자는 방출되지 않는다. E에서 광전자가 방출되므로 f_3 의 진동수는 광전관의 문턱 진동수보다 크다. 따라서 L_3 에 비춰지는 D에서도 f_3 에 의해 광전자는 방출된다.

- ㄴ. f_2 는 광전관의 문턱 진동수보다 작고, f_3 은 광전관의 문턱 진동수보다 크다.

오답 피하기

- ㄱ. C에서는 광전자가 방출되지 않고, D에서는 광전자가 방출된다.

- ㄷ. L_1 에서 방출되는 f_1 은 광전관의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 빛의 세기를 증가시켜도 광전자는 방출되지 않는다.

- 06 보어의 수소 원자 모형에서 전자가 궤도 전이할 때 전자의 에너지 준위 차이만큼 빛에너지가 방출된다. 방출되는 빛에너지는 a가 가장 작고 c가 가장 크므로, 빛의 진동수는 a가 가장 작고 c가 가장 크다.

- ㄱ. 빛의 파장은 빛의 진동수와 반비례한다. 따라서 빛의 파장은 a가 가장 길고 c가 가장 작다.

오답 피하기

- ㄴ. c 과정에서 발생한 빛이 광전자를 방출시키지 못하였으므로, c보다 진동수가 작은 b도 광전자를 방출시키지 못한다.

- ㄷ. 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

- 07 광전 효과는 빛의 진동수가 금속의 문턱 진동수보다 클 때 광전자가 방출되는 현상이다.

- ④ $t_3 \sim t_4$ 동안 빛의 진동수는 문턱 진동수 f_0 보다 크므로 광전자가 방출되고, 빛의 세기가 일정하므로 방출되는 광전자 수도 일정하다.

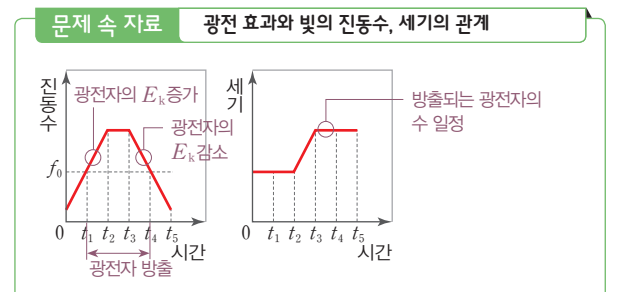
오답 피하기

- ① $0 \sim t_1$ 동안 문턱 진동수(f_0)보다 빛의 진동수가 작으므로 광전자가 방출되지 않는다.

- ② $t_1 \sim t_2$ 동안 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 크고, 빛의 진동수가 증가하면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 증가한다.

- ③ $t_2 \sim t_3$ 동안 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 크므로 광전자는 방출된다.

- ⑤ $t_4 \sim t_5$ 동안 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 작으므로 광전자는 방출되지 않는다.



08 나. 색 필터를 통해 빛의 색을 구분하고, 통과한 빛의 세기에 따라 전기 신호의 세기가 결정된다.

다. CCD 속의 광 다이오드는 광전 효과에 의해 빛을 전기 신호로 전환한다. 광전 효과는 빛의 입자성을 증명하는 현상이다.

오답 피하기

ㄱ. 빛의 세기는 빛의 밝기에 비례하고, 빛의 진동수는 빛의 에너지에 비례한다.

09 빛의 진동수가 f , 금속의 문턱 진동수가 f_0 일 때 광전 효과에 의해 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $E_k = hf - hf_0$ 이다.

다. 광전자의 최대 운동 에너지가 클수록 빛에너지는 크다.

오답 피하기

ㄱ. 단색광의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 따라서 빛의 진동수는 b와 c가 같고, a가 가장 작다.

나. 단색광의 세기는 방출되는 광전자 수와 비례한다. 따라서 빛의 세기는 a와 c가 같고 b가 가장 작다.

10 물질파의 파장은 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$ 이다.

나. b와 c의 운동 에너지가 같으므로 물질파의 파장도 같다.

다. a의 운동 에너지가 가장 작으므로 물질파의 파장은 A가 가장 길다.

오답 피하기

ㄱ. 운동량은 $p = \sqrt{2mE_k}$ 이므로 운동 에너지가 클수록 운동량이 크다. 따라서 운동량은 b가 a보다 크다.

11 ㄱ. 이중 슬릿을 통과한 입자들이 간섭무늬를 만든 까닭은 입자가 파동의 성질을 가지기 때문이다.

오답 피하기

나, 다. 입자의 물질파 파장이 길수록 파동성은 커진다. 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 에서 속력이 일정할 때 질량이 작아지면 파장이 길어지고, 질량이 일정할 때 속력이 느려지면 파장이 길어진다. 파장이 길어지면 파동성이 커지므로 간섭무늬가 나타난다.

12 다. $\theta = 50^\circ$ 에서 전자 수가 가장 많은 현상은 전자의 파동성에 의한 보강 간섭 현상으로 설명할 수 있다

오답 피하기

ㄱ. 전자선은 전자의 연속적인 흐름이고, 전자기파는 빛의 형태이다.

나. 실험 결과는 전자(입자)의 파동성 때문에 나타나는 현상이고, 광전 효과는 빛의 입자성을 증명하는 실험이다.

13 ㄱ. X선에 의한 회절 무늬와 전자선에 의한 회절 무늬의 모양과 크기가 같으므로 X선의 파장과 전자선의 물질파 파장이 같다.

나. 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 에서 파장이 같으면 운동량도 같다.

다. 회절 무늬는 파동의 성질 때문에 나타나는 현상이다.

14 X선의 파장과 전자선의 물질파 파장이 동일하므로 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 의 관계가 성립한다. 따라서 $v = \frac{h}{m\lambda}$ 이다.

15 ㄱ. 운동량 보존 법칙에 의해 $2mv = 2m \times 0.5v + m \times v_B$ 이므로 충돌 후 B의 속력 $v_B = v$ 이다.

나. 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 의 관계에 의해 충돌 후 A와 B의 운동량이 같으므로 물질파의 파장도 같다.

오답 피하기

다. $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ 의 관계에 의해 A의 충돌 전 물질파 파장은 $\frac{h}{2mv}$ 이고, 충돌 후 물질파 파장은 $\frac{h}{2m \times 0.5v} = \frac{h}{mv}$ 이므로 A의 충돌 전 물질파 파장은 충돌 후의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

16 (가)가 (나)보다 분해능(선명도)이 좋으므로 (가)가 전자 현미경, (나)가 광학 현미경으로 관찰한 모습이다.

ㄱ. 전자 현미경은 내부가 진공이고, 광학 현미경은 내부가 공기이다.

오답 피하기

나. 광학 현미경은 가시광선을 이용하여 관찰하고, 전자 현미경은 전자선을 이용하여 관찰한다. 전자 현미경의 분해능이 광학 현미경보다 좋은 까닭은 전자선의 물질파 파장이 가시광선 영역의 파장보다 짧기 때문이다.

다. 전자 현미경은 자기렌즈를 이용하고, 광학 현미경은 유리렌즈를 이용하므로 자기렌즈를 이용한 것은 (가)이다.

문제 속 자료 광학 현미경과 전자 현미경의 차이점

구분	광원	렌즈 형태	현미경 내부	배율
광학 현미경	빛	유리(광학) 렌즈	공기	약 1000배 ~ 1500배
전자 현미경	전자선	자기렌즈	진공	100000배 이상

개념을 쌓아가는 기본서

고등 셀파



정답과 해설



빠른 기술 문제 정답

기술 1~50

001 ②	002 ①	003 ④	004 ②	005 ⑤	006 ①	007 ②	008 ①	009 ①
010 ③	011 ①	012 ②	013 ③	014 ③	015 ②	016 ③	017 ⑤	018 ②
019 ③	020 ②	021 ⑤	022 ⑤	023 ③	024 ③	025 ⑤	026 ⑤	027 ③
028 ③	029 ④	030 ①	031 ⑤	032 ③	033 ③	034 ③	035 ②	036 ④
037 ⑤	038 ③	039 ②	040 ②	041 ②	042 ①	043 ④	044 ④	045 ③
046 ⑤	047 ⑤	048 ⑤	049 ②	050 ④				

기술 51~100

051 ⑤	052 ①	053 ⑤	054 ⑤	055 ①	056 ④	057 ④	058 ①	059 ④
060 ⑤	061 ②	062 ⑤	063 ②	064 ①	065 ②	066 ④	067 ⑤	068 ③
069 ②	070 ①	071 ②	072 ②	073 ④	074 ④	075 ④	076 ①	077 ②
078 ①	079 ①	080 ⑤	081 ③	082 ⑤	083 ④	084 ②	085 ④	086 ③
087 ③	088 ②	089 ⑤	090 ⑤	091 ③	092 ④	093 ④	094 ②	095 ②
096 ⑤	097 ①	098 ④	099 ⑤	100 ⑤				

기술 101~150

101 ⑤	102 ⑤	103 ④	104 ①	105 ③	106 ②	107 ②	108 ④	109 ①
110 ③	111 ⑤	112 ④	113 ①	114 ⑤	115 ③	116 ⑤	117 ⑤	118 ②
119 ③	120 ⑤	121 ③	122 ②	123 ④	124 ②	125 ③	126 ⑤	127 ④
128 ③	129 ②	130 ②	131 ①	132 ④	133 ②	134 ④	135 ⑤	136 ①
137 ③	138 ③	139 ④	140 ③	141 ①	142 ①	143 ③	144 ⑤	145 ③
146 ③	147 ③	148 ①	149 ②	150 ④				

기술 151~200

151 ①	152 ③	153 ②	154 ②	155 ②	156 ④	157 ④	158 ①	159 ③
160 ②	161 ⑤	162 ③	163 ⑤	164 ②	165 ④	166 ④	167 ①	168 ③
169 ⑤	170 ①	171 ⑤	172 ②	173 ②	174 ①	175 ②	176 ④	177 ⑤
178 ②	179 ⑤	180 ④	181 ④	182 ⑤	183 ⑤	184 ⑤	185 ①	186 ⑤
187 ⑤	188 ③	189 ③	190 ①	191 ②	192 ①	193 ⑤	194 ④	195 ③
196 ②	197 ③	198 ①	199 ④	200 ①				

기술 201~241

201 ④	202 ⑤	203 ⑤	204 ②	205 ③	206 ①	207 ⑤	208 ⑤	209 ②
210 ②	211 ③	212 ⑤	213 ①	214 ②	215 ⑤	216 ①	217 ①	218 ④
219 ④	220 ①	221 ③	222 ④	223 ③	224 ②	225 ⑤	226 ③	227 ③
228 ④	229 ⑤	230 ②	231 ①	232 ⑤	233 ④	234 ④	235 ③	236 ④
237 ⑤	238 ④	239 ④	240 ②	241 ①				

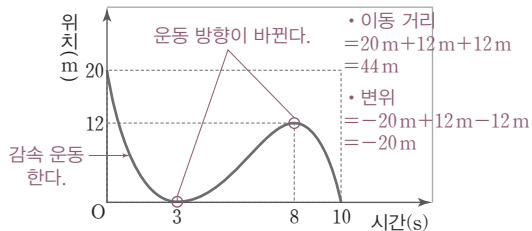


- 001 답 ② | ② 물체는 구간별로 0초~3초: 20 m, 3초~8초: 12 m, 8초~10초: 12 m를 이동하였으므로 이동 거리는 44 m이다.

오답 피하기

- ① 위치-시간 그래프에서 기울기는 운동 방향이 바뀌지 않는다면 속력을 의미한다. 그러므로 0초부터 3초까지 기울기가 점점 작아지므로 속력은 점점 작아진다.
- ③ 변위는 처음 거리에서 나중 거리를 잇는 직선 거리이므로 -20 m이다.
- ④ 물체의 운동 방향은 3초에 한 번, 8초에 한 번 총 두 번 바뀐다.
- ⑤ 3초일 때 운동 방향이 바뀌므로 2초일 때와 6초일 때의 운동 방향은 다르다.

문제 속 자료 위치-시간 그래프 해석



물체가 일직선상으로 운동 방향의 변화 없이 운동하는 경우를 제외하고는 이동 거리와 변위는 다른 값을 갖는다. 즉, 0~3초까지 물체는 운동 방향의 변화가 없으므로 이동 거리와 변위가 같지만 3초부터는 이동 거리와 변위는 다르다. (처음 방향을 '-'라 하고, 반대 방향을 '+'라 한다.)

- 002 답 ① | ㄱ. 물체의 운동 방향이 0~4초까지 바뀌지 않으므로 이동 거리와 변위의 크기는 같다.

오답 피하기

- ㄴ. 운동 방향은 4초에서 한 번 바뀐다. 때문에 0~6초까지 물체의 이동 거리와 변위는 다른 값을 가지므로 평균 속력과 평균 속도의 크기는 다르다.
- ㄷ. 운동 방향은 4초에서 한 번 바뀌므로 3초일 때와 5초일 때 물체의 운동 방향은 다르다.

- 003 답 ④ | ㄱ. 강아지가 영희의 뒤에서 출발하였지만 영희와 같은 위치에 도착하였으므로 평균 속력은 강아지가 더 크다.

- ㄴ. 0초부터 12초까지 운동 방향의 변화 없이 직선으로 운동하므로 이동 거리와 변위는 같다.

오답 피하기

- ㄷ. 위치-시간 그래프는 강아지의 운동을 나타낸 것이 아닌 영희가 관찰한 강아지의 운동을 나타낸 것이다. 따라서 그래프에서 강아지의 속도가 (-)가 되는 구간인 10초부터 12초까지의 속력이 가장 느리다.

- 004 답 ② | ㄴ. 위치-시간 그래프에서 기울기의 부호는 운동 방향을 나타낸다. 즉, A와 B는 같은 방향으로 운동을 시작하지만 B는 1초와 2초 사이에 운동 방향을 반대로 바꾼다. 따라서 2초에서는 A의 운동 방향과 B의 운동 방향은 반대이다.

오답 피하기

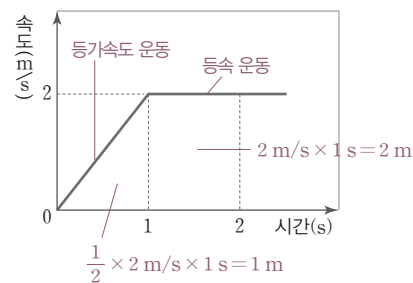
- ㄱ. 위치-시간 그래프에서 기울기는 속력이므로 0초부터 3초까지 A의 속력은 일정하다.
- ㄷ. 0초부터 3초까지 A의 속도는 일정하지만 B의 속도는 계속 변한다. 때문에 A에 대한 B의 속도는 일정하지 않다.

- 005 답 ⑤ | ㄱ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도이므로 0초부터 1초까지 가속도의 크기는 2 m/s^2 이다.

- ㄴ. 1초부터 2초까지 물체의 속도는 2 m/s 로 일정하므로 등속도 운동을 한다.

- ㄷ. 속도-시간 그래프의 면적은 이동 거리를 의미하므로 0초부터 2초까지 이동 거리는 3 m이다.

문제 속 자료 속도-시간 그래프 해석



속도-시간 그래프에서 기울기로 물체의 가속도를 구할 수 있지만 등가속도 직선 운동 방정식으로도 가속도를 구할 수 있다.

• 식 $v = v_0 + at \rightarrow a = \frac{v - v_0}{t}$ 을 이용한다.

$$0 \sim 1\text{초}: \frac{2\text{ m/s} - 0\text{ m/s}}{1\text{ s}} = 2\text{ m/s}^2 \Rightarrow \text{등가속도 운동}$$

$$1 \sim 2\text{초}: \frac{2\text{ m/s} - 2\text{ m/s}}{1\text{ s}} = 0\text{ m/s}^2 \Rightarrow \text{등속도 운동}$$

또한 속도-시간 그래프에서 면적으로 물체가 이동한 거리를 구할 수 있지만 등가속도 직선 운동 방정식으로도 이동 거리를 구할 수 있다.

• 식 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 을 이용한다.

$$0 \sim 1\text{초}: s = 0\text{ m/s} \times 1\text{ s} + \frac{1}{2} \times 2\text{ m/s}^2 \times (1\text{ s})^2 = 1\text{ m}$$

$$1 \sim 2\text{초}: s = 2\text{ m/s} \times 1\text{ s} + \frac{1}{2} \times 0\text{ m/s}^2 \times (1\text{ s})^2 = 2\text{ m}$$

- 006 답 ① | 등가속도 직선 운동 방정식 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 이고, A

와 B의 처음 속도가 0 m/s 으로 같으므로 $s_A - s_B = \frac{1}{2} a_A$

$(10\text{ s})^2 - \frac{1}{2} a_B (10\text{ s})^2 = 100\text{ m}$ 이다. 그러므로 $a_A - a_B = 2\text{ m/s}^2$ 이다.

007 답 ② | 0초일 때, A에 대한 B의 속도가 -2 m/s 이고, $v_A = 10 \text{ m/s}$ 이므로 $v_B - v_A = -2 \text{ m/s}$ 에 의해 0초 일 때 B의 속도는 $v_B = 8 \text{ m/s}$ 이다. 또한 그래프의 기울기는 가속도를 의미하므로 B는 1 m/s^2 의 크기로 등가속도 운동을 한다. 출발할 때 두 선수의 거리 차는 d 이고 6초 일 때 $2d$ 가 되므로 6초 동안 두 선수의 운동으로 벌어진 거리는 d 이다.

$$d = s_B - s_A$$

$$\begin{aligned} &= (v_{B0}t + \frac{1}{2}a_B t^2) - v_A t \\ &= (8 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} + \frac{1}{2} \times 1 \text{ m/s}^2 \times (6 \text{ s})^2) - 10 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} \\ &= 6 \text{ m이다. } (a_B: \text{B의 가속도, } v_A: \text{A의 속도, } v_{B0}: \text{0초일 때 B의 처음 속도}) \end{aligned}$$

또다른 풀이

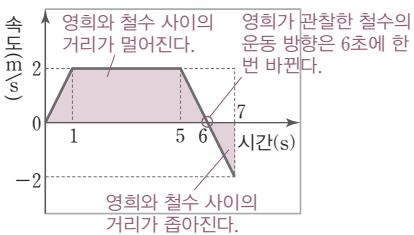
그래프 아래 면적은 A와 B 사이의 거리를 의미한다. 여기서 A와 B의 속도가 같아지는 순간은 2초일 때로 0~2초까지 A와 B 사이의 거리는 2m만큼 가까워지고, 2~6초까지는 8m만큼 멀어진다. 따라서 0~6초까지 A와 B 사이 거리의 변화 $d = 6 \text{ m}$ 이다.

008 답 ① | ㄱ. 3초일 때 2 m/s 의 속력으로 움직이는 영희가 관찰한 철수의 속력은 2 m/s 이므로 지면에 대한 철수의 속력은 4 m/s 이다.

오답 피하기

ㄴ. 속도-시간 그래프에서 면적은 영희와 철수 사이의 거리를 의미하므로 6초일 때 철수와 영희 사이의 거리가 가장 멀다.
ㄷ. 속도-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 의미하므로 6초일 때 철수의 가속도의 크기는 2 m/s^2 이다.

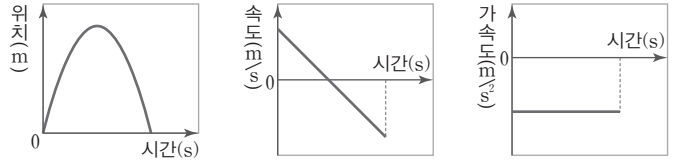
문제 속 자료 속도-시간 그래프 해석



영희가 관찰한 철수의 속도는 6초일 때부터 $(-)$ 값을 갖는데 이때부터 영희의 속도가 철수의 속도보다 더 빠르므로(지면을 기준으로 관찰했을 때 속도) 둘 사이의 거리는 줄어든다. 지면에서 관찰한 철수의 운동은 방향 변화 없이 운동한다.

009 답 ① | 그래프에 따르면 물체는 시간에 따라 일정하게 이동하고 있으므로 속력이 일정한 등속도 운동을 하고 있다. 빗면을 따라 운동하는 'ㄴ'과 'ㄷ'의 경우 중력 가속도의 영향으로 등가속도 운동을 하기 때문에 등속도 운동을 할 수 있는 경우는 'ㄱ'뿐이다.

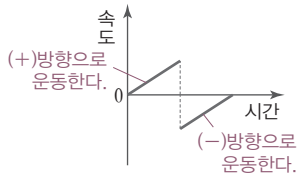
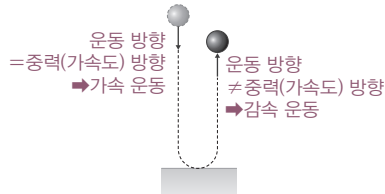
010 답 ③ | 표의 물체의 운동을 위치-시간, 속도-시간, 가속도-시간 그래프로 나타내면 다음과 같다.



011 답 ① | 등가속도 직선 운동을 하는 자동차의 속력과 위치의 관계는 등가속도 직선 운동 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 으로 알 수 있다. 이 식을 $v = f(s)$ 식으로 전환하면 $v = \sqrt{2as + v_0^2}$ 이므로 가속도와 초기 속도를 상수로 보았을 때 속력-위치 그래프는 제공된 그래프를 그린다.

012 답 ② | 자유 낙하하는 공의 움직임은 지면과 충돌 전까지는 운동 방향과 중력의 방향이 같기 때문에 등가속도 운동을 하며 $(+)$ 값을 갖고 속도가 점점 증가한다. 하지만 지면과 충돌 후 공의 운동 방향과 중력의 방향이 반대가 되기 때문에 감속 운동을 하며 속도는 $(-)$ 값을 갖게 된다.

문제 속 자료 자유 낙하하는 물체의 속도-시간 그래프



속도는 방향을 포함하는 벡터 값이므로 지면에 충돌한 후 방향이 바뀌는 공의 운동은 $(+)$, $(-)$ 부호를 통해 나타낸다.

013 답 ③ | 정지해 있던 자동차가 등가속도 직선 운동으로 5초 후의 속력은 20 m/s 이므로 가속도 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 에 의해

$$\frac{20 \text{ m/s} - 0}{5 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

1초 후 속력은 $v = v_0 + at$ 에 의해 4 m/s 이므로 등가속도 직선 운동식 $2as = v^2 - v_0^2 \Rightarrow s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$ 을 이용하여 자동차가 1초부터 5초까지 이동한 거리 L 은

$$L = \frac{(20 \text{ m/s})^2 - (4 \text{ m/s})^2}{2 \times 4 \text{ m/s}^2} = 48 \text{ m이다.}$$

014 답 ③ | 두 자동차 A와 B는 등가속도 직선 운동을 하므로

$$2as = v^2 - v_0^2 \Rightarrow a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} \text{에 의해 자동차 A는}$$

$$a_A = \frac{(5 \text{ m/s})^2 - (15 \text{ m/s})^2}{2 \times 100 \text{ m}} = -1 \text{ m/s}^2 \text{이고,}$$

$$a_B = \frac{(5 \text{ m/s})^2 - (25 \text{ m/s})^2}{2 \times 150 \text{ m}} = -2 \text{ m/s}^2 \text{이므로 가속도}$$

크기는 B가 A의 2배이다.

015 답 ② | 자동차 B가 기준선 Q를 통과할 때 갖는 속력을 v' 라

$$\text{고 할 때 } v = v_0 + at, a = \frac{v - v_0}{t} \text{이므로 } a_A = \frac{5v - v}{t} =$$

$$\frac{4v}{t} \text{이고 } a_B = \frac{v' - 5}{t} \text{이다. 자동차 A의 가속도가 자동차}$$

B의 가속도에 2배이므로 관계식을 $a_A = 2a_B$ 관계식을 정리하면 식 ① $2v = v' - 5$ 를 얻을 수 있다.

두 자동차 A와 B가 기준선 P와 Q를 동시에 통과하므로 평균 속력이 같으므로 평균 속력 $= \frac{5v + v}{2} = \frac{v' + 5}{2}$ 이고, 식

② $6v = v' + 5$ 를 얻을 수 있다. 식 ①과 ②를 정리하면 $v' = 10 \text{ m/s}$ 이다.

016 답 ③ | ㄱ. 정지해 있던 자동차 A는 2 m/s^2 의 가속도로 등

가속도 운동을 하므로 2초 동안 이동한 거리는 $s = v_0 t + \frac{1}{2}$

at^2 에 의해 $s = \frac{1}{2} \times 2 \text{ m/s}^2 \times (2\text{s})^2 = 4 \text{ m}$ 이다. 따라서 평

균 속력 $= \frac{4 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

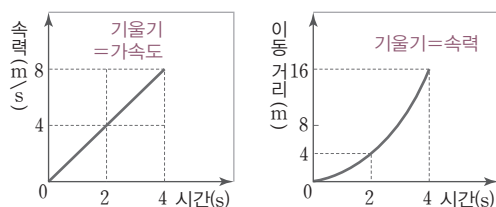
ㄴ. $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 자동차 A가 도착선을 통과할 때 속력은 $2 \times 2 \text{ m/s}^2 \times 16 \text{ m} = v^2 - 0^2 \Rightarrow v = 8 \text{ m/s}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 속력-시간 그래프에서 면적은 이동 거리를 의미하므로

$s = \frac{1}{2} \times 2 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 4 \text{ m}$ 이다.

문제 속 자료 등가속도 운동을 하는 물체의 그래프



2 m/s^2 의 크기로 등가속도 운동을 하고 있는 자동차 A의 운동을 속력-시간 그래프와 이동 거리-시간 그래프로 나타내면 다음과 같다. 속력-시간 그래프에서 기울기는 가속도와 같고 이동 거리-시간 그래프에서 기울기는 속력과 같다.

017 답 ⑤ | ㄱ. 자동차 A가 기준선 P를 통과한 순간부터 기준선

R을 통과하는데 걸리는 시간은 자동차 B가 기준선 P를 출발하여 기준선 Q를 통과하는데 걸리는 시간과 같다. 자동차

B가 기준선 Q를 통과하는데 걸리는 시간을 구하면, 자동차

B는 등가속도 직선 운동을 하므로 식 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 와

$v = v_0 + at (\Rightarrow at = v - v_0 \text{ 변형 후 대입})$ 에 의해

$t = \frac{2s}{v + v_0} = \frac{2L}{3v_0}$ 이다. 그러므로 A가 기준선 Q를 통과

하는데 걸리는 시간은 $\frac{2L}{3v_0}$ 이다.

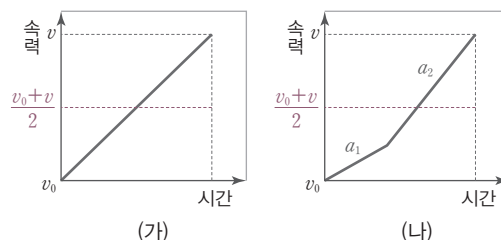
ㄴ. 자동차 A가 기준선 R을 통과할 때까지 평균 속력은

평균 속력 $= \frac{\text{이동 거리}}{\text{시간}} = 2L \times \frac{3v_0}{2L} = \frac{v + v_0}{2}$ 이므로 R

을 통과할 때 자동차 A의 속력은 $5v_0$ 이다.

ㄷ. 가속도는 속도의 변화량을 시간으로 나눈 값이다. 두 자동차의 운동 시간은 같으므로 속도의 변화량을 비교해보면 자동차 A는 $5v_0 - v_0 = 4v_0$ 이고 자동차 B는 $3v_0$ 이므로 자동차 A의 가속도가 B보다 크다.

문제 속 자료 등가속도 운동하는 물체의 평균 속력



그래프 (가)와 같이 가속도의 크기가 변하지 않는 등가속도 운동을 하는 물체는 평균 속력 $= \frac{v + v_0}{2} = \frac{\text{이동 거리}}{\text{시간}}$ 와 같다. 하지만 그래프 (나)

와 같이 가속도의 크기가 변하는 경우 '평균 속력 $\neq \frac{v + v_0}{2}$ '이므로 주의 하자.

018 답 ② | 자동차 B는 등속도 운동을 하므로 6초 동안 이동한

거리는 $10 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} = 60 \text{ m}$ 이다. 그러므로 자동차 A가 6초 동안 이동한 거리 s 는 $s = L + 60 \text{ m}$ 이다.

자동차 A는 4초일 때 가속도의 방향이 바뀌므로 가속도가 변하기 전후 A가 이동한 거리는 다음과 같다.

• 0초~4초: $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 의해

$$s_1 = 10 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} + \frac{1}{2} \times 5 \text{ m/s}^2 \times (4 \text{ s})^2 = 80 \text{ m} \text{이다.}$$

• 4초~6초: 4초일 때 속력은 $v = v_0 + at$ 에 의해 $v_{4초} = 10 \text{ m/s} + 5 \text{ m/s}^2 \times 4 \text{ s} = 30 \text{ m/s}$ 이므로 $s_2 = 30 \text{ m/}$

$$s \times 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \times (-5 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s})^2 = 50 \text{ m} \text{이다.}$$

따라서 자동차 A가 6초 동안 이동한 거리 s 는 $s = L + 60 \text{ m} = s_1 + s_2 = 130 \text{ m}$ 이므로 L 은 70 m이다.

019 답 ③ | 다. 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 도착선에 도달하는 순간의 속력은 20 m/s이다.

오답 피하기

ㄱ. P점에서 Q점까지 눈썰매의 평균 속력이 10 m/s이므로 $\frac{v_P + v_Q}{2} = 10 \text{ m/s}$ 이고, Q점에서 R점까지 눈썰매의 평균

속력은 15 m/s이므로 $\frac{v_Q + v_R}{2} = 15 \text{ m/s}$ 이다. 두 식을 빼면 $v_R - v_P = 10 \text{ m/s}$ 이다. 또 각각의 구간을 지나는 데 3초

와 2초가 걸리므로 가속도를 구하면 가속도 $= \frac{\Delta v}{t} =$

$\frac{v_R - v_P}{t} = \frac{10 \text{ m/s}}{5 \text{ s}}$, 즉 썰매의 가속도는 2 m/s²이다.

ㄴ. 썰매가 P점에 도달했을 때 속도는 $v = v_0 + at$ 에 의해 2 m/s² × t_P 이고 Q점에서 속도는 2 m/s² × ($t_P + 3 \text{ s}$)이므로 P점에서 Q점까지 눈썰매의 평균 속도 관계를 통해

$t_P = \frac{7}{2} \text{ s}$ 이다. 등가속도 직선 운동식 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 의해 출발선에서 P까지 거리 x 는

$x = 0 \times \frac{7}{2} \text{ s} + \frac{1}{2} \times 2 \text{ m/s}^2 \times (\frac{7}{2} \text{ s})^2 = \frac{49}{4} \text{ m}$ 이다.

020 답 ② | 다. 두 자동차가 기준선을 통과한 순간부터 속력이 v 로 같아질 때까지 걸린 시간은 $v = v_0 + at$ 에 의해 20 m/s = 10 m/s + (2.5 m/s²) $t \Rightarrow t = 4$ 초임을 알 수 있다.

오답 피하기

ㄱ. v 는 아래 ㄴ에서 20 m/s로 구하였으며, 자동차 A가 10 m/s의 속력으로 기준선을 통과하여 속력이 v 가 될 때까지 이동한 거리는 $2a_A s_A = v^2 - v_0^2$ 에 의해

$s_A = \frac{(20 \text{ m/s})^2 - (10 \text{ m/s})^2}{2a}$ 이고, 자동차 B가 기준선을

출발하여 속력이 v 가 될 때까지 이동한 거리는

$s_B = \frac{(20 \text{ m/s})^2}{4a}$ 이다. 두 자동차의 속력이 v 로 같은 순간

A는 B보다 20 m 앞서 있기 때문에 $s_A - s_B = \frac{300}{2a} - \frac{400}{4a}$

$= \frac{50}{a} = 20$ 이므로 $a = 2.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 자동차 A와 자동차 B의 속력이 v 로 같은 순간을 t 라고 했을 때 $v = v_0 + at$ 에 의해 A의 t 초 후 속력은 $v = 10 \text{ m/s} + at$ 이고, B의 t 초 후 속력은 $v = 2at$ 이므로 $v = 20 \text{ m/s}$ 이다.

021 답 ⑤ | ㄱ. 직선 운동하는 자동차는 6초까지 두 번 가속도가 바뀐다. 각 구간에서 속도 변화는 $v = v_0 + at$ 에 의해

• 0~2초: $-a \Rightarrow v_0 = 4 \text{ m/s}, v = 4 - 2a$

• 2~4초: 등속 운동을 하므로 속도의 변화는 없다.

• 4~6초: $2a \Rightarrow v_0 = 4 - 2a,$

$v = (4 - 2a) + 4a = 4 + 2a = 6 \text{ m/s}$

이므로 a 는 1 m/s²이다.

즉, 1초일 때 가속도의 크기는 1 m/s²이다.

ㄴ. 3초일 때는 등속도 구간이므로 2초일 때 속도와 같으므로 2 m/s이다.

ㄷ. $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 의해 각 구간에서 이동한 거리는

• 0~2초: $s = 4 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot (-1) \cdot 2^2 = 6 \text{ m}$

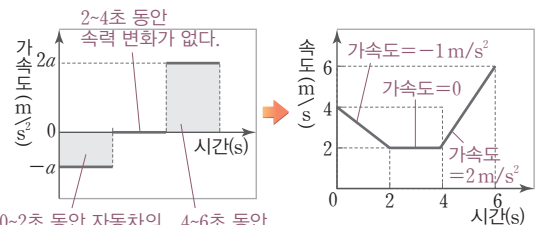
• 2~4초: $s = 2 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 0 \cdot 2^2 = 4 \text{ m}$

• 4~6초: $s = 2 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot (2) \cdot 2^2 = 8 \text{ m}$

총 18 m를 이동하므로 6초 동안 평균 속력은 3 m/s이다.

문제 속 자료

물체의 가속도-시간 그래프 해석



0~2초 동안 자동차의 속도 변화. 4~6초 동안 자동차의 속도 변화.

0~2초 동안 자동차는 운동 방향의 반대 방향으로 등가속도 운동을 하므로 속력이 점점 작아지고, 2~4초 동안은 가속도 크기가 0으로 등속도 운동을 하며, 4~6초까지는 운동 방향으로 등가속도 운동을 하므로 속력이 점점 커져 점 Q를 6 m/s로 통과한다.

022 답 ⑤ | ㄴ. 0~10초 동안 영희는 $s = v \times t = 2 \cdot 10 = 20 \text{ m}$ 이동하고 철수는 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = 0 \cdot 10 + \frac{1}{2} (0.2) \cdot (10)^2 = 10 \text{ m}$ 이동하므로 영희가 철수의 2배 이동한다.

ㄷ. $v = v_0 + at$ 에 $v = 0 + (0.2) \cdot (10) = 2 \text{ m/s}$ 의해 10초일 때 철수의 속도는 2 m/s이다.

오답 피하기

ㄱ. 영희는 2 m/s로 등속도 운동을 하여 40 m를 이동하였으므로 $s = vt$ 에 의해 걸린 시간은 20초이다. 이때 철수와 영희가 이동한 거리와 시간이 같고 철수는 등가속도 운동을

하므로 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 에 의해 $40 \text{ m} = 0 \cdot 20 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot (20)^2$ 이므로 a 는 0.2 m/s²이다.

023 답 ③ | ㄱ. 일정한 가속도로 등가속도 운동을 하는 물체의
 평균 속도 = $\frac{\text{이동 거리}}{\text{시간}}$ 이므로 $25 \text{ m/s} = \frac{\text{이동 거리}}{10 \text{ s}}$ 즉, 자
 동차가 10초 동안 이동한 거리는 250 m이다.

ㄴ. 평균 속도 = $\frac{v + v_0}{2}$ 이므로 $25 \text{ m/s} = \frac{30 \text{ m/s} + v}{2}$
 즉, B를 통과할 때 자동차의 속력은 20 m/s이다.

오답 피하기

ㄷ. 자동차는 감속 운동을 하므로 가속도의 방향은 운동 방
 향과 반대이다.

024 답 ③ | 4초 동안 두 자동차가 이동한 거리가 같으므로 식
 $v = v_0 + at$ 와 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 을 이용하여 각 구간에서 두
 자동차가 이동한 거리를 구하면 다음과 같다.

[자동차 A]

• 0~2초: $v_{2초} = v_0 + 1 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ s} = v_0 + 2 \text{ m/s}$

$$s = v_0 \cdot 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 1 \text{ m/s}^2 \cdot (2 \text{ s})^2 = 2v_0 + 2 \text{ m}$$

• 2~4초: $s = v_{2초} \cdot 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ m/s}^2 \cdot (2 \text{ s})^2 = 2v_0 + 8 \text{ m}$

따라서 자동차 A는 총 $4v_0 + 10 \text{ m}$ 를 이동한다.

[자동차 B]

0~2초: $v_{2초} = 0 + 3 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ s} = 6 \text{ m/s}$

$$s = 0 \cdot 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 3 \text{ m/s}^2 \cdot (2 \text{ s})^2 = 6 \text{ m}$$

2~4초: $s = 6 \text{ m/s} \cdot 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 2 \text{ m/s}^2 \cdot (2 \text{ s})^2 = 16 \text{ m}$

따라서 자동차 B는 총 22 m를 이동한다.

두 자동차의 이동 거리가 같으므로 v_0 는 3 m/s이다.

025 답 ⑤ | ⑤ 3초부터 4초까지 일정한 힘이 주어지므로 가속도
 의 크기는 일정하다.

오답 피하기

① 0~2초 동안 1 N의 일정한 힘을 작용한 물체는 등가속도
 운동을 하므로 점점 일정한 간격으로 속력이 빨라지는 운동
 을 한다.

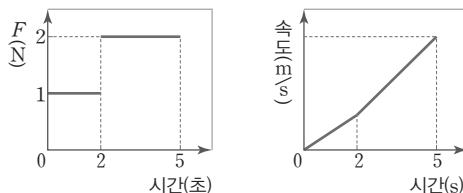
② 2초일 때 가속도의 크기는 바뀌지만 힘의 방향은 바뀌지
 않으므로 물체는 1~3초 동안 물체는 속력이 점점 빨라지는
 등가속도 운동을 한다. 따라서 3초일 때가, 1초일 때보다 속
 력이 빠르다.

③ 물체는 2초부터 다른 크기의 힘을 받지만 힘의 방향은 변
 하지 않으므로 운동 방향도 변하지 않는다.

④ 가속도 법칙에 의해 가속도는 물체에 주어지는 힘의 크기
 에 비례하므로 가속도는 3초일 때가 1초일 때보다 2배 크다.

문제 속 자료 힘-시간 그래프 변화

힘-시간 그래프를 속도-시간 그래프로 바꿀 수 있다.



물체의 질량은 알 수 없으므로 힘을 받은 후 속도의 변화량은 알 수 없지
 만 속도-시간 그래프에서 0초부터 2초까지 기울기는 2초부터 5초까지 기
 울기의 $\frac{1}{2}$ 크기를 가지므로 2~5초까지 속도 변화율은 0~2초까지 속도
 변화율의 2배이다.

026 답 ⑤ | 실이 끊어지기 전 두 물체는 실로 연결되어 하나의
 운동을 하므로 도르래를 기준으로 오른쪽을 (+), 왼쪽을
 (-)라고 했을 때 두 물체에 작용하는 알짜힘은

$F = 20 \text{ N} - F_A = (m + 2 \text{ kg}) \cdot 1 \text{ m/s}^2$ 이고 실이 끊어진
 후 물체 A가 받는 힘은 $-F_A = m \times -5 \text{ m/s}^2$ 이므로 두
 식을 연립하면 m 은 3 kg이다.

027 답 ③ | ㄱ. 두 물체는 실로 연결되어 하나의 운동을 하므로
 도르래를 기준으로 오른쪽을 (-), 왼쪽을 (+)라고 했을 때
 1~3초 동안 두 물체에 작용한 알짜힘은

$$\text{알짜힘} = m_A g - m_B g = (m_A + m_B) \cdot a$$

⇒ $10 m_A - 30 \text{ N} = (m_A + 3 \text{ kg}) \cdot (-5 \text{ m/s}^2)$ 이므로 m_A
 는 1 kg이다.

ㄷ. F 의 힘을 A에 작용할 때 두 물체에 작용하는 알짜힘은
 구하면 알짜힘 = $(m_A + m_B) \cdot a = (m_A \cdot g + F) - m_B \cdot g$

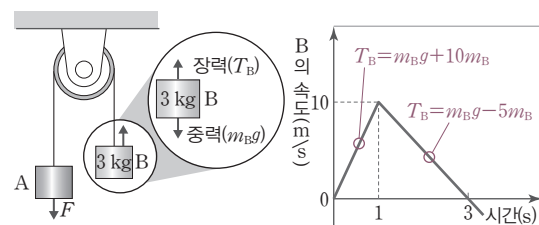
⇒ $(1 \text{ kg} + 3 \text{ kg}) \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 10 m_A + F - 30 \text{ N}$ 이므로
 $F = 60 \text{ N}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 2초일 때 실이 B를 당기는 힘을 T_B 라고 할 때 B에 작용
 하는 알짜힘은

알짜힘 = $T_B - m_B g = m_B a \Rightarrow T_B - 30 \text{ N} = 3 \text{ kg} \cdot$
 $(-5 \text{ m/s}^2) \Rightarrow T_B = 15 \text{ N}$ 이다.

문제 속 자료 B를 당기는 실의 장력



물체 B에는 위쪽 방향으로 당기는 장력과 아래 방향으로 작용하는 중력
 이 있다. 1초일 때 장력의 크기는 $m_B g + 10 m_B$ 이고, 1초 이후 장력의
 크기는 $m_B g - 5 m_B$ 이다. 그러므로 물체 B에 작용하는 알짜힘의 크기
 는 장력의 크기에 따라 달라지고 가속도 역시 알짜힘에 비례하여 달라진다.

028 답 ③ | ㄱ. 두 물체는 실로 연결되어 하나의 운동을 하므로 B와 A의 가속도의 크기는 같다. 속력-시간 그래프에서 기울기는 가속도를 의미하므로 A의 가속도의 크기는 3 m/s^2 이다.

ㄴ. $F = (1 \text{ kg} + 2 \text{ kg}) \times 3 \text{ m/s}^2 = 9 \text{ N}$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 실이 B에 작용하는 힘을 T_B 라고 했을 때 물체 B에 작용하는 알짜힘은 $F - T_B = m_B a = 6 \text{ N}$ 이므로 T_B 는 3 N 이다.

029 답 ④ | ㄴ. q가 A를 당기는 힘은 A가 q를 당기는 힘과 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기는 같고 방향은 반대이다.

ㄷ. 물체 B가 1 m/s^2 의 크기로 등가속도 운동하는 것으로 보아 물체 B에 작용하는 합력의 크기는 1 N 이다.

오답 피하기

ㄱ. p가 A를 당기는 힘을 T_p 라 하고, q가 A를 당기는 힘을 T_q 라 할 때 물체 A에 작용하는 힘의 합력은 $T_p - m_A g - T_q = m_A \times (1 \text{ m/s}^2) \Rightarrow T_p = T_q + 11 m_A$ 이므로 T_p 가 T_q 보다 크다.

030 답 ① | 세 물체의 운동 방정식은 ' $m_C g - m_B g = (m_A + m_B + m_C)a$ '이므로 세 물체는 $\frac{2}{5}g$ 의 크기로 등가속도 운동을 한다. 따라서 물체 B에 작용하는 알짜힘의 크기는

$$F_B = m_B \times a_B = m \times \frac{2}{5}g = \frac{2}{5}mg \text{이다.}$$

031 답 ⑤ | ㄴ. 그림 (나)에서 두 물체에 작용하는 합력은 ' $m_B g - m_A g$ 는 지면이 B를 떠받치는 힘'이다. 여기서 $3m = 3m_A = m_B$ 이므로 B가 지면을 누르는 힘의 크기는 $2mg$ 이다.

ㄷ. (가)에서 실이 물체 A를 당기는 힘을 $T_{(가)}$ 라고 할 때, 물체 A에 작용하는 힘의 관계식은 $T_{(가)} - m_A g = m_A \times \frac{g}{2}$ 이

므로 $T_{(가)} = \frac{3}{2}mg$ 이고, (나)에서 실이 물체 A를 당기는 힘을 $T_{(나)}$ 라고 할 때, 물체 B에 작용하는 힘의 관계식은 $T_{(나)} - m_A g = 0$ 이므로 $T_{(나)} = mg$ 이다.

오답 피하기

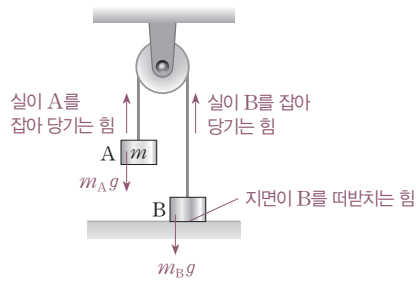
ㄱ. (가)에서 두 물체의 운동 방정식은

$$m_B g - m_A g = (m_A + m_B) \times \frac{g}{2} \text{이므로 } m_B = 3m_A = 3m$$

이다. (여기서, 도르래를 기준으로 오른쪽은 (+)이고, 왼쪽은 (-)이다.)

문제 속 자료

도르래에서 두 물체에 작용하는 힘



(가)에서 도르래에 실로 연결되어 있는 두 물체는 등가속도 운동을 하므로 작용하는 알짜힘의 크기는 0이 아니고 같은 가속도의 크기로 운동한다.

(나)에서 도르래에 실로 연결되어 있는 두 물체가 정지해 있으므로 물체 A와 물체 B에 작용하는 힘은 평형 상태이다.

• 물체 A: 실이 A를 잡아당기는 힘(장력) = $m_A g$

• 물체 B: 실이 B를 잡아당기는 힘(장력) + 지면이 B를 떠받치는 힘 = $m_B g$

032 답 ③ | ㄱ. 실의 한쪽 끝을 F 의 힘으로 잡아당길 때 두 물체는 정지해 있으므로 두 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서, $m_A g + m_B g = F$ 이다. 여기서 $2F$ 의 힘으로 잡아당기는 경우 두 물체에 작용하는 힘의 합력은

$2F - (m_A + m_B)g = (m_A + m_B)a$ 이므로 두 물체의 가속도는 g 이다. (여기서 도르래를 기준으로 오른쪽은 (+)이고, 왼쪽은 (-)이다.)

ㄷ. T_a 를 a가 A를 당기는 힘이라고 할 때, A에 작용하는 힘의 합력은 $T_a - m_A g = m_A a$ 이므로 T_a 는 $2m_A g$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. T_b 를 b가 B를 당기는 힘이라고 할 때, B에 작용하는 힘의 합력은 $T_b - T_a - m_B g = m_B a$ 이므로 $T_b > T_a$ 이다.

033 답 ③ | 도르래를 기준으로 오른쪽은 (+), 왼쪽을 (-)라고 할 때 (가)에서 두 물체의 운동 방정식은 $m_B g = (m_A + m_B)a$ 이므로 $a = \frac{1}{2}g$ 이고, (나)에서 두 물체의 운동 방정식은 $m_C g - m_A g = (m_A + m_C)a$ 이므로 (가)와 (나)에서 가속도의 크기가 같을 때 $m_C = 3m$ 이다.

034 답 ③ | (가)에서 두 물체가 등속도 운동을 하는 것으로 보아 두 물체의 질량은 같고, (나)에서 두 물체의 운동 방정식은 $m_B g = (m_A + m_B)a$ 으로 $g = 2a$ 이다.

여기서, 용수철저울이 나타내는 힘은 실이 물체를 잡아당기는 힘이므로 물체 B에 작용하는 힘의 합력은

$m_B g - F_{(가)} = 0$ 이고 (나)에서 물체 B에 작용하는 힘의 합력은 $m_B g - F_{(나)} = m_B \times \frac{1}{2}g$ 이다. 그러므로

$$F_{(가)} : F_{(나)} = 2 : 1 \text{이다.}$$

문제 속 자료 **두 물체를 잡아당기는 힘의 크기**

(가) (나)

용수철에 나타나는 힘의 크기는 실이 물체 B를 잡아당기는 힘(장력)과 같다. 또한 두 물체에 작용하는 장력은 A가 B를 당기는 힘이 되거나 B가 A를 당기는 힘이 될 수 있는 작용 반작용 관계로 A를 잡아당기는 힘과 B를 잡아당기는 힘의 크기는 같다.

(가) · 물체 A: 실이 A를 잡아당기는 힘(장력) - $m_A g = 0$
 · 물체 B: $m_B g$ - 실이 B를 잡아당기는 힘(장력) = 0
 ⇒ 물체 A와 물체 B의 질량은 같다. 등속 운동을 하므로 $(m_A + m_B) \times 0 = 0$

035 답 ② | (가)에서 두 물체의 운동 방정식은

$$m_A g = (m_A + m_B) a \Rightarrow 4g = (4+1)g \text{ 이므로 } a = \frac{4}{5}g \text{ 이고,}$$

$$(나) \text{에서 두 물체의 운동 방정식은 } m_B g + F = (m_A + m_B) \times \frac{4}{5}g \Rightarrow g + F = (4+1) \times \frac{4}{5}g \text{ 이므로 } F = 3g = 30 \text{ N}$$

이다.

036 답 ④ | ㄴ. (나)에서 운동 방정식은 $m_B g = (m_A + m_B) a$ 이고 물체 A와 물체 B의 질량은 m 으로 같다. 따라서 A의 가속도의 크기는 $\frac{1}{2}g$ 이다.

ㄷ. 용수철저울이 측정한 힘의 크기는 실이 물체 B를 잡아당기는 힘(T)과 같다. 물체 B에 작용하는 힘의 합력은 $m_B g - T = m_B \times \frac{1}{2}g$ 로 T 는 $\frac{1}{2}mg$ 이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 두 물체는 정지해 있으므로 평형 상태이다. 용수철이 A를 잡아당기는 힘은 mg 이고, 용수철이 B를 잡아당기는 힘은 mg 이므로 용수철저울로 측정한 힘의 크기는 mg 이다.

문제 속 자료 **작용·반작용**

그림 (가)처럼 용수철 저울 양쪽 끝에 질량이 m 인 물체를 매달면 A가 용수철저울에 작용한 힘이 작용하려면, B가 용수철저울에 작용한 힘이 반작용으로 저울에 측정되는 질량은 mg 이다.

037 답 ⑤ | ㄴ. 물체 A와 물체 B는 같은 운동을 하므로 가속도의 크기가 같고, 질량이 m 으로 같으므로 알짜힘의 크기가 같다.

ㄷ. 세 물체의 운동 방정식은 $m_C g - m_A g = (m_A + m_B + m_C) a$ 로 가속도의 크기는 $\frac{1}{4}g$ 이다.

오답 피하기

ㄱ. 실 p가 물체 B를 잡아당기는 힘을 T_p 라 하고 실 q가 물체 B를 잡아당기는 힘을 T_q 라 할 때, 물체 B에 작용하는 힘의 합력은 $T_q - T_p = ma$ 이므로 T_q 가 T_p 보다 더 크다.

038 답 ③ | (가)와 (나)에서 물체 A와 B의 운동 방정식은 다음과 같다.

· (가): $m_A g = (m_A + m_B) a_{(가)} \Rightarrow \frac{m_A}{m_A + m_B} g = a_{(가)}$

· (나): $m_B g = (m_A + m_B) a_{(나)} \Rightarrow \frac{m_B}{m_A + m_B} g = a_{(나)}$ 가

속도는 (가)에서가 (나)보다 2배 크므로 두 물체의 질량 관계는 $2m_B = m_A$ 이고 $a_{(가)} = \frac{2}{3}g$, $a_{(나)} = \frac{1}{3}g$ 이다.

(가)에서 물체 A에 작용하는 힘은 $m_A g - T_1 = m_A (\frac{2}{3}g)$ 이므로 실이 A를 당기는 힘의 크기는 $\frac{1}{3}m_A g$ 이고, (나)에서 물체 A에 작용하는 힘은 $T_2 = m_A (\frac{1}{3}g)$ 이므로 $T_1 : T_2 = 1 : 1$ 이다.

039 답 ② | ㄴ. (나)에서 C가 등속도 운동을 하므로 C에 작용하는 알짜힘은 0이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 $a_{(가)}$ 의 크기로 등가속도 운동을 하는 세 물체의 운동 방정식은 $m_A g = (m_A + m_B + m_C) a_{(가)}$ 이고, (나)에서 $a_{(나)}$ 의 크기로 등가속도 운동을 하는 세 물체의 운동 방정식은 $m_A g = (m_A + m_B) a_{(나)}$ 이므로 가속도의 크기가 $a_{(나)} = 2a_{(가)}$ 일 때, B의 질량은 m 이다.

ㄷ. p가 A를 당기는 힘을 T 라고 할 때 (가)에서 물체 A에 작용하는 힘의 합력은 $mg - T_{(가)} = m \times \frac{1}{2}a$ 이고, (나)에서 물체 A에 작용하는 힘의 합력은 $mg - T_{(나)} = ma$ 이므로 $T_{(가)}$ 에서 $T_{(나)}$ 보다 더 크다.

040 답 ② | ㄴ. F 의 힘으로 당길 때 두 물체가 정지해 있으므로 두 물체에 작용하는 알짜힘은 0이며 물체 A에 작용하는 중력과 F 는 평형 관계이다. $\Rightarrow F = m_A \times g = \frac{1}{2}mg$

오답 피하기

ㄱ. (나)에서 두 물체의 운동 방정식은

$$m_A g = (m_A + m) \frac{1}{3} g \text{으로 } m_A = \frac{1}{2} m \text{이다.}$$

ㄴ. 실이 A를 당기는 힘을 T 라고 할 때, (가)에서 A에 작용하는 힘의 합력은 $\frac{1}{2} mg = T_{(가)}$ 이고, (나)에서 A에 작용하는 힘의 합력은 $\frac{1}{2} mg - T_{(나)} = \frac{1}{2} m \times \frac{g}{3}$ 이므로 $T_{(가)}$ 가 $T_{(나)}$ 보다 크다.

041 답 ② | ㄴ. B가 멈춰있으므로 알짜힘은 0이다.

오답 피하기

ㄱ. B가 A를 떠받치는 힘의 작용 반작용은 A가 B를 누르는 힘이고, A에 작용하는 중력에 작용 반작용은 A가 지구를 당기는 힘이다.

ㄴ. 바닥이 C를 떠받치는 힘은 C가 바닥을 누르는 힘과 A가 C를 누르는 힘의 합력과 같다.

042 답 ① | ㄱ. 배팅 티 위에 올려 놓은 공은 정지하고 있으므로 공에 작용하는 알짜힘은 0이다.

오답 피하기

ㄴ. 배팅 티가 공을 떠받치는 힘과 공에 작용하는 중력은 평형 관계이다.

ㄴ. 수평면이 배팅티를 떠받치는 힘의 크기는 배팅티에 작용하는 중력과 공이 배팅티를 누르는 힘의 합력이다.

043 답 ④ | ㄱ. 질량이 있는 물체에는 중력이 작용하므로 B에는 중력이 작용한다.

ㄴ. A가 B에 작용하는 힘과 B가 A에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 같은 힘의 크기를 갖는다.

오답 피하기

ㄴ. 탁자가 A를 떠받치는 힘은 A와 B의 중력의 합이다.

044 답 ④ | ㄱ. 공은 정지해 있으므로 알짜힘은 0이다.

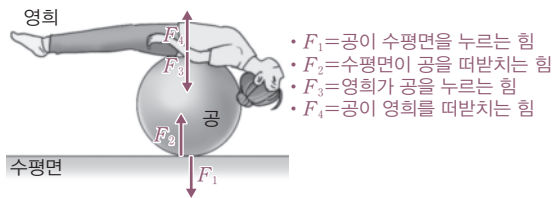
ㄴ. 수평면이 공에 작용하는 힘은 공이 수평면에 작용하는 힘과 영희가 공에 작용하는 힘의 합력이므로 영희가 공에 작용하는 힘의 크기가 수평면이 공에 작용하는 힘의 크기보다 작다.

오답 피하기

ㄴ. 공이 영희에게 작용하는 힘의 반작용은 영희가 공을 누르는 힘이고, 공이 수평면에 작용하는 힘의 반작용은 수평면이 공을 떠받치는 힘으로 이때 공이 수평면을 누르는 힘의 크기는 영희가 공을 누르는 힘과 공에 작용하는 중력의 합이다.

문제 속 자료

작용 반작용과 힘의 평형



F_1 은 F_2 와 작용 반작용 관계이고, F_3 은 F_4 와 작용 반작용 관계이다. 지구가 영희에 작용하는 중력과 F_4 는 영희에게 작용하는 힘으로 영희는 정지해 있으므로 두 힘은 평형 상태이다.

045 답 ③ | 철수: 퍼텐셜 에너지에서 운동 에너지로 바뀌는 과정에서 질량은 속력과 상관없다.

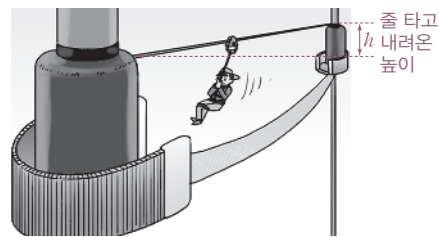
오답 피하기

영희: 사람이 쿠션에 충돌할 때 쿠션은 충격력을 줄여주지만 충격량은 동일하다.

민수: 쿠션에 충돌하는 순간 사람과 쿠션이 주고받는 힘은 작용 반작용의 관계이다.

문제 속 자료

역학적 에너지 보존



줄을 타고 높은 지점에서 낮은 지점까지 내려올 때 사람이 갖는 위치 에너지가 운동 에너지로 전환되면서 속력은 빨라진다. 이때 위치 에너지는 질량에 비례하고($E_p = mgh$) 운동 에너지도 질량에 $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ 비례하므로 위치 에너지가 운동 에너지로 전환될 때 질량은 속력에 변수로 작용하지 않는다.

046 답 ⑤ | 철수: 운동량은 속력과 비례하므로 빠르게 던질수록 공의 운동량의 크기는 커진다.

영희: 충격량이 같은 조건에서 충돌하는 데 걸리는 시간을 길게 하면 평균 힘이 작아지므로 손을 뒤로 빼면 공으로부터 받는 평균 힘의 크기는 작아진다.

민수: 공을 받을 때 공이 손에 작용하는 충격력과 손이 공에 작용하는 충격력은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같고 충돌 시간이 같으므로 충격량의 크기도 서로 같다.

047 답 ⑤ | ㄱ. (가)에서 야구공과 야구 선수가 충돌 후 속력이 0이 되었고, (나)에서는 야구공과 야구 방망이가 충돌 후 야구공은 처음 운동과 반대 방향으로 운동을 하기 때문에 (나)의 운동량 변화량이 더 크다.

ㄴ. 충격량은 운동량 변화량과 같으므로 (나)가 더 크다.

ㄷ. 공에 작용한 평균 힘의 크기는 $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌한 시간}}$ 이므로 (나)가 더 크다.

048 답 ⑤ | ㄱ, ㄴ. 철수와 영희가 서로에게 작용하는 힘은 작용과 반작용으로 같은 크기의 힘이 반대 방향으로 작용하므로 가속도의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 철수와 영희 사이에 작용하는 힘의 크기와 작용하는 시간이 같으므로 충격량의 크기도 같다.

049 답 ② | ㄴ. 힘-시간 그래프에서 면적은 충격량을 의미하고 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다.

$S = \Delta p_B = m_B v - m_B v_0 = mv$ 이므로 충돌 직후 B의 속력은 $\frac{S}{m}$ 이다.

오답 피하기

ㄱ. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량은 B가 A로부터 받은 충격량과 작용 반작용이므로 두 힘의 크기는 같다.

ㄷ. A가 B에 작용한 평균 힘의 크기는 B가 A에 작용한 평균 힘의 크기와 같으므로 $\frac{S}{T}$ 이다.

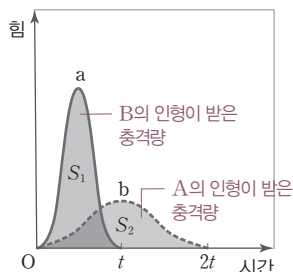
050 답 ④ | ㄴ. 힘-시간 그래프 아래의 넓이는 인형이 받은 충격량을 의미한다. 두 인형의 그래프의 넓이 $S_1 = S_2$ 이므로 두 인형이 받은 충격량의 크기는 같다.

ㄷ. 충격량과 운동량의 변화량은 같으므로 두 인형의 운동량의 변화량 크기도 같다.

오답 피하기

ㄱ. 자동차가 벽에 충돌하는 순간 에어백이 작동하면 인형이 충돌하여 멈추기까지 걸리는 시간을 늘려주므로 힘을 받는 시간이 길어진 b가 A의 인형이 받는 힘을 타나낸 그래프이다.

문제 속 자료 힘-시간 그래프 해석



그래프 아래의 넓이는 물체가 받은 충격량 또는 물체의 운동량의 변화량과 같다. A, B 자동차가 벽에 충돌하기 전 속력과 충돌 후 속력이 같으므로 운동량의 변화량이 같다. 따라서 두 자동차가 받는 충격량은 같다.

051 답 ⑤ | ㄴ. 수레가 벽으로부터 가장 큰 힘을 받는 시간은 t 이므로 용수철이 최대로 압축되는 시간은 t 이다.

ㄷ. 힘-시간 그래프의 아래 넓이는 충격량, 즉 운동량의 변화량을 의미하므로

$$S = \Delta p = mv - mv_0 = mv - m(-v) = 2mv \text{이다.}$$

오답 피하기

ㄱ. 수레가 용수철로부터 받은 충격량의 크기는 힘-시간 그래프의 아래 면적과 같다.

052 답 ① | ① 운동량-시간 그래프에서 기울기는 그 물체에 작용한 힘을 뜻하므로 0~2초까지 물체에 작용하는 합력의 크기는 2 N이다.

오답 피하기

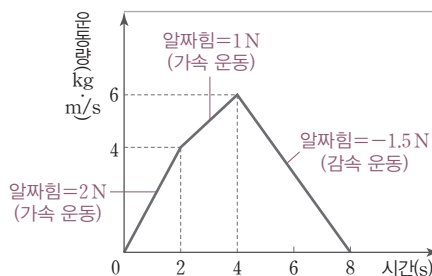
② 0~4초 동안 속도 변화량의 크기는 '운동량 변화량 ÷ 질량'으로 알 수 있으므로 6 m/s이다.

③ 충격량의 크기는 운동량의 변화량과 같다. 2~4초까지 물체가 받은 충격량은 2 kg·m/s이다.

④ 2초일 때 물체의 가속도는 (+)이므로 합력의 방향은 운동 방향과 같고, 6초일 때 물체의 가속도는 (-)이므로 운동 방향과 반대 방향이므로 2초인 순간과 6초인 순간의 합력의 방향은 다르다.

⑤ 4초부터 8초까지 물체는 등가속도(감속) 운동을 하였다.

문제 속 자료 운동량-시간 그래프 해석



운동량-시간 그래프에서 기울기 = $\frac{mv - mv_0}{\Delta t} = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma$ 로 물체에 작용하는 알짜힘을 의미한다. 물체에 작용하는 알짜힘의 방향이 운동 방향과 같은 경우 가속 운동을 하고, 알짜힘의 방향이 운동 방향과 반대인 경우 감속 운동을 한다.

053 답 ⑤ | ㄱ. 2초부터 물체는 일정한 운동량으로 운동하는데, 이때 운동량은 2 kg·m/s이고 질량은 2 kg이므로 물체의 속도는 1 m/s이다.

ㄴ. 운동량-시간 그래프에서 기울기는 그 물체에 작용하는 힘이므로 0~2초 동안 물체에 작용한 합력은 1 N이다.

ㄷ. 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 0~4초 동안 충격량 $I = \Delta p = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 0 = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

- 054 답 ⑤ | ㄱ. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량의 크기는 A의 운동량 변화량과 같으므로

$$I = \Delta p = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \text{이다.}$$

($\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 와 $\text{N} \cdot \text{s}$ 는 같은 단위이다.)

ㄴ. 충돌하는 동안 B가 A로부터 받은 평균 힘의 크기는

$$\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}} = \frac{2 \text{ N} \cdot \text{s}}{0.01 \text{ s}} = 200 \text{ N} \text{이다.}$$

ㄷ. 충돌 후 운동량의 변화량은 A와 B가 같으므로 B의 운동량 변화량은

$$\Delta p_B = m_B v - m_B v_0 = 1 \text{ kg} \cdot v - 0 = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} \text{이므로}$$

충돌 후 B의 속력은 2 m/s 이고, A의 속력은 1 m/s 이므로 B가 A의 2배이다.

- 055 답 ① | ㄱ. 충돌 전 A의 운동량은 $3p_0$ 으로 운동하다가 B와 충돌 후 A의 운동량은 $-p_0$ 이 된다. 따라서 충돌 후 A는 충돌 전과 반대 방향으로 움직인다.

오답 피하기

ㄴ. 충돌 후 B와 C의 운동량은 각각 p_0 과 $2p_0$ 이고 질량은 B의 질량이 C의 2배이므로 C의 속력은 B의 속력의 4배이다.

ㄷ. B가 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}}$ 이므로 B가 A와

충돌하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{3p_0}{2T}$ 이고, C와 충돌

하는 동안 받은 평균 힘의 크기는 $\frac{2p_0}{T}$ 이다. 따라서 B가 받

은 평균 힘의 크기는 A와 충돌하는 동안 받은 힘이 C와 충돌하는 동안 받은 힘보다 작다.

- 056 답 ④ | 충돌 전과 충돌 후 운동량의 합은 동일하다. 충돌 후 각각 v_A' , v_B' 의 속력을 갖는다고 할 때 $mv_A = (m + 2m)v_A'$ 으로 물체 A와 충돌 후 물체 C의 속도는 $\frac{1}{3}v_A$ 이고, $4mv_B = (4m + 2m)v_B'$ 으로 물체 B와 충돌 후 물체 C의 속도는 $\frac{2}{3}v_B$ 이다. 충돌 과정에서 물체 C가 받은 충격량의 크기가 같기 때문에 충돌 후 속도 $\frac{1}{3}v_A$ 와 $\frac{2}{3}v_B$ 는 같다. 그러므로 $v_A : v_B = 2 : 1$ 이다.

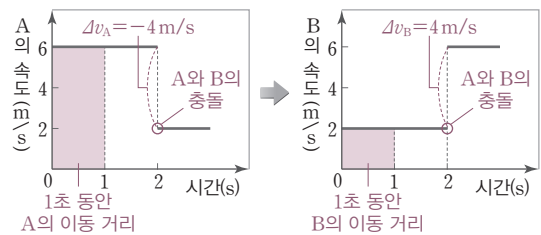
- 057 답 ④ | ㄱ. 그래프에서 면적은 A와 B 사이의 거리를 의미한다. 두 물체는 0~2초까지 점점 가까워져 2초일 때 충돌하므로 1초일 때 A와 B의 사이 거리는 4 m 이다.
- ㄷ. 충돌하는 동안 A가 B로부터 받은 충격량과 B가 A로부터 받은 충격량은 작용 반작용 관계이므로 같은 크기를 갖는다.

오답 피하기

ㄴ. 1초일 때 두 물체는 충돌 전 운동을 하므로 A는 6 m/s 의 일정한 속력으로 운동을 하고 A에 대한 B의 속도가 -4 m/s 이므로 B는 2 m/s 의 속력으로 운동을 한다. 충돌 후 두 물체의 속력 관계는 $v_A' + 4 \text{ m/s} = v_B'$ 이다. 충돌 전 후 두 물체의 운동량의 합은 보존되므로 $m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$ 에 의해 $8m = m(v_A' + v_B') = m(2v_A' + 4) \Rightarrow v_A'$ 는 2 m/s 이고 v_B' 는 6 m/s 이므로 충돌 후 운동량의 크기는 B가 A의 3배이다.

문제 속 자료

충돌에 따른 두 물체의 속도 변화



충돌 전 6 m/s 의 크기로 등속 운동을 하는 A와 A에 대한 B의 속도 그래프를 통해 A와 B의 시간-속도 그래프를 구해보면 위와 같다. 충돌하면서 A가 B에 주는 충격량과 B가 A에 주는 충격량은 작용 반작용 관계이므로 충돌 후 A와 B의 운동량 변화량의 크기는 같고 방향은 반대이고 두 물체 질량은 같으므로 두 물체의 속도 변화량의 크기는 같고 방향은 반대이다.

- 058 답 ① | ㄱ. (가)에서 두 물체의 운동량의 합은 충돌 전과 후가 같다.

오답 피하기

ㄴ. (가)와 (다)에서 운동량은 보존되므로 (가)에서 충돌 후 A의 속도는 $m_A v_A + m \cdot 0 = (m_A + m) \cdot v_A' \Rightarrow v_A' = \frac{1}{2}v$ 이고 (다)에서 충돌 후 C의 속도는 $m_C v_C + m \cdot 0 = (m_C + m) \cdot v_C' \Rightarrow v_C' = \frac{2}{3}v$ 이므로 C가 A의 $\frac{4}{3}$ 배이다.

ㄷ. (나)에서도 운동량은 보존되므로 물체 B의 충돌 후 속도는 $m_B v_B + m \cdot 0 = (m_B + m) \cdot v_B' \Rightarrow v_B' = v$ 이다. 그러므로 충돌 후 속도의 크기는 B가 C보다 크다.

- 059 답 ④ | ㄱ. A가 받은 충격량은 A의 운동량 변화량과 같다. $I = \Delta p = 2 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s} - 2 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s} = -4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이므로 A가 받은 충격량의 크기는 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

ㄷ. 두 물체의 운동량의 합은 충돌 전과 충돌 후가 같으므로

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B' \Rightarrow$$

$$2 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s} = 2 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s} + m_B \cdot 4 \text{ m/s} \text{에 의해 } m_B \text{는 } 1 \text{ kg} \text{이다.}$$

오답 피하기

ㄴ. 두 물체가 충돌하면서 받는 충격량은 서로가 같으므로 운동량 변화량의 크기는 A와 B가 같다.

060 답 ⑤ | 물체에 한 일의 크기는 작용한 힘과 힘의 방향으로 이동한 거리의 곱으로 나타낸다.

$$\text{일}(W) = \text{힘}(F) \times \text{힘의 방향으로 이동한 거리}(s)$$

ㄱ. (가)에서 물체가 받은 일은 '작용한 힘 $30 \text{ N} \times$ 이동 거리 $1 \text{ m} = 30 \text{ J}$ '이다.

ㄴ. 일 · 운동 에너지 정리에서 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 운동 에너지 변화량과 같다. (나)의 물체에는 위로 30 N 의 힘이 작용하고, 아래로 중력($2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$)이 작용한다.

따라서 (나)의 물체에 작용하는 알짜힘의 크기는 두 힘의 차인 $30 \text{ N} - 20 \text{ N} = 10 \text{ N}$ 이다. 알짜힘이 물체를 1 m 이동시켰으므로, 물체에 한 일은 ' $10 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 10 \text{ J}$ '이고, 이것은 운동 에너지 변화량과 같다.

ㄷ. (가)와 (나)에서 물체에 작용하는 힘이 30 N 으로 같고, 이동 거리도 1 m 로 같으므로 두 물체의 역학적 에너지 변화량은 같다.

• (가): 정지 상태에서 운동 상태가 되었으므로 운동 에너지는 증가하였고, 위치 변화는 없으므로 중력 퍼텐셜 에너지는 변화 없다.

• (나): 정지 상태에서 운동 상태가 되었으며 운동 에너지 증가량은 10 J (물체에 작용한 알짜힘이 한 일)이다. 위치도 변화하였으므로 퍼텐셜 에너지도 증가하였다. 퍼텐셜 에너지 증가량은 mgh 이므로 ' $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 20 \text{ J}$ '이다. 즉, (나)에서 물체는 운동 에너지는 10 J , 퍼텐셜 에너지는 20 J 증가하여, 전체 역학적 에너지는 30 J 증가하였다.

061 답 ② | 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 면적은 충격량과 같다.

이 물체의 충격량은 $\frac{1}{2} \times 6 \text{ s} \times 2 \text{ N} = 6 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

운동량과 충격량의 공식은 다음과 같다.

• 충격량 = 나중 운동량 - 처음 운동량

• 운동량 = 질량 \times 속도

이 운동에서 물체의 처음 운동량은 0(정지 상태)이므로 '충격량 = 나중 운동량 = $2 \text{ kg} \times v$ ', 즉, 6초일 때 물체의 속도는 3 m/s 이다. 0~6초 동안 힘이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

$$\begin{aligned} W = E_k &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (3 \text{ m/s})^2 - \frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times 0^2 = 9 \text{ J} \end{aligned}$$

또다른 풀이

운동 에너지 = $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{(\text{운동량})^2}{2m}$ 이다. 6초에서 물체의 운동량은 $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고 물체의 질량은 2 kg 이

므로 6초일 때 운동 에너지는 $\frac{(6)^2}{2 \times 2}$ 이며, 이는 0~6초 동안 힘이 물체에 한 일과 같다.

062 답 ⑤ | 일 · 운동 에너지 정리에서 알짜힘이 한 일의 양은 운동 에너지의 변화량과 같다. A, B는 정지 상태에서 일정한 힘을 받아 운동하여 t 에서 속도가 각각 $2v$, v 가 되었다.

운동 에너지 변화량은 $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$ 이고, $v_0 = 0$ 이므로 두 물체의 운동 에너지 변화량은 각각 $\frac{1}{2}m(2v)^2$, $\frac{1}{2}mv^2$ 이며 이것은 두 물체에 한 일과 같다.

즉, $W_A : W_B = \frac{1}{2}m(2v)^2 : \frac{1}{2}mv^2 = 4 : 1$ 이다.

063 답 ② | 전동기가 물체에 한 일의 양은 중력에 의한 물체의 퍼텐셜 에너지 증가량과 운동 마찰력이 한 일의 합과 같다.

• 물체의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량 물체가 등속 운동을 하므로 작용한 힘 = 운동 마찰력이다.
 $= 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 10 \text{ J}$

• 운동 마찰력이 한 일 = $2 \text{ N} \times 3 \text{ m} = 6 \text{ J}$

따라서 전동기가 물체에 한 일의 양은 16 J 이다.

064 답 ① | • 0~1초 사이에 물체의 이동 거리 구하기: 속도-시간 그래프에서 그래프 아래의 면적은 이동 거리와 같다. 그래프에서 0초에서 1초까지 물체 A와 B는 5 m 이동하여 속력이 10 m/s 가 되었을 때 실이 끊어졌다.

• B의 질량 구하기: 속도-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 물체의 가속도이다. 1~3초까지 그래프의 기울기 크기가 실이 끊어진 후 중력이 작용하여 움직이는 두 물체 A, B의 가속도의 크기이며 $\frac{10 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

B의 질량을 m_B 라고 할 때, 1초 이후 줄이 끊어진 물체 A와 B에 작용한 힘의 크기는 '(A의 질량 + B의 질량) \times 가속도'이고, 이는 'B에 작용하는 중력($m_B g$)'의 크기와 같다.

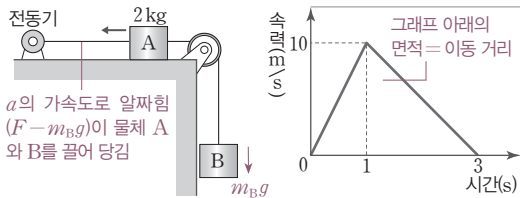
즉, $(2 \text{ kg} + m_B) \times 5 \text{ m/s}^2 = m_B \times 10 \text{ m/s}^2$

따라서 B의 질량은 2 kg 이다.

• 0~1초 사이에 전동기가 한 일: 전동기가 일을 하여 A, B의 속도가 증가하고, B의 위치가 높아졌다. 따라서 전동기가 한 일은 'A와 B의 운동 에너지 증가량 + B의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량'이다. 정지 상태의 두 물체가 1초일 때 속력이 10 m/s 가 되었으므로 'A와 B의 운동 에너지 증가량'은 $\frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 + \frac{1}{2} \times 2 \times 10^2 = 200 \text{ (J)}$ 이다. 또한 물체 B는 높이가 5 m 올라갔으므로 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 $2 \times 10 \times 5 = 100 \text{ (J)}$ 이다.

따라서 전동기가 한 일은 $200 \text{ J} + 100 \text{ J} = 300 \text{ J}$ 이다.

문제 속 자료 속력-시간 그래프 해석



- 0~1초 동안 A, B 두 물체는 전동기의 일을 받아 움직이므로 물체 A와 B의 운동 에너지가 늘어나고, 물체 B는 위치가 증가하므로 중력 퍼텐셜 에너지도 증가하게 된다. 따라서 두 에너지의 증가량이 전동기가 한 일과 같다.
- 또다른 풀이: 전동기가 물체를 잡아 당기는 힘을 F 라고 하면 0~1초 사이에 물체에 작용하는 알짜힘은 ' $F - B$ 에 작용한 중력'이 되고, 이 힘이 A, B 두 물체를 가속도 10 m/s^2 으로 잡아 당긴다.
 $\Rightarrow F - 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = (2 \text{ kg} + 2 \text{ kg}) \times 10 \text{ m/s}^2$ 이므로 $F = 60 \text{ J}$ 이 된다. 0~1초 사이에 A, B는 5 m 이동했으므로, 전동기가 한 일 $W = F \times s = 60 \text{ J} \times 5 \text{ m} = 300 \text{ J}$ 이다.

065 답 ② | 실이 끊어지면 A는 자유 낙하를 하고, B, C는 연결되어 화살표 방향으로 진행한다. 이 때 B-C에는 C에 작용하는 중력이 알짜힘으로 작용한다. 즉, 물체 B와 C는 줄이 끊어진 후에도 관성에 의해 화살표 방향으로 진행하며, C에 작용하는 중력이 알짜힘으로 작용하므로, 속력이 점점 느려진다.

따라서 B의 운동 에너지는 감소하고, C의 역학적 에너지는 증가(C의 운동 에너지 감소, C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가)하며, 두 값은 서로 같다.

ㄴ. B와 C의 역학적 에너지가 보존되므로 B의 운동 에너지 감소량만큼 C의 역학적 에너지는 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 실이 끊어지면 A는 자유 낙하한다. A의 가속도의 크기는 중력 가속도(g)이고, 실에 연결된 B와 C의 가속도의 크기를 a 라고 할 때, ' $mg = (2m + m)a$ '이므로 $a = \frac{1}{3}g$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 A가 B의 3배이다.

ㄷ. B와 C의 역학적 에너지가 보존되므로 B의 운동 에너지 감소량은 'C의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량 + C의 운동 에너지 감소량'과 같다.

066 답 ④ | ㄱ. A, B는 실로 연결되어 움직이므로 속력, 이동 거리, 가속도의 크기가 같다. 또한 A, B의 질량이 같으므로 작용하는 알짜힘의 크기가 같다($F = ma$ 이고 질량과 가속도가 같으므로). 또한 A, B의 이동 거리가 같으므로 A, B에 작용하는 각각의 알짜힘이 한 일은 같다.

ㄴ. A, B를 비교하면 A, B의 질량과 속도가 같으므로 두 물체의 운동 에너지 증가량은 같다.

감소한 퍼텐셜 에너지양을 보면 빗면을 내려온 물체 A의 높

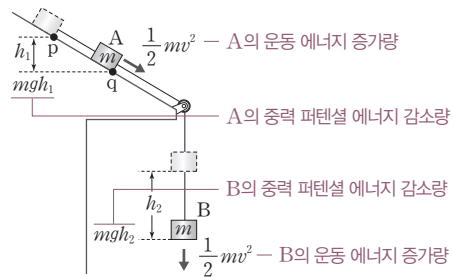
이 차가 수직으로 내려 온 B의 높이차보다 작으므로, 퍼텐셜 에너지는 A가 B보다 적게 감소한다.

역학적 에너지는 '운동 에너지 + 퍼텐셜 에너지'이고, A와 B의 역학적 에너지는 보존되므로 A의 역학적 에너지는 증가하고 B의 역학적 에너지는 감소한다.

오답 피하기

ㄷ. A, B의 역학적 에너지가 보존되므로 A, B의 증가한 운동 에너지의 합은 A, B의 감소한 중력 퍼텐셜 에너지의 합과 같다.

문제 속 자료 도르레로 연결된 물체의 역학적 에너지



- 증가된 운동 에너지: $A = B$
- 감소된 중력 퍼텐셜 에너지: $A < B$
 \Rightarrow 중력 퍼텐셜 에너지 감소량은 높이 변화가 더 큰 B가 A보다 크다.
- A와 B의 역학적 에너지는 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 더 큰 B의 역학적 에너지는 감소, 중력 퍼텐셜 에너지 감소량이 작은 A의 역학적 에너지는 증가하였다.

067 답 ⑤ | ㄱ. 물체 B를 놓기 전, 물체 A와 B는 서로 같은 높이 h 에서 정지 상태이다. 높이 h 에서 중력 퍼텐셜 에너지는 A가 mgh 이고 B는 $3mgh$ 이므로 A와 B의 운동 에너지 합이 0일 때, 중력 퍼텐셜 에너지의 합은 $4mgh$ 이다.

ㄴ. 물체 B가 h 만큼 낙하하였을 때 A와 B의 운동 에너지가 각각 $\frac{1}{2} \times m \times v^2$, $\frac{1}{2} \times 3m \times v^2$ 이므로 A와 B의 운동 에너지의 합은 $2mv^2$ 이다.

ㄷ. B가 h 만큼 낙하했을 때 A의 중력 퍼텐셜 에너지는 $2mgh$ (높이가 $2h$ 이므로)이고 B의 중력 퍼텐셜 에너지는 0(높이가 0이므로)이다. B를 놓기 전후에 A와 B의 역학적 에너지가 보존되므로 $0 + 4mgh = 2mv^2 + 2mgh$ 가 성립하며, 이 식을 풀면 $v = \sqrt{gh}$ 이다.

068 답 ③ | ㄱ. 중력 가속도를 g , A와 B의 질량을 m 이라 하면, 같은 높이 h 인 지점에서 수평면까지 A, B가 내려오는 동안 중력이 한 일은 mgh 로 동일하다.

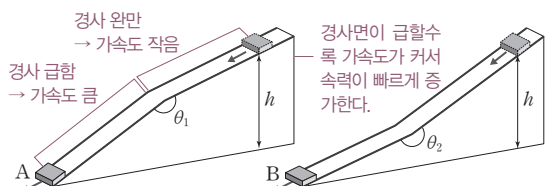
ㄴ. 높이 h 에서 수평면까지 A, B가 내려오는 동안 운동 에너지 변화량은 중력이 물체에 한 일과 같으므로 mgh 로 서로 같다.

오답 피하기

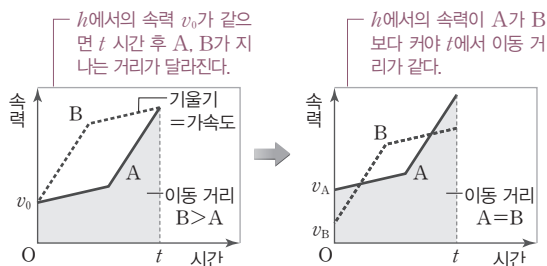
ㄷ. A와 B가 지나는 빗면이 서로 다른 각도로 꺾여 있다. 만약 h 인 지점에 두 물체를 가만히 놓는다면 같은 거리만큼 이동하는 데 걸리는 시간은 A가 B보다 크다(빗면의 기울기에 따라 속력 변화가 다르므로). 그런데 높이 h 인 지점을 동시에 통과하고, 같은 거리만큼 이동하여 동시에 수평면에 도달하였으므로 h 인 지점을 지나는 순간의 속력은 A가 B보다 커야 한다.

즉, 두 물체 A, B의 처음 속력이 다르므로 운동 에너지도 다르다. h 인 지점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 같으므로 역학적 에너지는 운동 에너지가 더 큰 A가 B보다 크다.

문제 속 자료 경사면의 각도와 속력



- A는 '완만한 경사면 + 급한 경사면'을 지나고, B는 '급한 경사면 + 완만한 경사면'을 지난다. 즉, A는 처음 가속도는 작고 경사면을 지난 후 가속도가 커지며, B는 처음 가속도는 크고 경사면을 지난 후 가속도가 줄어든다.
- 물체의 속력-시간 그래프에서 그래프 아래의 면적은 이동 거리를 나타내고, 문제에서 두 물체의 이동 거리는 같다. 그래프에서 두 물체의 이동 거리가 같으려면 처음 속력인 h 점을 지나는 속력이 A가 B보다 더 커야 한다.



- 물체가 빗면을 내려오는 동안 운동 에너지 변화량은 같지만, h 와 바닥에서의 속력이 $A > B$ 이므로 운동 에너지는 A가 B보다 크다.

- 069 답 ②** | A에서 B까지 운동 에너지 감소량은 C에서 D까지 중력에 의한 퍼텐셜 에너지 증가량과 같다. 여기서 D의 높이를 H 라고 하면 $\frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}m(v)^2 = mgH - mgh$ 가 된다. $\Rightarrow \frac{3}{2}v^2 = gH - gh \dots ①$
- 또한 역학적 에너지 보존 법칙에 따라 A에서의 운동 에너지는 D에서의 퍼텐셜 에너지와 같기 때문에 다음 관계가 성립한다. $\frac{1}{2}m(2v)^2 = mgH \dots ②$
- ②식에서 $v^2 = \frac{gH}{2}$ 이므로 ①식의 v^2 에 ②식에서 구한 $\frac{gH}{2}$ 를 대입하면, $H = 4h$ 를 얻을 수 있다.

- 070 답 ①** | p에서의 속력을 v 라고 하면, q에서의 속력은 $3v$ 이고, 두 점에서 역학적 에너지는 같으므로 q를 기준으로 놓았을 때 p와 q에서 역학적 에너지는 다음과 같다.

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{1}{2}m(3v)^2 + 0 \quad (q \text{를 기준으로 놓으면, } q \text{에서 중력 퍼텐셜 에너지는 } 0 \text{이다.})$$

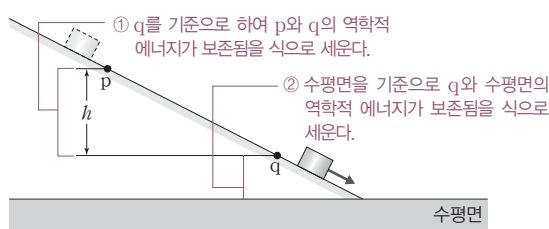
$$\Rightarrow v^2 = \frac{gh}{4}$$

수평면에서 q까지의 높이를 H 라고 하면, q에서 운동 에너지는 중력 퍼텐셜 에너지의 2배이므로 다음 식이 성립한다.

$$\frac{1}{2}m(3v)^2 = 2mgH$$

$$\text{이때 } v^2 = \frac{gh}{4} \text{이므로 } H = \frac{9}{16}h \text{이다.}$$

문제 속 자료 퍼텐셜 에너지의 기준점



- 두 점에서 역학적 에너지는 보존된다. p에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 q에서 운동 에너지로 전환되면서 q에서 물체의 운동 에너지가 커진다.
- 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 p점에서 q점으로 내려 오면서 mgh 만큼 줄어든다.
- 기준면이 달라지면 중력 퍼텐셜 에너지 값은 달라지지만 두 점 사이의 중력 퍼텐셜 에너지의 차이는 일정하다.

- 071 답 ②** | 각 지점에서 중력에 의한 역학적 에너지는 보존된다. A지점에서 공을 가만히 놓았으므로 역학적 에너지는 A지점에서의 중력 퍼텐셜 에너지, B나 D지점에서의 운동 에너지와 같다.

ㄷ. 일 · 에너지 정리에서 공에 작용하는 중력이 한 일만큼 운동 에너지가 변한다. 즉, 중력이 일을 하여 공이 아래로 내려오는 동안 공의 운동 에너지가 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 마찰과 공기 저항이 없으므로 각 지점에서 역학적 에너지는 보존된다. 역학적 에너지는 A~D에서 모두 같다.

ㄴ. 운동량은 '질량 × 속도'이다. B점과 D점에서 운동 에너지가 같으므로 물체의 속도가 같다. 즉, B와 D에서 물체의 운동량 크기는 같다.

- 072 답 ②** | 물체의 역학적 에너지는 보존되므로 물체가 p점을 지나는 순간(물체에 작용하는 힘 제거) 물체의 운동 에너지는 물체가 h 까지 올라가 정지한 순간의 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

또한 p점에서 물체의 운동 에너지는 물체에 힘이 작용한 O 점에서 p점까지 물체를 이동시킨 힘이 한 일과 같다.

물체의 질량을 m , O와 p 사이에서 물체의 가속도의 크기를 a 라 하면, 다음 식이 성립한다.

수평면에서 힘이 물체에 한 일 W

$$= ma \times 2h - \text{한 일} = F \cdot s \text{이고, } F = ma \text{이므로}$$

= p점에서 물체의 운동 에너지

= 높이 h 에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지

$$= mgh$$

$$\text{즉, } ma \times 2h = mgh \Rightarrow a = \frac{g}{2} \text{이다.}$$

073 답 ④ | 물체의 속력은 r에서 q에서의 2배이므로 운동 에너지는 r에서 q에서의 4배이다. q에서 운동 에너지를 E_k 라 하면 r에서의 운동 에너지는 $4E_k$ 가 된다. p, q, r에서 역학적 에너지는 모두 같으므로

$$mgh_1 = mgh_2 + E_k = 4E_k$$

$$\text{즉, } mgh_1 = 4E_k, mgh_2 + E_k = 4E_k \text{에서}$$

$$mgh_2 = 3E_k \text{이다.}$$

$$\text{즉, } h_1 \text{과 } h_2 \text{에서 중력 퍼텐셜 에너지의 비 } 'mgh_1 : mgh_2 = 4E_k : 3E_k' \text{이며, } 'h_1 : h_2 = 4 : 3' \text{이다.}$$

074 답 ④ | 마찰이 없는 면에서는 역학적 에너지 보존에 의해 용수철과 물체가 분리된 직후에 용수철이 압축된 길이 x 만큼의 탄성 퍼텐셜 에너지가 물체의 운동 에너지로 전환된다.

따라서 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ 은 물체의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 이 된다. 마찰이 있는 면에서는 등가속도 운동 방정식을 적용하여 가속도를 구할 수 있다.

ㄴ. 용수철과 분리된 직후는 마찰이 없는 면이므로 역학적 에너지(운동 에너지 + 퍼텐셜 에너지)가 보존된다. 탄성 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 운동 에너지로 전환되었기 때문에 처음 물체가 가지고 있는 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$ 이다.

물체는 마찰면을 지나면서 정지하고, 이때 물체가 가진 역학적 에너지는 0이다. 따라서 감소한 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}kx^2$ 이다.

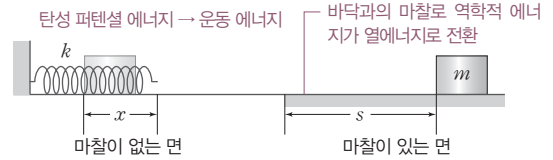
ㄷ. 마찰면으로 들어간 처음 속력은 $x\sqrt{\frac{k}{m}}$ 이고(ㄱ번 해설 참조), 물체는 등가속도 운동을 하므로 $2as = v^2 - v_0^2$, $v = 0$ 이므로(운동 후 정지), 가속도의 크기는 $\frac{kx^2}{2ms}$ 이다.

오답 피하기

ㄱ. 역학적 에너지 보존에 의해 용수철과 분리된 직후 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2$ 이므로 속력은 $v = x\sqrt{\frac{k}{m}}$ 이다.

문제 속 자료

탄성 퍼텐셜 에너지



- 마찰이 없는 면에서는 역학적 에너지가 보존되어 탄성 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환되었다.
- 마찰이 있는 면에서 바닥과의 마찰로 물체는 정지하게 되었고, 이때 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

075 답 ④ | ㄱ. 물체는 아래로 내려가고 있으므로(위치 감소) 중력에 의한 퍼텐셜 에너지는 감소한다.

ㄴ. 용수철이 늘어나고 있으므로 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ 에서 x 의 증가로 탄성 퍼텐셜 에너지는 증가한다.

오답 피하기

ㄷ. 용수철에 매달린 물체에는 중력과 탄성력이 동시에 작용하고 있다. 이 힘에 의해 탄성 퍼텐셜 에너지, 중력 퍼텐셜 에너지, 운동 에너지가 변한다. 따라서 '(탄성 퍼텐셜 에너지 + 중력 퍼텐셜 에너지 + 운동 에너지) = 역학적 에너지'이며, 이 값이 일정하다.

076 답 ① | 물체가 용수철에 매달려 진동할 때 역학적 에너지는 보존된다. 역학적 에너지는 탄성 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합이다.

• P지점($x = \frac{A}{2}$)에서 질량 m 인 물체의 운동 에너지를 E 라 할 때, $\frac{1}{2}kA^2 = E + \frac{1}{2}k(\frac{A}{2})^2 \Rightarrow E = \frac{3}{8}kA^2$ 이다.

• P지점에서 질량 $2m$, 용수철 상수 $\frac{k}{2}$ 인 물체의 운동 에너지를 E' 라 하면, $\frac{1}{2}(\frac{k}{2})A^2 = E' + \frac{1}{2}(\frac{k}{2})(\frac{A}{2})^2$

$$\Rightarrow E' = \frac{3}{16}kA^2 \text{이다.}$$

$$\frac{3}{8}kA^2 = E \text{이므로 } E' = \frac{1}{2}E \text{이다.}$$

077 답 ② | 물체의 역학적 에너지는 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합이다. 즉, 운동 에너지가 0일 때 퍼텐셜 에너지는 최대이고, 퍼텐셜 에너지가 0일 때는 운동 에너지가 최대이다. 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철이 늘어나거나 압축된 길이만큼 달라지므로 평형 위치 $x = 0$ 에서는 0이다.

ㄴ. (나)에서 운동 에너지가 E_0 인 지점은 탄성 퍼텐셜 에너지가 0이므로 용수철에 연결된 물체가 평형 위치에 있다. 따라서 물체에 작용하는 탄성력은 0이다. 힘이 작용하지 않는 상태이므로 가속도 역시 0이다.

오답 피하기

ㄱ. 그래프에서 퍼텐셜 에너지가 0일 때 운동 에너지는 E_0 이다. 물체의 역학적 에너지 = 운동 에너지의 최댓값 = 퍼텐셜 에너지의 최댓값 = E_0 이다.

ㄴ. 물체가 최대 변위인 x 위치에 있을 때 탄성 퍼텐셜 에너지가 $\frac{1}{2}kx^2$ 이고, 이것이 E_0 이다. 탄성 퍼텐셜 에너지가 $\frac{E_0}{2}$ 일 때, 물체와 평형 위치 사이의 거리를 A 라고 하면 $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{E_0}{2}$ 이다. 두 식을 정리하면 A 는 $\frac{x}{\sqrt{2}}$ 이다.

078 답 ① | 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 기체의 부피가 증가하는 등압 팽창 과정이다. 기체가 열을 받아 등압 과정으로 팽창할 때, 부피가 증가해 외부에 일을 하고, 압력은 일정하며, 내부 에너지가 증가하므로 온도도 상승한다.

ㄴ. 기체의 내부 에너지가 증가하여 기체의 온도가 증가하였다. 기체 분자의 평균 속력은 온도가 높을수록 빠르다.

오답 피하기

ㄱ. 기체의 온도는 '기체의 압력 × 부피'에 비례한다. 기체는 압력이 일정하고 부피가 증가하므로 온도 역시 증가한다.

ㄴ. 기체가 흡수한 열량(Q)은 기체가 외부에 한 일(W)과 내부 에너지 증가량(ΔU)의 합과 같다. ($Q = W + \Delta U$)

079 답 ① | ㄱ. A는 (가) → (나)의 등압 팽창 과정에서 열량 Q 를 흡수해 외부에 W 의 일을 하고 내부 에너지가 증가하여 온도가 높아졌다. (나) → (다)의 과정에서 W 의 일을 받아 부피가 수축하였으며, 외부로 열 출입이 없으므로 단열 압축이다. 단열 압축에서 외부에서 일을 받아 내부 에너지가 증가하므로 A의 온도는 (다)에서가 (나)에서보다 높다.

따라서 기체의 온도는 (다) > (나) > (가) 순으로 높으므로, A의 온도는 (가)에서가 (다)에서보다 낮다.

오답 피하기

ㄴ. (나) → (다) 과정은 단열 과정이고 부피가 감소하므로 A의 압력은 증가한다.

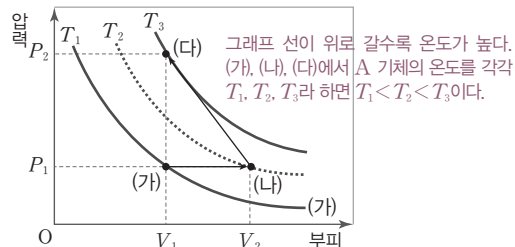
ㄴ. (나) → (다) 과정은 단열 과정이므로 $\Delta U = -W$, 즉, 내부 에너지 변화량은 기체가 받은 일의 양과 같다. 기체가 한 일 $W = P\Delta V$ 로 구할 수 있다.

(가) → (나)와 (나) → (다)에서 기체의 부피 변화는 같다(A의 부피는 (가)와 (다)가 같다고 제시되어 있으므로). 그러나 기체의 압력은 (나) < (다)이므로 (나) → (다)는 단열 압축이므로 압력은 (다) > (나) = (가)이다. (가) → (나) 과정에서 A가 한 일의 양보다 (나) → (다) 과정에서 A가 받은 일의 양(A의 내부 에너지 변화량)이 더 크다.

문제 속 자료

열역학 과정 그래프

(가)에서 기체 A의 부피와 압력은 V_1, P_1 이라 하고 기체의 압력-부피 그래프를 그리면 다음과 같다.



- (가) → (나)의 등압 팽창 과정: 그래프에서 압력이 P_1 로 일정하고, 부피가 $V_1 \rightarrow V_2$ 로 증가하였다. 열량 Q 를 받아 외부에 W 의 일을 하며, 내부 에너지가 증가하여 온도가 증가한다.
- (나) → (다)의 단열 압축 과정: 부피가 $V_2 \rightarrow V_1$ 로 감소하고 압력이 $P_1 \rightarrow P_2$ 로 증가하고 있다.
- 온도: (가) < (나) < (다)
- 압력: (가) = (나) < (다) — 기체의 온도는 '부피 × 압력'에 비례한다.
- 부피: (가) = (다) < (나)

080 답 ⑤ | ㄱ, ㄴ. (나)에서 기체는 외부로부터 일을 받아 단열된 상태에서 부피가 줄었으므로 단열 압축 과정이다. 따라서 (나)에서 기체가 받은 일 W_0 은 모두 내부 에너지 변화에 사용되어 내부 에너지가 증가하였다. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 $T_2 > T_1$ 이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 기체의 온도 변화가 같으므로 기체의 내부 에너지 변화량도 같다. (가)에서 기체가 외부에 한 일을 W 라고 하면, $Q_0 = W + \Delta U$ 이고, (나)에서 기체가 받은 일의 양 W_0 은 기체의 내부 에너지 증가량 ΔU 와 같다. 계산하면, $W = Q_0 - W_0$ 이다.

081 답 ③ | ㄱ. (가)는 등적 과정으로 $Q = \Delta U$ 이므로 받은 열량 Q 는 모두 내부 에너지 증가에 사용되었다.

ㄴ. (나)는 등압 과정으로 $Q = \Delta U + W$ 이며, 받은 열량으로 일을 하고 내부 에너지가 증가된다. 내부 에너지가 증가하므로 기체의 온도가 높아지고, 기체 분자의 평균 속력이 빨라진다.

오답 피하기

ㄴ. (가)와 (나)는 단열된 실린더 안에서 동일한 열량 Q 를 공급받았다. (가)에서 기체는 외부에 일하지 않았으므로 내부 에너지 변화량 $\Delta U_{(가)} = Q$ 이고, (나)에서 기체는 외부에 일(W)을 하였으므로 내부 에너지 변화량 $\Delta U_{(나)} = Q - W$ 이다. 열량 Q 가 같으므로 내부 에너지 증가량은 '(가) > (나)'이다. 문제에서 열량 Q 를 공급받은 후 (가)와 (나)의 내부 에너지가 같아졌으며, 열량 Q 를 공급받은 후 내부 에너지 증가량은 (가)가 (나)보다 크므로, 가열 전 기체의 내부 에너지는 '(가) < (나)'이다.

082 답 ⑤ | 밸브를 열면 B의 압력이 감소한다.

ㄴ. A는 단열된 상태에서 부피가 증가하여 외부에 일을 하였으므로 내부 에너지가 감소하여 온도가 낮아진다. 즉, A는 단열 팽창하므로 내부 에너지를 사용하여 외부에 일을 한 것이다.

ㄷ. $Q = \Delta U + W = 0$ 에서 $\Delta U = -W < 0$ 이므로 내부 에너지가 감소하여 기체의 온도가 낮아지고, 기체 분자의 평균 속력이 작아진다. 기체 분자의 운동 속력은 온도가 높을수록 빨라진다.

오답 피하기

ㄱ. (나)에서 밸브를 열었으므로 B의 압력이 감소하고, 피스톤이 올라오다 정지하였으므로 A와 B의 압력은 같다. 따라서 A의 압력도 감소한다.

083 답 ④ | ㄴ. A, B는 단열되지 않은 칸막이로 나뉘어져 있다. 따라서 열이 이동하여 열평형 상태가 되었으므로 A, B의 온도는 같다.

ㄷ. B는 A에서 이동한 열을 받아 B의 부피가 팽창하며 내부 에너지는 증가한다. 따라서 B의 온도는 증가한다.

오답 피하기

ㄱ. 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 A가 한 일은 0이므로 A가 받은 열량 Q 는 모두 A의 내부 에너지를 높이는 데 사용되어야 한다. 그러나 A가 단열된 상태가 아니므로 Q 의 일부는 B로 전달되었다. 따라서 A의 내부 에너지 변화량은 Q 보다 작다.

084 답 ② | ㄴ. (나)에서 A와 B가 들어 있는 실린더의 두 피스톤의 단면적이 동일하고 피스톤이 정지해 있으므로 피스톤의 양쪽에서 작용하는 힘의 크기가 같다. 따라서 A와 B의 압력은 같다. 즉, A와 B가 서로 따로 움직이는 것이 아니므로 부피와 압력을 생각할 때 A, B를 함께 고려해야 한다.**오답 피하기**

ㄱ. B가 들어 있는 실린더와 피스톤이 단열되어 있으므로 B는 흡수한 열량이 0이고, 피스톤이 B에 해 준 일은 B의 내부 에너지 증가량과 같다. 따라서 피스톤이 이동하는 동안 B의 온도는 올라간다.

ㄷ. A는 (가)의 상태에서 Q 만큼의 열량을 받아서 온도가 상승하였으므로 내부 에너지가 증가한다. 또한 A의 부피가 증가하였으므로 A는 외부에 일을 한다.

(나)에서 A가 한 일을 W_A , A의 내부 에너지 변화량을 ΔU_A 라고 하면, 열역학 제1법칙에 따라 $Q = W_A + \Delta U_A$ 이다. 따라서 A의 내부 에너지는 (나)에서 (가)에서보다 $Q - W_A$ 만큼 크다.

085 답 ④ | A, B가 열전달이 잘되는 금속판으로 나뉘어 있으므로 열량 Q 를 B에 가하면 열이 이동하여 A, B가 열평형을 이룬다. A와 B는 열평형으로 온도가 같으므로 내부 에너지도 같다. A의 부피만 서서히 증가하였으므로 A의 압력은 변함이 없다.

ㄱ. (나)에서 B는 (가)에서보다 온도가 상승하였으나 부피 변화가 없으므로(등적 과정), (가)에서보다 압력이 증가하였다. A는 부피가 서서히 증가하여 피스톤이 대기압과 추에 의한 압력으로 정지하였다. 즉, 압력이 (가)일 때와 변하지 않았으므로 (나)에서 기체의 압력은 $A < B$ 이다.

ㄷ. (가)에서 (나)로 되는 과정에서 A와 B의 온도 변화는 같으므로(열평형 상태이므로) 내부 에너지 변화량 역시 동일하다($\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U$). A가 받은 열량을 Q_A , B가 받은 열량을 Q_B 라고 하면 A는 부피가 증가하면서 기체가 외부에 일을 하였으므로 $Q_A = W + \Delta U_A$ 이고, B는 외부에 한 일이 0이므로 $Q_B = \Delta U_B$ 이다.

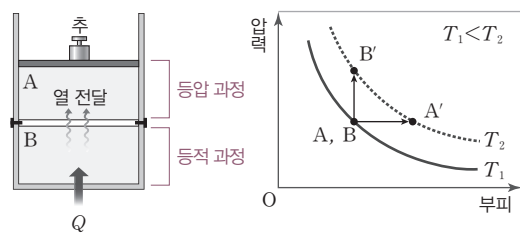
흡수한 열량 $Q = Q_A + Q_B$ 이므로

$$Q_A = W + \Delta U_A = W + Q_B = W + Q - Q_A \text{ 이고,}$$

따라서 $Q_A = \frac{1}{2}W + \frac{1}{2}Q$ 이다. (가)에서 (나)로 되는 과정에서 A가 흡수한 열량 Q_A 는 공급된 열량의 $\frac{1}{2}$ 인 $\frac{1}{2}Q$ 보다 $\frac{1}{2}W$ 만큼 크다.

오답 피하기

ㄴ. (나)에서 A와 B는 열평형 상태이므로 A와 B의 온도가 같고 내부 에너지 또한 같다. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 따라 변한다.

문제 속 자료 A, B의 열역학 과정

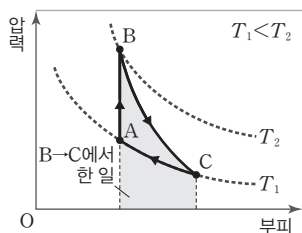
- A, B는 처음 열평형 상태에 있고 압력과 부피가 같다.
- B는 등적 과정을 거치므로 부피는 일정하고 압력은 증가한다.
- A는 등압 과정을 거치므로 부피는 증가하고 압력은 일정하다.
- A, B는 열량 Q 를 받은 후에도 열평형을 이루므로 온도가 같다.

086 답 ③ | ㄱ. $A \rightarrow B$ 과정에서 부피는 일정하지만 온도가 증가하므로 기체가 외부에 하는 일은 0이지만, 내부 에너지가 증가한다. 따라서 열을 흡수한다.

ㄷ. B 상태의 온도가 C 상태의 온도보다 높으므로 기체 분자의 평균 운동 에너지도 크다. 기체 분자는 온도가 높을수록 분자 운동이 빨라지므로 운동 에너지도 커진다.

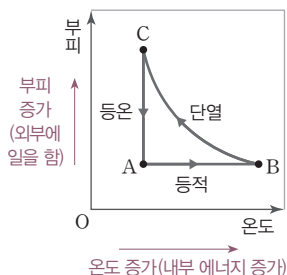
오답 피하기

ㄴ. 문제에 제시된 그래프는 부피-온도 그래프이다. 이를 압력-부피 그래프로 그려보면 다음과 같다. 그래프 아랫부분의 면적은 기체가 한 일의 양과 같다.



- A → B 과정: 등적 과정으로, 부피는 일정하고 압력은 증가한다. 따라서 기체가 한 일은 0이고, 온도는 높아진다.
- B → C 과정: 단열 팽창 과정으로, 기체가 외부에 한 일은 압력-부피 그래프 아랫부분의 면적과 같다.
- C → A 과정: 등온 과정으로 내부 에너지의 변화가 없으므로 기체가 방출한 열량은 기체가 받은 일과 같으며 그래프 아래의 면적과 같다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 한 일은 C → A 과정에서 기체가 방출한 열량보다 크다.

문제 속 자료 기체의 부피-온도 그래프



압력-부피 그래프가 아니라 부피-온도 그래프임에 주의하자.

- A → B: 등적 과정이므로 부피는 일정하고 압력이 증가한다.
⇒ $Q = \Delta U$
- B → C: 단열 과정이며, 부피가 늘어나는 것으로 보아 단열 팽창이다. 외부에 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소하였다.
⇒ $W = -\Delta U$
- C → A: 등온 과정이며 부피가 줄어들었으므로 압력은 증가한다. 또한 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변하지 않는다.
⇒ $Q = W$

087 답 ③ | ㄱ. 기체의 온도는 압력과 부피의 곱에 비례한다. B에서 '압력 × 부피'는 $4PV$, A에서는 $3PV$ 이다. 따라서 온도는 B가 A보다 높다.

ㄴ. 내부 에너지는 기체의 온도에 따라 변한다. 즉, 온도가 높을수록 내부 에너지가 높다. C의 '압력 × 부피 = $3PV$ '로 A와 같다. 즉, A와 C는 서로 온도가 같다.

오답 피하기

ㄷ. 기체가 한 일은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다. 그래프 아래의 넓이를 비교하면, 'A → B > B → C'이므로 기체가 한 일도 'A → B > B → C'이다.

088 답 ② | 단열 과정은 외부에서 열 출입 없이 기체의 부피가 팽창하거나 감소함에 따라 기체가 외부에 일을 하거나 받아 온도가 변하는 과정이다. 등압 과정은 압력이 일정한 상태에서 외부에서 열을 받아 기체의 부피가 변하는 과정으로, 외부에서 열을 얻으므로 기체의 온도가 상승한다.

ㄷ. B → C 과정에서 기체의 부피는 증가하고 압력은 변하지 않았다. 기체의 온도는 '압력 × 부피'에 비례하는데, B → C로 변할 때 압력은 일정하나 부피가 증가하였다. 따라서 온도가 높아졌으며, 기체는 열을 흡수하였다.

부피가 증가하였으므로 기체는 외부에 일을 하였고, 온도가 높아졌으므로 기체의 내부 에너지는 증가하였다.

$Q = \Delta U + W$ 이고, $\Delta U > 0$, $W > 0$ 이므로, $Q > 0$ 이고 기체는 열을 흡수하였다.

오답 피하기

ㄱ. A → B 과정은 단열 과정이며, 기체의 부피가 줄어들었으므로 단열 압축이다. 단열 압축에서 기체는 외부에서 일을 받고, 이 일은 기체의 내부 에너지를 증가시켜 기체의 온도가 높아진다.

ㄴ. B → C 과정은 등압 과정이고, 기체의 부피는 증가하였지만 기체의 압력은 일정하다. 모래의 양을 감소시키면 기체의 압력이 감소하므로 모래의 양을 감소시키지 않았다.

문제 속 자료 단열 과정

단열 과정은 외부와 열 출입 없이 부피 변화로 기체의 온도가 변한다.

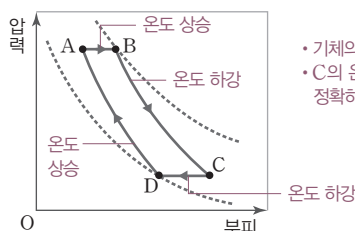
$Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = 0$ 이므로 $W = -\Delta U$ 이다.

이때 기체의 부피가 증가하면 단열 팽창, 부피가 감소하면 단열 압축이다.

- 단열 팽창: 부피 증가 → 외부에 일을 함 → 내부 에너지 사용 → 기체의 온도 내려감
- 단열 압축: 부피 감소 → 외부에서 일을 받음 → 내부 에너지 증가 → 기체의 온도 상승

089 답 ⑤ | ㄴ. B → C 과정은 단열 과정이므로 기체의 내부 에너지 감소량은 기체가 외부에 한 일과 같다.

ㄷ. D → A 과정에서 기체가 단열 압축되므로 온도가 증가하고, A → B 과정에서도 온도가 증가한다. 따라서 온도는 B에서가 D에서보다 높다.



• 기체의 온도: $B > A > D$
• C의 온도는 $D < C < B$ 이며, A와는 정확히 대소를 확인할 수 없다.

오답 피하기

ㄱ. A → B 과정은 부피가 증가하므로 기체가 외부에 일을 한다.

090 답 ⑤ | ㄱ. 열기관의 열효율이 0.2이고, 한 일이 W 이므로

$$0.2 = \frac{W}{Q_1} \text{에서 } Q_1 = 5W \text{이다.}$$

$$Q_2 = Q_1 - W \text{이므로 } Q_2 = 4W \text{이다.}$$

ㄴ. $A \rightarrow B$ 는 등적 과정으로 기체의 부피는 일정하고 압력만 증가하였다. 기체의 부피 변화가 없으므로 기체는 외부에 일을 하지 않았다. 또한 부피는 일정한데 압력이 증가했으므로 '부피 \times 압력' 값이 커지고, 온도는 높아졌다. 열역학 제1법칙을 적용하면 $Q = \Delta U$ 이다.

기체의 온도가 상승하였으므로 내부 에너지도 증가하였다. $Q = \Delta U$ 에서 $\Delta U > 0$ 이므로 $Q > 0$ 이 되며, 기체는 열을 흡수한다.

ㄷ. $B \rightarrow C$ 는 단열 과정으로 열의 이동이 없는 상태에서 기체의 부피가 증가하였다. 즉, 단열 팽창되었고, 기체는 내부 에너지를 이용하여 외부에 일을 하였다. 열역학 제1법칙을 적용하면 $Q = \Delta U + W = 0$ 에서 $W = -\Delta U$ 이므로 기체가 한 일은 기체의 내부 에너지 감소량과 같다.

091 답 ③ | ㄱ. 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하므로 T_1 은 고열원이고 T_2 는 저열원이다. 따라서 열원의 온도는 $T_1 > T_2$ 이다.

ㄴ. 열기관이 한 일 $W =$ 흡수한 열 $-$ 방출한 열 $= 10 \text{ kJ} - 6 \text{ kJ} = 4 \text{ kJ}$ 이다.

오답 피하기

$$\begin{aligned} \text{ㄷ. 열기관의 열효율 } e &= \frac{\text{한 일}}{\text{흡수한 열}} = 1 - \frac{\text{방출한 열}}{\text{흡수한 열}} \\ &= 1 - \frac{6 \text{ kJ}}{10 \text{ kJ}} = 0.4 \text{이다.} \end{aligned}$$

092 답 ④ | ㄱ. 그래프에서 A는 열기관이 한 일이고, 이 열기관은 카르노 기관이다. 카르노 기관의 열효율 $e_K = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ 이다. 문제에서 고열원의 온도가 400 K, 저열원의 온도가 300 K이므로 열효율은 $1 - \frac{300}{400} = 0.25$ 이다.

또한 열효율 $e = \frac{W}{Q_1}$ 이므로 Q_1 이 100 J이면 $0.25 = \frac{W}{100}$ 가 되고, 열기관이 한 일 W 는 25 J이다.

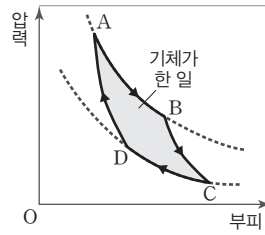
ㄴ. 에너지 보존 법칙에 따라 흡수한 열량과 방출한 열량의 차이만큼 일로 전환된다. 즉, '열기관이 한 일 $W =$ 고열원에서 흡수한 열량 $Q_1 -$ 저열원으로 방출한 열량 Q_2 '이다.

오답 피하기

ㄷ. 카르노 기관은 열효율이 가장 높은 이상적인 열기관으로, 열효율은 두 열원의 온도에 의해서만 결정된다. 즉, Q_1 이 커지더라도 Q_2 가 더 크게 증가하면 열기관의 열효율은 감소한다.

문제 속 자료

카르노 기관의 열역학 과정



카르노 기관은 순환 후 처음 상태로 되돌아오므로 내부 에너지가 변하지 않는다.

과정	열 에너지	부피 변화	일	온도 변화	내부 에너지
A \rightarrow B (등온 팽창)	흡수 (Q_1)	증가	일을 함	일정	변화 없음
B \rightarrow C (단열 팽창)	출입 없음	증가	일을 함	하강	감소
C \rightarrow D (등온 압축)	방출 (Q_2)	감소	일을 받음	일정	변화 없음
D \rightarrow A (단열 압축)	출입 없음	감소	일을 받음	상승	증가

- 열기관은 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정에서 부피가 팽창하면서 외부에 일을 하고, $C \rightarrow D \rightarrow A$ 과정에서 부피가 줄어들면서 외부에서 일을 받는다.
- 열기관이 한 일은 그래프에서 ABCD로 둘러싸인 부분의 면적이다.
- 열기관이 외부에서 열을 흡수하는 구간은 $A \rightarrow B$ 이며, 이때 흡수한 열량이 Q_1 이다.
- 열기관이 외부에 열을 방출하는 구간은 $C \rightarrow D$ 이며, 이때 방출한 열량이 Q_2 이다.
- 카르노 기관에서 고열원의 온도를 T_1 , 저열원의 온도를 T_2 라 할 때 열효율은 다음과 같다.

$$e = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

➡ 카르노 기관은 고열원과 저열원의 온도차를 크게 하여 열효율을 높일 수 있지만 열효율이 100%가 될 수는 없다.

093 답 ④ | 열역학 제2법칙은 자연에서 일어나는 변화의 비가역적(변화가 한쪽 방향으로만 일어나는 것) 방향성을 제시하는 법칙으로, 자연 현상에서 일어나는 변화가 원래 상태로 돌아가는 것이 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되지 않더라도 결코 스스로 일어나지 않는다는 의미이다. 열기관에서 일을 하는 과정에서 열이 온도가 낮은 쪽으로 저절로 이동하기 때문에 열효율이 100%인 열기관을 만들 수 없는 것도 열역학 제2법칙에 해당한다.

ㄱ. 비가역 과정은 한쪽 방향으로만 일어나 스스로 처음 상태로 돌아갈 수 없는 과정을 말한다. 깨진 컵이 저절로 붙지 않는 것이나, 퍼진 잉크 방울이 다시 모이지 않는 것이 바로 비가역 과정이다. 열은 고온에서 저온으로만 저절로 이동하므로 열의 이동은 비가역 과정이다.

ㄷ. 잉크 방울이 물속으로 퍼져 나가는 일은 일어나지만, 퍼진 잉크 방울이 한 곳에 모이지는 않는다. 즉, 비가역 과정이므로 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

오답 피하기

ㄴ. 열이 저온에서 고온으로 이동하여도 열역학 제1법칙은 만족한다. 즉, 열의 이동 방향에 관계없이 에너지는 보존된다. 따라서 열의 이동이 한쪽 방향으로만 일어나는 현상은 열역학 제1법칙으로 설명할 수 없다. 이처럼 열역학 제1법칙에 위배되지는 않지만 자연계에서 절대 스스로 일어나지 않는 현상을 설명하는 것이 열역학 제2법칙이다.

094 답 ② | 특수 상대성 이론에 의해 모든 관성 좌표계에서 보았을 때, 진공에서 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 항상 같다. 즉, 빛의 속력은 누가, 어떤 상황에서 관찰하건 모두 같다. 따라서 $v_1 = v_2$ 이다.

영희가 보았을 때 기차는 정지해 있으므로 영희가 측정한 기차의 길이 L_2 는 고유 길이이다. 철수가 보았을 때 기차는 광속에 가까운 속력으로 운동하므로 길이 수축이 일어난다. 따라서 철수가 측정한 기차의 길이 L_1 은 영희가 측정한 기차의 고유 길이 L_2 보다 작으며, $L_1 < L_2$ 이다.

095 답 ② | 고유 길이는 관찰자가 측정하였을 때 정지해 있는 물체의 길이, 또는 어떤 관성 좌표계에 대해 고정된 두 지점 사이의 길이이다. 문제에서와 같이 영희가 $0.7c$ 의 속도로 운동하는 우주선을 볼 때는 그 길이가 수축되는 것으로 관측된다. 이것을 길이 수축이라고 한다.

길이 수축은 물체의 속도가 빠를수록 더 크게 일어나며, 운동 방향으로만 일어나고, 운동 방향에 수직인 방향으로는 일어나지 않는다. 즉, 운동 방향에 수직인 b 는 길이 수축이 일어나지 않고 운동 방향인 a 는 고유 길이인 a_0 에 비해 수축되어 보인다.

096 답 ⑤ | ㄴ. 광속 불변의 원리에 따라 빛의 속력은 누가 측정하는지에 관계없이 항상 같다.

ㄷ. 우주선 밖에 있는 철수가 측정할 때, 광원에서 발생한 빛은 사선을 따라 내려가 B에 도달하는 것으로 보인다. 따라서 빛이 이동한 거리는 광원과 B 사이의 고유 거리인 L 보다 크므로 걸린 시간은 $\frac{L}{c}$ 보다 크다.

오답 피하기

ㄱ. 영희가 측정할 때 빛이 A, B에 동시에 도달하였으므로, 광원과 A 사이의 거리는 L 이고, 이것이 고유 길이가 된다. 철수가 측정할 때, 우주선의 운동 방향과 나란한 방향으로 길이 수축이 일어나므로 광원과 A 사이의 거리는 L 보다 작다. 길이 수축은 운동 방향으로만 일어나며, 운동 방향과 수직인 방향에 있는 광원과 B 사이의 거리에는 길이 수축이 일어나지 않는다.

097 답 ① | 물체가 운동하는 속력이 빠를수록 시간은 느리게 간다. A 구간에서의 속력을 v_A , B 구간에서의 속력을 v_B 라고 할 때, A 구간에서 철수의 시간이 B 구간보다 느리게 간 것은 $v_A > v_B$ 이기 때문이다.

또한, 속력이 빠를수록 길이 수축이 더 크다.

ㄴ. A 구간에서 B 구간에서보다 속력이 빠르므로 영희가 측정할 때 A 구간에서의 우주선 길이 L_1 이 B 구간에서의 우주선 길이 L_2 보다 짧다.

오답 피하기

ㄱ. 영희가 측정할 때, 철수의 시간이 A에서 B보다 더 느리므로 $v_A > v_B$ 이다(시간 지연). 따라서 B에서의 우주선의 속력은 $0.6c$ 보다 작다.

ㄷ. 영희가 볼 때는 철수가 운동하지만, 철수가 볼 때는 영희가 왼쪽(뒤쪽)으로 운동하고 있다. 철수 관점에서 철수가 A 구간을 지날 때 철수는 정지하고 있고 영희가 v_A 의 속력으로 왼쪽(뒤쪽)으로 지나고 있다.

철수가 B 구간을 지날 때는 철수는 정지해 있고 영희가 v_B 의 속력으로 이동하고 있다. 따라서 철수가 보는 영희의 속력도 $v_A > v_B$ 의 관계이다. 철수의 우주선이 A를 지날 때, 철수가 보는 영희의 속력이 더 빠르기 때문에 영희의 시간이 더 느리게 간다.

098 답 ④ | 시간 지연은 정지한 관측자가 빠르게 움직이는 물체를 볼 때 상대방의 시간이 느리게 가는 것으로 관측되는 현상이다.

ㄱ. 마찰이 없고 우주선이 $0.8c$ 의 속도로 우주 정거장을 향해 등속 운동을 할 때, 우주선에서 관측하면 우주 정거장이 $0.8c$ 의 속도로 다가오는 것으로 보인다. 즉, 우주선에서 측정한 우주 정거장의 속력은 $0.8c$ 이다.

ㄴ. 우주선에서 보면 우주 정거장이 빠르게 움직인다. 따라서 우주선에서 측정할 때 빠르게 움직이는 우주 정거장에서의 시간은 시간 지연이 일어나 느리게 간다. 시간 지연은 우주 정거장에서 관측할 때도 일어나므로 우주 정거장의 관측자는 우주선의 시간이 느리게 가는 것으로 관측된다.

오답 피하기

ㄷ. 광속 불변이므로 관측자에 관계없이 레이저 빛의 속력은 일정하다.

099 답 ⑤ | 영희의 좌표계에서는 광원에서 동시에 발생한 빛이 빛 검출기 A, B에 동시에 도달한다. 광원에서 A까지를 s 라고 할 때, 동시에 도달하였다는 것은 $v = \frac{s}{t}$, $s = vt$ 에서 도달한 시간 t 가 같다는 것이고, 속력은 빛의 속력 c 로 불변하므로 거리 s 가 같음을 알 수 있다.

ㄱ. 광속 불변의 원리에 따라 관찰자나 광원의 속도에 상관없이 빛의 속력 $c = 3 \times 10^8$ m/s로 일정하다.

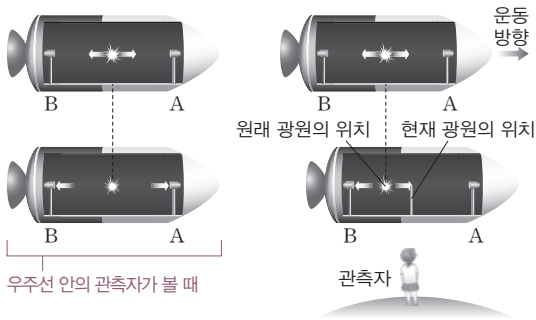
ㄴ. 빛의 속력이 같고 영희의 좌표계에서는 빛이 A, B에 동시에 도달하였으므로 거리가 같다.

ㄷ. 문제의 자료는 영희가 정지한 상태에서 철수를 측정하였을 때 철수가 앞(오른쪽)으로 운동하는 것으로 보인다. 철수의 관점에서는 철수가 정지해 있고 영희가 뒤(왼쪽)로 운동하는 것으로 보인다.

영희에게는 정지 좌표계 내에서 빛이 A, B에 도달하는 사건이 동시에 일어나지만, 철수에게는 영희가 뒤로(왼쪽) 운동하기 때문에 빛이 B에 먼저 도달하는 것으로 보인다. 이를 동시성의 상대성이라고 한다.

문제 속 자료 동시성의 상대성

한 관측자에게 동시에 일어난 사건이 상대적으로 운동하는 다른 관측자에게는 동시에 일어난 사건이 아닐 수 있다. 이렇게 동시성이 관측자의 운동에 따라 달라지는 것을 동시성의 상대성이라고 한다. 광속에 가깝게 움직이는 우주선 가운데에 위치한 광원에서 빛이 나올 때, 빛이 광원에서 같은 거리에 있는 두 검출기에 도달하는 사건이 있다.



이 사건을 우주선 안에 있는 관측자가 볼 경우 빛은 A, B에 동시에 도달하는 것처럼 보인다. ➡ 두 사건 A, B가 동시에 일어난다. 그러나 우주선 밖의 정지한 행성에 있는 관찰자가 볼 경우 빛이 이동하는 동안 우주선도 이동하므로 왼쪽에 있는 B검출기에 빛이 먼저 도달한다. ➡ 사건 B가 먼저 일어난다.

100 답 ⑤ | 고유 길이는 관찰자가 측정했을 때 정지 상태에 있는 물체의 길이, 또는 한 관성 좌표계에 대해 고정된 두 지점 사이의 길이이다. (가)에서 철수와 거울은 정지해 있으므로 A와 B 사이의 거리는 고유 길이이고, (나)에서 관측자 영희는 우주선에 타고 있으므로 영희가 측정한 A와 B 사이의 거리는 길이 수축이 일어난다.

ㄱ. (가)에서 빛이 A-B 사이를 왕복하는데 걸린 시간이 T_1 이므로 A-B를 이동하는 데는 $\frac{T_1}{2}$ 이 걸린다. A, B 사이의 거리는 '속도 \times 시간' $= c \times \frac{T_1}{2}$ 이다.

ㄴ. (가)에서 철수가 측정한 A, B 사이의 거리 $0.5cT_1$ 은 고유 거리이고, (나)에서 영희가 측정한 A, B사이의 거리 $0.7cT_2$ (= 속도 \times 시간 $= 0.7c \times T_2$)는 길이 수축이 되어

짧아진 거리이므로 A, B 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 길다. 영희가 측정한 거리는 수축하였다.

ㄷ. 민수와 민희는 같은 공간에서 정지해 있으므로 두 사람이 측정한 A와 B 사이의 거리 $0.3cT_3$ (= 속도 \times 시간 $= 0.3c \times T_3$)은 고유 길이이다.

101 답 ⑤ | ㄴ. P와 Q 사이의 거리는 철수가 측정한 값이 고유 길이이므로 영희가 측정하면 길이 수축이 일어난다.

ㄷ. 빛의 속력은 영희나 철수가 측정할 때 모두 같고, 빛이 진행하는 거리는 영희가 측정할 때가 철수가 측정할 때보다 짧다. '걸린 시간 $= \frac{\text{거리}}{\text{속력}}$ '이므로 빛이 진행하는 데 걸린 시간도 영희가 철수보다 짧게 측정한다.

오답 피하기

ㄱ. 진공에서 빛의 속력은 관측자나 광원의 속도에 상관없이 항상 같다.

102 답 ⑤ | 광원에서 P, Q 사이의 고유 길이는 정지한 관측자 C가 측정한 값이다. 즉, 광원과 P 사이의 고유 거리는 L 이고, 광원과 Q 사이의 고유 거리는 $0.8L$ 이다. 그런데 A가 측정한 광원과 P 사이의 거리와 B가 측정한 광원과 Q 사이의 거리가 같다는 것은 우주선 I의 속력이 II보다 빠르다는 것을 의미한다. 길이 수축은 속력이 빠를수록 크게 일어나는데 우주선 I의 속력이 II보다 크므로, A가 측정한 광원과 P 사이의 거리가 B가 측정한 광원과 Q 사이의 거리보다 더 크게 축소하였기 때문이다.

ㄱ. 광속 불변 원리에 의해 광원에서 나온 빛의 속력은 A가 측정할 때와 B가 측정할 때가 같다.

ㄴ. L 은 광원과 P에 대해 정지한 관측자 C가 측정한 거리이므로 고유 길이이고, A는 스스로 정지해 있고 공간이 수축한다고 측정하기 때문에 관측자 A가 측정한 광원과 P 사이의 거리는 수축된 거리이므로 고유 길이인 L 보다 짧다.

ㄷ. 속력이 빠를수록 시간이 더 느리게 간다(시간 지연). 우주선의 속력은 I이 II보다 크므로 A의 시간이 B의 시간보다 더 느리게 간다.

103 답 ④ | ㄱ. 거울과 바닥 사이의 거리가 두 우주선에서 동일하고, 빛의 속력은 항상 같다. t_A 와 t_B 는 같은 사건을 측정한 고유 시간이므로 $t_A = t_B$ 이다.

ㄴ. 영희가 탄 우주선 B가 민수가 탄 우주선 A에 대해 $0.5c$ 로 운동하므로 영희가 측정할 때 민수의 시간은 자신(영희)의 시간보다 느리게 간다. 즉, 서로 다른 관성 좌표계 사이에서 서로 상대방의 시간이 느리게 가는 것으로 관측된다.

오답 피하기

ㄷ. 영희가 측정할 때 우주선 A의 속력과 민수가 측정할 때 우주선 B의 속력이 같고, $t_A = t_B$ 이므로 민수가 측정할 때 t_A 동안 떨어진 A와 B 사이의 거리는 영희가 측정할 때 t_B 동안 떨어진 A와 B 사이의 거리와 같다.

- 104 답 ① | ㄱ. 철수가 깃대를 보면 철수는 정지 상태이므로 고유 길이이다. 영희가 철수를 볼 때 영희는 정지해 있고, 철수와 깃대가 왼쪽(뒤쪽)으로 운동하므로 길이 수축이 일어난다.

오답 피하기

ㄴ. 철수가 측정할 때 A가 광원 쪽으로 움직이므로 빛은 B보다 A에 먼저 도달한다.
 ㄷ. 영희는 운동하고 있다. 영희가 측정한 시간이 고유 시간이므로 철수가 측정한 시간은 고유 시간보다 크다.

- 105 답 ③ | ㄷ. 영희에 대한 뮤온의 속도가 0이므로 영희가 측정한 뮤온의 수명은 고유 시간에 해당한다. 철수에 대해 뮤온이 운동하므로 시간 지연에 의해 철수가 측정한 뮤온의 수명은 고유 시간보다 길다.

오답 피하기

ㄱ. 빛의 속력은 관찰자의 운동 상태에 관계없이 항상 같다.
 ㄴ. 영희가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이에 해당하고, 철수에 대해 우주선이 운동하므로 길이 수축에 의해 철수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧다.

- 106 답 ② | 뮤온과 함께 움직이는 좌표계에서 봤을 때는 정지한 좌표계(지상의 관측자 기준)에서 관측했을 때보다 길이가 짧아지므로 $L > L'$ 이다(길이 수축). 정지한 좌표계에서 봤을 때 뮤온의 시간이 느리게 가므로 $T > T'$ 이다(시간 지연).

- 107 답 ② | ㄴ. 시간 지연은 속력이 빠를수록 커진다. 즉, 속력이 큰 B가 속력이 작은 A보다 시간 지연이 크게 일어나 수명이 더 길어진다. 따라서 수명이 상대적으로 짧은 A는 지면에 도달하기 전에 붕괴하고, 시간 지연이 크게 일어나 수명이 더 긴 B는 지면에 도달한 순간 붕괴한다.

오답 피하기

ㄱ. 뮤온의 고유 수명이 t_0 이다. 관찰자가 측정할 때, 시간 지연이 일어나므로 A가 생성된 순간부터 붕괴하는 순간까지 걸리는 시간은 t_0 보다 크다.
 ㄷ. 관찰자가 측정할 때, h 는 고유 거리이므로 '뮤온의 속도 \times 걸린 시간'으로 구할 수 있다. B가 지면에 닿는 순간 붕괴하므로 h 는 ' $0.99c \times t$ '이고, 관측자가 볼 때 뮤온의 수명 t 는 t_0 보다 크다. 따라서 h 는 $0.99ct_0$ 보다 크다.

- 108 답 ④ | 물체가 광속에 가깝게 운동할 때 정지 좌표계에서는 시간 지연이, 움직이는 좌표계에서는 길이 수축이 일어난다. 즉, 지상의 관측자가 볼 때 뮤온의 시간 지연이 일어나 뮤온의 수명이 늘어나고, 뮤온의 좌표계에서는 길이 수축이 일어나 뮤온과 지표면 사이의 거리가 줄어든다.

- 109 답 ① | ㄱ. 중수소(${}^2_1\text{H}$)와 삼중수소(${}^3_1\text{H}$)는 원자 번호(양성자 수)는 같고 질량수가 다르므로 동위 원소이다.

오답 피하기

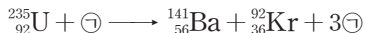
ㄴ. (가)는 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$)으로 질량수는 4이다.
 ㄷ. 핵융합 과정에서 질량 결손에 의해 에너지가 발생하므로 핵반응 전 질량의 합은 핵반응 후 질량의 합보다 크다.

- 110 답 ③ | ㄱ. (가)는 핵반응 후 질량수가 큰 원자핵이 되었으므로 핵융합 반응이고, (나)는 질량수가 큰 원자핵이 질량수가 작은 원자핵 2개로 나뉘었으므로 핵분열 반응이다.
 ㄴ. 핵반응 전후에 전하량 보존 법칙이 성립하므로 (가)에서 핵반응 전후의 전하량 합은 같다.

오답 피하기

ㄷ. 핵반응 전후에 질량수는 보존되지만 전체 질량은 줄어든다. 이렇게 결손된 질량이 에너지로 전환된다.

- 111 답 ⑤ | ㄱ. 핵분열 반응식은



이므로 ①에 해당하는 입자는 중성자(${}^1_0\text{n}$)이다.

ㄴ. 질량수는 양성자수와 중성자수의 합이므로 바륨(Ba), 크립톤(Kr)의 중성자수는 각각 85, 56이다.
 ㄷ. 핵반응에서 방출된 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

문제 속 자료 원소의 표시

원소의 양성자수를 그 원소의 원자 번호라고 하며, 양성자수와 중성자수를 합한 수를 질량수라고 한다.

$$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} \text{X} \quad \begin{matrix} A: \text{질량수} = \text{양성자수} + \text{중성자수} \\ Z: \text{원자 번호} = \text{양성자수} \end{matrix}$$

• 동위 원소는 양성자수는 같고, 중성자수가 다른 원소를 말한다.

- 112 답 ④ | ㄱ. 질량수가 큰 원자핵이 두 개의 작은 원자핵으로 쪼개지는 것을 핵분열이라 한다.

ㄷ. 우라늄의 핵반응 과정에서 방출되며, 핵반응에 기여하는 것은 중성자이다. 방출된 중성자는 다른 우라늄에 연쇄적으로 흡수되어 핵분열이 기하급수적으로 일어난다.

오답 피하기

ㄴ. B는 핵융합으로, 핵융합 과정에서 질량의 손실이 발생하며 손실된 질량은 에너지로 전환된다. 즉, 핵반응 후 질량합은 핵반응 전보다 줄어든다.

- 113 답 ①** | ㄱ. 높은 에너지 준위인 E_2 에서 낮은 에너지 준위인 E_1 로 전자가 전이할 때, 두 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 방출한다. 즉, $E_2 - E_1 = hf$ 이므로 E_2 준위에 있는 전자는 E_1 준위에 있는 전자보다 에너지가 hf 만큼 크다.

오답 피하기

ㄴ. E_2 준위에서 E_3 준위로 전이하는 데 필요한 에너지는 E_1 준위에서 E_2 준위로 전이하는 데 필요한 에너지보다 작다. 따라서 진동수가 f 인 빛을 비춰도 E_2 준위에 있는 전자는 E_3 준위로 전이하지 못한다.

ㄷ. E_2 준위에 있는 전자가 E_1 준위로 전이할 때 방출되는 단색광의 진동수는 f 이다.

- 114 답 ⑤** | ㄱ. 전자는 특정한 궤도에만 존재할 수 있으므로 전자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄴ. 전자의 에너지는 원자핵에서 멀어질수록 높아지므로 $n = 3$ 인 상태가 $n = 1$ 인 상태보다 큰 에너지를 갖는다.

ㄷ. 빛의 파장은 빛의 에너지에 반비례하므로 $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다.

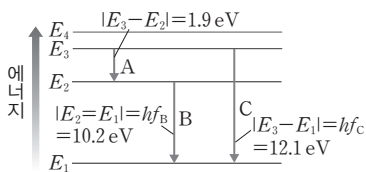
- 115 답 ③** | ㄱ. 전자는 특정한 궤도에만 존재할 수 있으므로 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 불연속적이다.

ㄷ. $E_B = E_C - E_A = 12.1 \text{ eV} - 1.9 \text{ eV} = 10.2 \text{ eV}$ 이므로 (가)는 10.2 eV 이다.

오답 피하기

ㄴ. 전자가 $n = 3$ 에서 $n = 2$ 인 상태로, $n = 2$ 에서 $n = 1$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 에너지의 합은 $n = 3$ 에서 $n = 1$ 인 상태로 전이할 때 방출되는 빛의 에너지와 크기와 같다. 그러므로 $hf_C = hf_A + hf_B$ 에 의해 $f_C = f_A + f_B$ 이다.

문제 속 자료 전자 전이



높은 에너지 준위에 있던 전자가 낮은 에너지 준위로 전이하면 그 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 가진 빛을 방출한다. 에너지 준위가 가지는 부호(-)는 전자가 원자핵에 속박되었다는 의미로 빛에너지가 갖는 크기는 (+)이다.

- 116 답 ⑤** | ㄱ. 전자는 특정한 궤도에만 존재할 수 있으므로 수소 원자에서 방출되는 빛의 스펙트럼은 불연속적이다.

ㄴ. 빛의 진동수는 빛의 에너지에 비례하므로 A가 B보다 더 큰 진동수를 갖는다.

ㄷ. $n = 3$ 인 궤도에서 $n = 2$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출되는 에너지는 $(E_3 - E_1) - (E_2 - E_1) = E_3 - E_2$ 이므로 $E_A - E_B$ 이다.

- 117 답 ⑥** | ㄱ. 선 스펙트럼을 가지므로 A 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄴ. 빛의 에너지와 빛의 파장은 반비례 관계이므로 전자가 전이하면서 방출하는 에너지는 P가 Q보다 크다.

ㄷ. A와 B는 선 스펙트럼 모양이 다르므로 다른 원자이다.

- 118 답 ②** | ㄷ. 선 스펙트럼을 가지므로 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

오답 피하기

ㄱ. 빛의 에너지와 빛의 파장은 반비례 관계를 가지므로 a의 에너지가 b의 에너지보다 크다.

ㄴ. 수소 원자에서 전자가 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 가시광선 중 $n = 3$ 인 궤도에서 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 가장 작은 에너지를 가지므로 b인 빛이 방출된다.

- 119 답 ③** | ㄱ. 전자는 특정 궤도에만 존재할 수 있으므로 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

ㄷ. 전자가 $n = 3$ 에서 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 갖는 빛에너지는 $hf_A = E_3 - E_2$ 이고, $n = 4$ 에서 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 갖는 빛에너지는 $hf_B = E_4 - E_2$ 이므로

$$f_B - f_A = \frac{E_4 - E_3}{h} \text{이다.}$$

오답 피하기

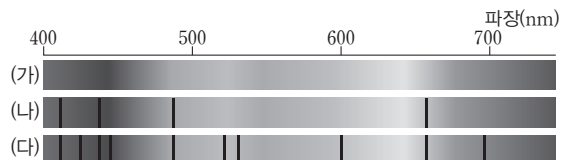
ㄴ. 전자가 높은 에너지 준위에서 낮은 에너지 준위로 전이하면서 방출하는 빛의 에너지는 준위 간 차가 작을수록 작다. 빛의 진동수는 에너지와 비례하므로 f_A 는 $n = 3$ 에서 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 방출되는 빛의 진동수이다.

- 120 답 ⑤** | ㄱ. 연속 스펙트럼을 가진 빛이 온도가 낮은 수소 기체를 통과하면 수소 내 전자가 전이할 때 필요한 에너지(파장)가 수소 기체에 흡수되어 검은 선을 나타내므로 흡수 스펙트럼이 나타난다.

ㄴ. (나)에서 수소 원자는 특정한 선 스펙트럼을 가지므로 에너지가 양자화되어 있음을 알 수 있다.

ㄷ. (다) 스펙트럼에 (나) 스펙트럼이 포함되어 있으므로 태양의 성분에는 수소가 있음을 알 수 있다.

문제 속 자료 태양의 스펙트럼



(다)는 태양 스펙트럼에서 얻어진 것이고, (나)는 백열등에서 나온 빛이 온도가 낮은 수소 기체를 통과한 빛에서 얻어진 스펙트럼이다. (다)를 보면 (나) 수소 원자 내 전자가 전이하며 흡수된 파장(에너지)을 포함하고 있으므로 태양의 성분에는 수소가 있음을 알 수 있다.

121 답 ③ | ㄱ. 광자가 갖는 파장과 에너지는 반비례 관계이다. 빛 a의 파장이 b보다 짧으므로 광자 1개의 에너지는 a가 b보다 크다.

ㄴ. 수소 원자 내 전자와 헬륨 원자 내 전자가 전이하여 방출되는 빛의 에너지가 다르므로 서로 다른 스펙트럼을 갖는다.

오답 피하기

ㄴ. (나)에서 스펙트럼은 가시광선 영역을 나타낸 것이다. 수소에서 가시광선은 전자가 $n > 2$ 인 에너지 준위에서 $n = 2$ 인 에너지 준위로 전이하는 경우에 방출된다.

122 답 ② | ② 수소 기체 방전관에서 나오는 빛은 방출 스펙트럼 C이다.

오답 피하기

- ① LCD 화면은 빨간색, 초록색, 파란색을 혼합하여 여러 색을 만든다. 그러므로 LCD 화면에서 나오는 빛의 스펙트럼은 특정 영역(빨간색, 초록색, 파란색)이 나타나는 D이다.
- ③ 백열등에서 나오는 빛은 연속 스펙트럼 A이다.
- ④ 저온 기체관을 통과한 빛의 스펙트럼은 C의 스펙트럼과 선의 위치가 다르므로 수소가 들어 있지 않다.
- ⑤ 수소 원자의 에너지 준위는 불연속적이다.

문제 속 자료 여러 스펙트럼의 모습



- B는 흡수 스펙트럼, C는 방출 스펙트럼이다.
- 백열등에서 나오는 빛은 연속 스펙트럼을 갖는데 이 빛을 저온 기체에 통과시킨 후 관찰하면 연속 스펙트럼 위 검정색 선이 나타나는 흡수 스펙트럼이 나타난다. 그 이유는 기체 내 전자가 전이하는 데 필요한 만큼의 에너지를 흡수하기 때문이다.

123 답 ④ | ㄱ. 빛은 전자가 높은 궤도에서 낮은 궤도로 전이할 때 방출되므로 전자가 궤도에 머물러 있는 동안에는 빛이 방출되지 않는다.

ㄴ. 원자의 에너지 준위는 양자수 n 이 커질수록 에너지 궤도간 차이는 줄어든다. 즉 $n = 2$ 인 궤도와 $n = 3$ 인 궤도의 에너지 차이보다 $n = 3$ 인 궤도와 $n = 4$ 인 궤도의 에너지 차이가 더 크다. 따라서 (나) 스펙트럼에서 왼쪽 첫 번째 스펙트럼은 $n = 3$ 인 궤도에서 $n = 2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 에너지이고 오른쪽으로 갈수록 에너지가 커지므로 파장은 짧아진다.

오답 피하기

ㄴ. 방출되는 광자의 에너지는 에너지 준위 차만큼의 에너지를 가지므로 b에서 a보다 더 큰 에너지를 방출한다.

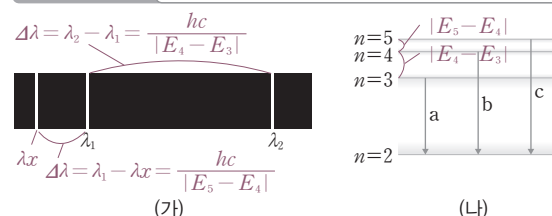
124 답 ② | ㄴ. 두 궤도 간 전자의 전이에서 흡수 에너지와 방출 에너지의 크기는 같으므로 $n = 2$ 인 궤도에 있는 전자가 파장 λ_1 의 빛을 흡수하면 $n = 4$ 의 궤도로 전이한다.

오답 피하기

ㄱ. 궤도의 에너지가 높아질수록 궤도 간 에너지 차이가 줄어들기 때문에 a는 λ_2 이고, b는 λ_1 이다. 에너지와 파장은 반비례 관계이므로 $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다.

ㄴ. c에 의해 방출되는 빛의 파장은 (가)의 맨 왼쪽 선이다.

문제 속 자료 스펙트럼과 에너지띠



에너지 준위 값은 식 $E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$ 에 의해 양자수 n 이 커질수록 에너지 값도 커지는데 에너지 준위 간의 차이는 점점 작아진다. 즉 $n = 3$ 인 에너지 준위와 $n = 4$ 인 에너지 준위 차이보다 $n = 4$ 인 에너지 준위와 $n = 5$ 인 에너지 준위 차이가 더 작은 것이다. (가)의 스펙트럼을 보면 λ_1 와 λ_2 의 차이보다 λ_1 와 λ_x 차이가 더 작으므로 λ_1 와 λ_2 는 각각 b와 a 전이 과정에서 나타난 선이다.

125 답 ③ | ㄱ. 빛의 파장은 빛의 에너지와 반비례 관계를 가진다. 즉, 파장이 짧은 빛일수록 에너지가 더 크다. 따라서 광자 한 개의 에너지는 파장이 짧은 a에서 파장이 긴 b에서보다 크다.

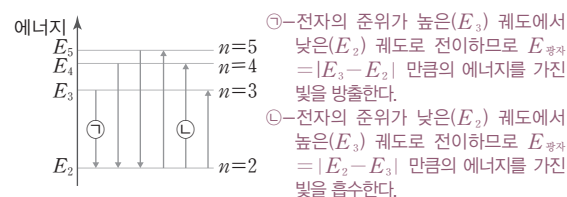
ㄴ. 낮은 에너지 준위에서 높은 에너지 준위로 전자가 전이할 때 흡수 스펙트럼이 나타나므로 c는 ㉠에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

오답 피하기

ㄴ. 선 스펙트럼에서 d는 흡수 스펙트럼 중 가장 작은 에너지를 가지므로 전자가 $n = 2$ 에서 $n = 3$ 인 상태로 전이할 때 흡수된 에너지이다.

$$hf_d = E_3 - E_2 \Rightarrow f_d = \frac{E_3 - E_2}{h}$$

문제 속 자료 선 스펙트럼



방출 스펙트럼을 갖는 빛의 에너지는 전자가 전이하는 에너지 궤도 간의 차이가 클수록 큰 에너지 값을 갖고 파장은 작은 값을 갖는다. 흡수 스펙트럼 역시 선 스펙트럼으로 나타난 빛의 에너지는 전자가 전이하는 에너지 궤도 간의 차이가 클수록 큰 에너지 값을 갖고 파장은 작은 값을 갖는다.

126 답 ⑤ | ㄱ. 빛의 진동수는 빛의 에너지에 비례하므로

$$f_A > f_C \text{이다.}$$

ㄴ. (가)에서 진동수가 f_A, f_C 인 빛이 가지는 에너지의 크기는 $f_A > f_C$ 이고, (나)에서 파장 p, q 인 빛이 가지는 에너지의 크기는 $E_p > E_q$ 이므로 p 는 A 에 의해 나타난 스펙트럼선이다.

ㄷ. 두 궤도 준위 차이가 같은 경우 전자가 전이할 때 흡수($E_2 \rightarrow E_3$) 혹은 방출($E_3 \rightarrow E_2$)할 때 갖는 광자 한 개의 에너지 값은 같다.

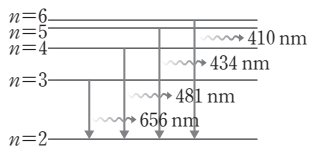
127 답 ④ | ㄴ. 수소 원자에서 전자가 $n=1$ 인 궤도에 있을 때 바닥상태라고 한다.

ㄷ. 수소 원자에서 발머 계열은 전자가 $n > 2$ 인 궤도에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 방출하는 스펙트럼이다.

오답 피하기

ㄱ. 에너지 준위는 원자핵에서 멀어질수록 높아지므로 $E_3 > E_2$ 이다.

문제 속 자료 발머 계열



- 수소 원자 내에 전자가 높은 에너지 궤도($n > 2$)에서 $n=2$ 인 궤도로 전이할 때 발머 계열의 빛이 방출되는데, 이때 진동수가 가장 작은 4개의 빛은 가시광선으로 관찰할 수 있다. ($E_3 \rightarrow E_2, E_4 \rightarrow E_2, E_5 \rightarrow E_2, E_6 \rightarrow E_2$ 전이 과정에서 방출되는 빛이다.)
- $n > 6$ 인 궤도에서 전이할 때 방출되는 빛은 자외선 영역이다.

128 답 ③ | ㄱ. 연속 스펙트럼을 가진 빛이 온도가 낮은 수소 기체를 통과하면 수소 내 전자가 전이할 때 필요한 에너지(파장)가 수소 기체에 흡수되어 검은 선을 나타내므로 흡수 스펙트럼이 나타난다.

ㄴ. 특정한 선 스펙트럼을 가지므로 수소 원자 내 전자의 에너지 준위는 양자화되어 있다.

오답 피하기

ㄷ. 빛의 에너지와 파장은 반비례 관계이므로 파장이 a 인 빛의 에너지가 파장이 b 인 빛의 에너지보다 크다.

129 답 ② | ㄴ. 원자가 띠와 전도띠 사이 간격이 좁을수록 작은 에너지로도 전자가 전이 되어 전기 전도성이 좋아진다.

오답 피하기

ㄱ. (가)는 전도띠로 원자가 띠 위에 있는 에너지띠이고 전자가 완전히 채워져 있지 않다.

ㄷ. 에너지띠는 여러 에너지 준위로 구성되어 있다.

130 답 ② | ㄷ. 띠 간격이 작을수록 물질의 전기 전도도가 크다.

오답 피하기

ㄱ, ㄴ. 고체는 수많은 원자들이 인접해 있는데 한 원자 내에서 2개의 전자가 같은 에너지를 가질 수 없으므로 에너지 준위가 미세한 차이를 두고 나뉘어지면서 겹치게 되어 연속적인 띠와 같은 모양을 가지게 된다. 따라서 원자가 띠에는 많은 전자들이 존재한다.

131 답 ① | ㄱ. 전도띠는 원자가 띠 위에 있는 에너지띠로 절대 온도 0 K에서 전자가 존재하지 않는다.

오답 피하기

ㄴ. 절대 온도 0 K에서 반도체의 전도띠에는 전자가 존재하지 않고 원자가 띠에는 전자로 채워져 있으며, 온도가 높아질수록 열에너지로 인한 전자의 전이로 원자가 띠에 전자가 늘어난다.

ㄷ. 온도가 올라갈수록 전도띠로 전이하는 전자 개수가 늘어나므로 전기 전도성이 높아진다.

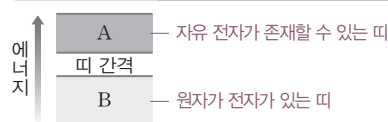
132 답 ④ | ㄴ. 띠 간격은 전자가 존재할 수 없는 영역이다.

ㄷ. 원자가 띠에서 전자가 에너지를 흡수하여 전이하면 전도 띠로 전자가 이동하고 원자가 띠에는 양공(전자의 빈공간)이 생긴다.

오답 피하기

ㄱ. 하나의 에너지 준위에 2개 이상의 전자가 존재할 수 없으므로 고체는 여러 에너지 준위가 미세한 차이를 두며 겹쳐 에너지띠를 이룬다. 그러므로 원자가 띠의 전자들은 서로 다른 에너지 준위를 갖는다.

문제 속 자료 고체 에너지띠



원자 내의 두 전자가 하나의 에너지 준위에 존재할 수 없다. 이를 파울리 배타 원리라고 하는데 이 특성 때문에 고체의 에너지띠는 거리가 가까워지면서 미세한 거리를 두며 존재하게 되고 수많은 에너지 준위가 촘촘히 모여 에너지띠를 만든다.

그러므로 에너지띠에 존재하는 전자들은 서로 다른 에너지를 가지며 띠 간격을 제외한 허용된 띠 내에 존재한다.

133 답 ② | (가) 도체의 원자가 띠와 전도띠는 겹쳐 있어서 사이 간격이 존재하지 않는다.

(나) 절연체의 띠 간격이 도체와 반도체의 띠 간격보다 크다.

(다) 반도체에 띠 간격 이상의 에너지를 주입하면 원자가 띠 내 전자의 전이로 전기 전도성이 높아진다.

- 134 답 ④ | 띠 간격에 따라 a는 도체, b는 반도체, c는 절연체로 분류할 수 있다.

문제 속 자료 **고체의 특성**

(가) A는 음(-)전하를 가진 에보나이트에 달라붙으므로 절연체이고, B는 정전기 유도에 의해 달라붙었다 떨어졌으므로 도체임을 알 수 있다.
 (나) 고체의 에너지띠 구조

- a(도체): 전도띠와 원자가 띠가 일부 겹쳐 있으며 작은 외부 전압에서도 전류가 잘 흐른다.
- b(반도체): 띠 간격이 좁아 적당한 에너지를 흡수하면 전자가 전이하여 전류가 흐른다.
- c(절연체): 띠 간격이 넓어서 전도띠로 전자가 전이하기 어렵기 때문에 전류가 흐르지 않는다.

- 135 답 ⑤ | ㄱ. 절연체는 반도체와 도체에 비해 가장 큰 띠 간격을 갖는다.

- ㄴ. 금속 도선은 도체이므로 에너지띠는 B와 같다.
 ㄷ. 순수한 반도체의 전기 전도성은 거의 절연체와 비슷하지만 불순물을 첨가하면 전기 전도성을 높힐 수 있다.

- 136 답 ① | ㄱ. 절연체의 띠 간격이 가장 크다.

오답 피하기

- ㄴ. 상온에서 전기 전도성은 도체가 반도체보다 크다.
 ㄷ. 온도가 높을수록 열에너지로 인한 전자 전이가 발생하므로 B에서 양공의 수는 증가한다.

- 137 답 ③ | ㄷ. Y에서는 양공이 전류를 흐르게 하므로 순수한 실리콘보다 전기 전도성이 좋다.

오답 피하기

- ㄱ. 붕소를 불순물로 첨가하였을 때 양공이 생기므로 붕소의 원자가 전자는 3개이다.
 ㄴ. Y는 p형 반도체이다.

- 138 답 ③ | ㄷ. X는 p형 반도체, Y는 n형 반도체이므로 순방향 전압이 걸린다.

오답 피하기

- ㄱ. 순수 반도체에 원자가 전자가 3개인 불순물을 첨가하면 양공이 생기므로 p형 반도체이다.
 ㄴ. Y는 원자가 전자가 5개인 불순물이 첨가되었으므로 여분의 전자가 전류를 흐르게 한다.

- 139 답 ④ | ㄴ. 순수 반도체에 불순물 a를 첨가하였을 때 여분의 전자가 발생하였으므로 a의 원자가 전자는 5개이다.

- ㄷ. p-n 다이오드에서 순방향의 전압을 걸어 주면 p형 반도체 내 양공과 n형 반도체 내 전자는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

오답 피하기

- ㄱ. 에너지띠는 여러 개의 에너지 준위로 구성되어 있으므로 전자의 에너지는 모두 다르다.

문제 속 자료 **n형 반도체**

▲ 에너지띠 ▲ 원자 구조

- 순수 반도체에 원자가 전자가 5개인 불순물을 첨가하면 이웃한 원자의 전자와 공유 결합을 하지 못하고 남은 여분의 전자가 발생하므로 n형 반도체가 된다.
- n형 반도체를 에너지띠로 살펴보면 불순물로 인한 에너지 준위가 전도 띠에 가깝게 형성되어 전자가 쉽게 전도띠로 전이할 수 있다.

- 140 답 ③ | ㄱ. 반도체 B는 여분의 전자를 가지므로 n형 반도체이고 A는 p형 반도체이다. p형 반도체에 첨가된 a의 원자가 전자는 3개이다.

- ㄴ. p형 반도체에 (+)극이 연결되고 n형 반도체에 (-)극이 연결되어 있으므로 (가)에서 전압은 순방향이다.

오답 피하기

- ㄷ. 순방향 전압이 걸릴 때 p형 반도체 내 양공은 접합면으로 이동한다.

- 141 답 ① | ㄱ. n형 반도체의 주된 전하 운반체는 전자이다. 따라서 A의 n형 반도체는 전원 장치의 (+)극과 연결되어 있다.

오답 피하기

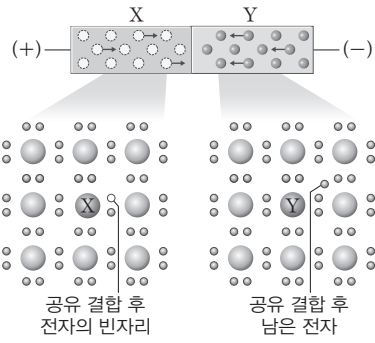
- ㄴ. B 다이오드에는 순방향 바이어스가 걸리므로 R_B 에는 전류가 흐른다.
 ㄷ. 역방향 바이어스가 걸리는 경우 주된 전하 운반체는 접합면과 멀어진다.

- 142 답 ① | ㄴ. Y는 n형 반도체로, 원자가 전자가 5개인 불순물을 순수 반도체에 도핑하여 만든 것이다.

오답 피하기

- ㄱ. 주된 전하 운반체가 양공이므로 p형 반도체이다.
 ㄷ. 순방향 바이어스가 걸린 다이오드(LED)에서 X에 있는 양공과 Y에 있는 전자는 접합면 쪽으로 이동한다.

문제 속 자료 순방향 전압에서 전하의 이동



n형 반도체에 첨가되는 불순물은 원자가 전자가 5개인 원소로 공유 결합을 하지 못한 전자가 전류의 흐름을 만드는 주된 전하 운반체가 된다. p형 반도체에 첨가되는 불순물은 원자가 전자가 3개인 원소로 공유 결합을 하지 못한 한 쌍에 생긴 양공이 전류의 흐름을 만드는 주된 전하 운반체가 된다. 또한 순방향의 전압이 걸리는 경우 각 반도체에 주된 전하 운반체는 p-n 접합면 쪽으로 이동한다.

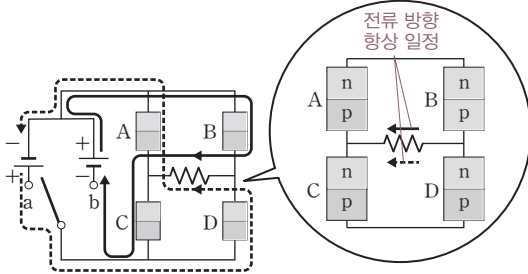
143 답 ③ | ㄱ. 스위치 a를 닫았을 때 A다이오드에는 순방향 전압이 걸리므로 X는 n형 반도체이다.

ㄴ. 스위치 b를 닫았을 때 C다이오드와 순방향 전압이 걸리므로 Y는 p형 반도체이고 양공이 주로 전류를 흐르게 한다.

오답 피하기

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때 저항에 흐르는 전류의 방향은 같다.

문제 속 자료 전파 정류 회로



p-n 접합 발광 다이오드에서 빛이 나오기 위해서는 순방향 전압이 걸려야 한다. p형 반도체에는 (+)극이 연결되고 n형 반도체에는 (-)극이 연결되는 경우가 순방향 전압이다.

- 스위치 a를 연결하였을 때 A와 D가 켜지므로 A의 X는 n형 반도체이고, D의 아랫 부분은 p형 반도체이다.
- 스위치 b를 연결하였을 때 B와 C가 켜지므로 B의 윗 부분은 p형 반도체이고, C의 아랫 부분은 n형 반도체이다.
- 저항 R에 흐르는 전류의 방향은 어느 방향의 전압을 걸어주어도 오른쪽에서 왼쪽으로 연결된다.

144 답 ⑤ | ㄴ. 태양 전지에 빛을 비추면 태양 전지 내부에서는 전자와 양공이 쌍으로 생성된다.

ㄷ. (나)에서 p-n 접합 다이오드에는 역방향 전압이 걸리므로 n형 반도체 내에 있는 전자는 p-n 접합면과 멀어지는 방향으로 이동한다.

오답 피하기

ㄱ. 태양 전지에 빛을 비추었을 때 순방향 전압이 걸린 것으로 보아 X는 p형 반도체이다.

145 답 ③ | ㄱ. 태양 전지는 빛에너지를 받아 전기 에너지로 변환한다.

ㄴ. 다이오드 A에 순방향 전압이 걸렸으므로 X는 p형 반도체이다.

오답 피하기

ㄷ. 다이오드 B는 역방향 전압이 걸렸으므로 n형 반도체 내 전자는 p-n 접합면과 멀어진다.

146 답 ③ | ㄱ. 디지털 카메라는 빛 신호를 전기 신호로 변환한다.

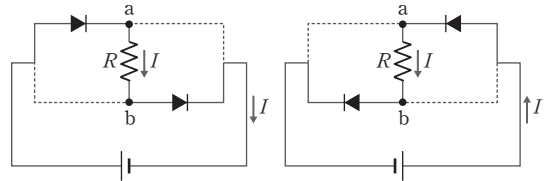
ㄴ. 주된 전하 운반체가 양공인 경우는 p형 반도체이다.

오답 피하기

ㄷ. 전자의 이동 방향은 전류 방향과 반대이다.

147 답 ③ | 교류 전원 장치에서 발생한 전류의 방향과 상관없이 R에 걸리는 전류 방향(a → R → b)은 같다.

문제 속 자료 다이오드 특성



다이오드는 역방향 전압은 차단하고 순방향 전압에서만 전류가 흐르는 정류 작용을 한다. 위와 같은 회로에서는 전원과 상관없이 저항 R에서 측정되는 전류의 방향은 항상 같고, 세기는 교류 전압에 따라 달라진다.

148 답 ① | ㄱ. A를 비출 때 전류가 흐르는 것으로 보아 광다이오드에서 A의 빛에너지가 전기 에너지로 전환된 것이다.

오답 피하기

ㄴ. 띠 간격 이상의 에너지가 주입된 경우 전이된 전자로 전류가 흐를 수 있다.

ㄷ. 빛에너지는 진동수와 비례하므로 빛의 세기를 증가시켜도 전류는 흐르지 않는다.

149 답 ② | ㄷ. 다이오드는 순방향 바이어스의 전류만 흐를 수 있으므로 교류를 직류로 바꾸는 정류 회로에 사용된다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 전구에 불이 켜지는 것으로 보아 순방향 바이어스가 걸려있음을 알 수 있으므로 A는 p형 반도체이다.

ㄴ. (나)에서 다이오드에 역방향 바이어스가 걸리므로 전구에는 불이 들어오지 않는다.

150 답 ④ | ㄴ. 전류는 a 방향으로 흐른다.

ㄷ. 태양 전지는 태양으로부터 받은 빛에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치로써 태양광 발전에 이용된다.

오답 피하기

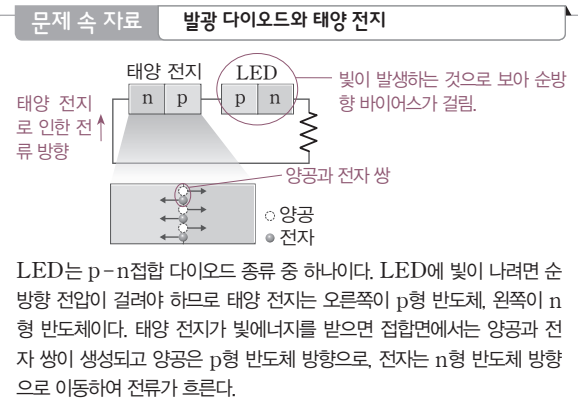
ㄱ. 접합면에서 발생한 전자와 양공이 각각 (가), (나) 쪽으로 이동하는 것으로 보아 (가)는 n형 반도체이다.

151 답 ① | 그림과 같은 회로에서 LED에 순방향 전압이 걸리면 n형 반도체의 전자와 p형 반도체의 양공이 각각 p-n 접합면 쪽으로 이동하여 결합하고, 띠 간격에 해당하는 에너지를 빛으로 방출한다. 이때 회로에는 a 방향으로 전류가 흐른다.

152 답 ③ | ㄱ. LED에서 빛이 방출되기 위해서는 순방향 바이어스가 걸려야하므로 A와 B는 각각 n형 반도체와 p형 반도체이고 빛에너지로 발생된 태양 전지 내에 전자와 양공 쌍 중 전자는 p-n 접합면에서 A 쪽으로 이동한다.
ㄴ. LED의 p-n 접합면에서 전자와 양공이 결합하여 빛을 발생한다.

오답 피하기

ㄷ. 다이오드는 순방향 바이어스에 의한 전류만 흐르기 때문에 극을 바꾸면 LED는 빛을 방출하지 않는다.



153 답 ② | ㄴ. (다)의 실험 결과 나침반의 회전 각이 커졌으므로 나침반에 작용하는 자기장의 세기가 커졌다. 도선에 흐르는 전류의 세기가 커질수록 나침반이 받는 자기장의 세기도 커지므로 (다)에서 가변 저항기의 저항값은 감소하였다.

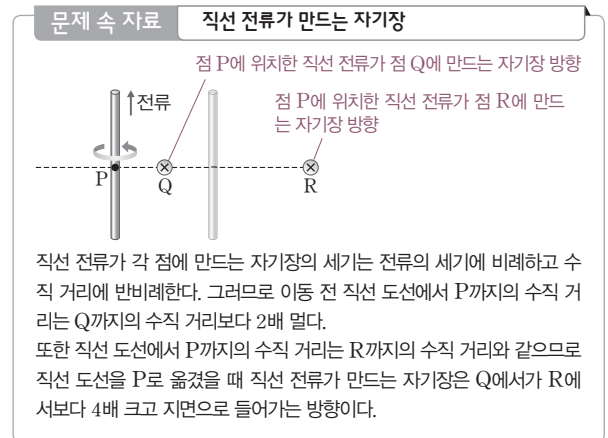
오답 피하기

ㄱ. 도선에 전류가 흐를 때 나침반이 왼쪽으로 자기장을 받기 때문에 오른손 법칙에 의해서 전류의 방향은 북쪽이라는 것을 알 수 있다. 그러므로 전원 장치의 단자 a는 (+)극이다.
ㄷ. (라)의 실험 결과 (다)의 실험 결과에 비해 나침반의 회전 각이 작아졌다. 자기장의 세기와 수직 거리는 반비례 관계이므로 (라)에서 거리는 증가하였다.

154 답 ② | ㄴ. 직선 도선을 P로 평행하게 이동했을 때 Q에서 자기장 방향은 xy 평면에서 수직으로 들어가는 방향이다.

오답 피하기

ㄱ. 전류에 의한 자기장의 세기는 수직 거리와 반비례 관계이므로 직선 도선에서 Q까지의 수직 거리를 r 이라고 하면 자기장의 세기를 통해 직선 도선에서 P까지는 $2r$, 직선 도선에서 R까지는 $2r$ 임을 알 수 있다. 그러므로 P에서 R까지의 수직 거리는 P에서 Q까지 거리의 4배이다.
ㄷ. 직선 도선이 $2r$ 보다 더 멀어지므로 자기장의 세기는 $0.5B_0$ 보다 작아진다.



155 답 ② | ㄴ. 전류가 만드는 자기장의 세기는 전류에 비례하고 수직 거리에 반비례한다. 점 a에 만들어지는 합성 자기장의 세기가 점 c보다 크므로 도선 P에 흐르는 전류의 세기가 도선 Q에 흐르는 전류의 세기보다 더 크다.

오답 피하기

ㄱ. 도선 P와 Q가 점 a와 점 c에 만드는 합성 자기장의 방향으로 보아 도선 P와 Q에 흐르는 전류는 xy 평면을 뚫고 올라가는 방향으로 같다.
ㄷ. 도선 P에 흐르는 전류의 세기가 더 크고 두 도선이 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 점 b에서 합성 자기장은 $+y$ 방향이다.

156 답 ④ | 영희: 저항값이 감소하면 원형 도선에 흐르는 전류의 세기가 커지므로 전류에 의한 자기장의 세기도 커져 북쪽 방향과 이루는 각은 45° 보다 커진다.

민수: 도선과 연결된 극을 바꾸면 전류의 방향도 반대로 바뀌므로 전류에 의한 자기장의 방향은 서쪽으로 바뀐다.

오답 피하기

철수: 나침반의 N극이 동쪽으로 기울기 위해서는 서쪽에서 동쪽으로 자기장이 만들어져야 하므로 원형 도선에 흐르는 전류 방향은 시계 반대 방향이다.

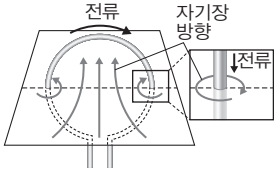
157 답 ④ | ㄱ. 오른손 법칙을 통해 전류의 방향은 b임을 알 수 있다.

ㄴ. 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례한다.

오답 피하기

ㄴ. 자기장의 방향은 O에서와 P에서 다르므로 나침반의 N극이 가리키는 방향도 다르다.

문제 속 자료 원형 도선이 만드는 자기장



원형 도선이 만드는 자기장은 오른손 법칙을 따른다. 원형 도선에 의한 자기장 방향은 원형 도선이 여러 개의 작은 직선 도선 조각들로 이루어져 있다고 생각했을 때 직선 전류에 의한 자기장의 방향으로 생각하면 쉽다.

158 답 ① | ㄱ. 원형 도선에 의한 자기장은 지면으로 들어가는 방향이다. 여기서 A에서의 합성 자기장이 0이므로 직선 도선에 의한 자기장은 지면에서 나오는 방향이다. 그러므로 ①은 $-y$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. $+y$ 방향으로 흐르는 직선 전류에 의한 자기장 방향은 지면으로 들어가는 방향이므로 ①은 지면으로 들어가는 방향이고, ②은 $-y$ 방향으로 흐르는 직선 전류에 의한 자기장의 세기가 원형 전류에 의한 자기장의 세기보다 크기 때문에 합성 자기장의 방향은 직선 도선에서 만든 자기장의 방향과 같으므로 지면에서 나오는 방향이다.

ㄴ. ②은 B_0 보다 작다.

159 답 ③ | ㄱ. 전류는 (+)극에서 (-)극방향으로 흐르므로 코일에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 방향은 오른손 법칙을 따라 동 \rightarrow 서이다.

ㄴ. 전원 장치에 연결된 a와 b의 위치를 바꾸면 전류의 방향도 반대로 바뀌므로 코일이 만드는 자기장의 방향도 반대로 바뀐다. 따라서 자침의 N극이 회전하는 방향은 q이다.

오답 피하기

ㄴ. 가변 저항기의 저항을 올리면 전류의 세기가 작아지므로 코일이 만드는 자기장의 세기도 작아진다. 따라서 자침의 N극이 회전하는 각도는 (다)에서가 (나)에서보다 작다.

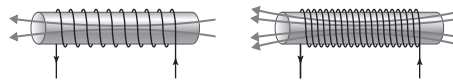
160 답 ② | ㄴ. 점 P와 Q에서 자기장의 방향은 왼쪽으로 같다.

오답 피하기

ㄱ. 화살표 방향으로 전류가 흐를 때 솔레노이드 A의 오른쪽은 S극이 되고 솔레노이드 B의 왼쪽은 N극이 되므로 A와 B 사이에는 인력이 작용한다.

ㄴ. 솔레노이드가 만드는 자기장의 세기는 단위 길이당 감은 수에 비례하므로 B 내부에서 자기장의 세기가 A보다 크다.

문제 속 자료 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 자기장



솔레노이드에 의한 자기장은 전류의 세기에 비례하고 단위 길이 당 도선을 감은 수에 비례한다. 또한 자기장의 방향은 솔레노이드에 흐르는 전류 방향을 오른손 네 손가락으로 감아질 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다.

161 답 ⑤ | ㄴ. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아질 때 엄지손가락이 가리키는 방향이다. 나침반의 자침의 N극은 자기장의 방향을 가리키므로 Q점에서 자침의 N극은 $+x$ 방향을 가리킨다.

ㄴ. 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 세기는 전류의 세기와 비례한다.

오답 피하기

ㄱ. 전류는 '+'에서 '-' 방향으로 흐르므로, 솔레노이드에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 방향은 $+x$ 이다.

162 답 ③ | ㄱ. (나)에서 클립에 반응한 모습을 보아 B는 자성을 가지고 있고 A는 자성을 잃은 것을 알 수 있다.

ㄴ. 클립은 자성체이므로 B에 의해 자기화되었다.

오답 피하기

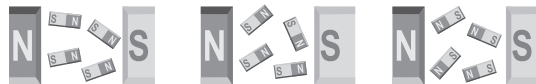
ㄴ. 자석에 가까이 했을 때 약하게 밀려나고 외부 자기장이 없어졌을 때 자성이 없어지는 물질은 반자성체이다.

163 답 ⑤ | ㄱ. 강자성체는 외부 자기장 방향으로 강하게 자기화되므로 P는 N극이다.

ㄴ. A를 외부 자기장이라고 했을 때, B는 상자성체이므로 외부 자기장 방향으로 자기화된다. 그러므로 점 O에서의 자기장 방향은 $+x$ 이다.

ㄴ. B는 상자성체이므로 A와 B사이에는 인력이 작용한다.

문제 속 자료 물질의 자성



▲ 강자성체

▲ 상자성체

▲ 반자성체

• 강자성체

외부 자기장을 가했을 때 외부 자기장의 방향으로 강하게 자기화되어 자석에 잘 붙는다. 외부 자기장을 제거해도 자석의 효과가 오래 유지된다.

• 상자성체

외부 자기장의 방향으로 약하게 자기화되어 자석에 약하게 붙는다. 외부 자기장이 제거되면 자석의 효과가 즉시 사라진다.

• 반자성체

외부 자기장을 가했을 때 외부 자기장의 방향과 반대로 자기화되어 자석에 붙지 않는다. 외부 자기장이 제거되면 자석의 효과가 즉시 사라진다.

164 답 ② | ㄴ. 오른손 법칙에 따라 솔레노이드에 I 방향으로 전류가 흐를 때 p에서 자기장의 방향은 b이다.

오답 피하기

ㄱ. A를 넣었을 때 솔레노이드에 클립이 끌려온 것으로 보아 전류로 인한 자기장의 세기가 커진 것을 알 수 있다. 그러므로 A는 상자성체 혹은 강자성체이다.
 ㄷ. 솔레노이드 내부에 강자성체(혹은 상자성체)를 넣으면 자기장의 세기는 커진다.

165 답 ④ | ㄴ. S극이 가까워지는 것을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 전류의 방향은 ④와 반대이다.

ㄷ. N극이 멀어지는 것을 방해하기 위해 고리의 밑은 S극으로 유도 된다. 때문에 막대자석과 고리 사이에는 서로 당기는 힘이 작용한다.

오답 피하기

ㄱ. 유도 전류는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 된다. q지점을 통과하는 순간 자석의 윗면이 멀어지는 것을 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하므로 윗면은 N극이다.

문제 속 자료 유도 전류

(가) (나)

자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류 발생 (운동 $E \rightarrow$ 전기 E)

(가) 막대자석이 q를 지나 금속 고리와 멀어지는 운동을 하면 금속 고리를 지나는 자기 선속이 감소하게 되는데 이때 금속 고리에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향인 ⑥방향으로 전류가 흐르게 된다. → 막대자석의 윗면은 N극이다.
 따라서 금속 고리의 아래 부분은 S극이 되므로 자석이 자유 낙하 운동을 방해한다.

(나) 막대자석의 S극이 p를 지나 금속 고리와 가까워지는 운동을 하면 금속 고리를 지나는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르게 되는데 이때 방향은 ③의 반대 방향이다.
 따라서 금속 고리의 윗 부분이 S극이 되므로 자석의 자유 낙하 운동을 방해한다.

166 답 ④ | ㄱ. X에는 자석이 멀어지는 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하므로 유도 전류의 방향은 b이다.

ㄷ. Y와 막대자석 사이에는 막대자석의 운동을 방해는 척력이 작용한다.

오답 피하기

ㄴ. 자석이 가까워지므로 자기 선속은 증가한다.

167 답 ① | ㄱ. 자석의 속도가 클수록 원형 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 커지므로 유도 전류의 세기는 내려올 때가 더 작다.

오답 피하기

ㄴ. 자석이 올라갈 때 원형 도선 아래쪽에는 N극이 유도되고, 자석이 내려올 때 원형 도선 아래쪽에는 S극이 유도된다.
 ㄷ. 자석이 올라갈 때 자석과 A 사이에는 척력이 발생하고, 자석이 내려갈 때 자석과 A 사이에는 인력이 발생한다.

168 답 ③ | ㄱ. 자석이 원형 도선에 가까워지므로 원형 도선에는 자석에 의한 자기 선속이 증가한다.

ㄷ. 원형 도선에는 강자성 막대가 멀어지는 것을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르므로 원형 도선과 강자성 막대 사이에는 인력이 작용한다.

오답 피하기

ㄴ. 자석에 의해 강자성 막대의 아래는 N극으로 위는 S극으로 자화된다. 이렇게 자화된 강자성 막대를 원형 도선에서 멀어지는 방향으로 움직이면 원형 도선에는 이 운동을 방해하는 ④ 반대 방향으로 전류가 흐른다.

169 답 ⑤ | ㄱ. 자석을 솔레노이드에 가까이 가져가면 솔레노이드를 통과하는 자기 선속이 증가하므로 이 변화를 방해하는 방향으로 자기력이 발생하고 척력이 작용한다.

ㄴ. N극을 솔레노이드에 가까이 가져갈 때 검류계 바늘이 a 방향으로 움직이므로 S극을 솔레노이드에 가까이 하면 전류는 반대 방향으로 유도되어 바늘은 b 방향으로 움직인다.

ㄷ. 솔레노이드를 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 전류가 발생하는 것은 전자기 유도 현상이다.

170 답 ① | ㄱ. 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하므로 전류는 a → 저항 → b 방향으로 흐른다.

오답 피하기

ㄴ. 자석의 운동 에너지는 전기 에너지로 전환되기 때문에 속력이 줄어들어 p에서의 속력은 q에서보다 크다.

ㄷ. 자석이 q를 지날 때 솔레노이드 오른쪽은 N극이 된다. 그러므로 자기장의 방향은 p → q이다.

171 답 ⑤ | ㄱ. 자석 A가 솔레노이드에서 멀어지는 방향으로 운동하므로 A에 의한 자기 선속은 감소한다.

ㄴ. 자석 A의 운동을 방해하는 방향으로 솔레노이드에 유도 전류가 흐르므로 유도 전류의 방향은 q → 저항 → p이다.

ㄷ. 자석 A의 운동으로 솔레노이드 오른쪽은 N극이 된다. 이때 자석 B에 척력이 작용하므로 ⑤은 S극이다.

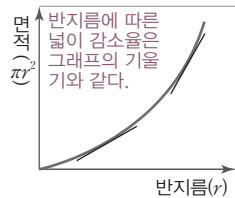
172 답 ② | ㄴ. 자석의 운동 에너지는 전기 에너지로 전환되기 때문에 속도가 줄어들어 a를 지날 때가 b를 지날 때보다 빠르다. 그러므로 자석의 운동으로 유도되는 전류의 세기는 a를 지날 때가 더 크다.

오답 피하기

- ㄱ. 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하므로 자석이 a를 지날 때와 b를 지날 때 유도 전류의 방향이 서로 다르다.
- ㄴ. 자석이 a를 지날 때는 척력을 받고 b를 지날 때는 인력을 받으므로 힘의 방향은 같다.

- 173 답 ②** | 유도되는 기전력의 크기는 시간당 자기장의 변화에 비례하여 세기가 결정되는데 원형의 반지름이 일정하게 감소하고 있으므로 넓이의 감소율은 작아진다. (넓이: πr^2) 그러므로 기전력의 크기는 점점 작아지고 방향은 자기장 감소를 방해하는 ⑥ 방향으로 흐른다.

문제 속 자료 원형 도선에 유도되는 전류



원형의 금속선을 통과하는 자기장의 변화율은 원의 넓이에 따라 달라진다. 넓이 πr^2 는 r 이 변수이다. r 의 크기가 작아지면 넓이 변화율(기울기)이 감소하는 것을 알 수 있다.

- 174 답 ①** | ㄱ. 1초일 때 도선이 II에 걸린 면적을 지나는 자기장의 세기가 작아지므로 자기장 세기의 변화를 방해하는 방향인 시계 방향으로 유도 전류가 발생한다.

오답 피하기

- ㄴ. 3초일 때나 5초일 때나 도선을 지나는 자기장의 세기가 일정하게 작아지므로 유도 전류의 방향은 같다.
- ㄷ. 1초일 때 II의 시간당 자기장 세기 변화율과 5초일 때 I의 시간당 자기장 세기 변화율의 크기는 같다. 하지만 II가 I보다 2배 더 크기 때문에 전체 직사각형 도선으로 봤을 때는 1초일 때 자기장 변화율이 더 크다. 그러므로 도선에 유도되는 전류의 세기는 1초일 때가 5초일 때보다 크다.

- 175 답 ②** | ㄴ. t_0 일 때 순방향 전류가 흐르므로 X는 n형 반도체이다.

오답 피하기

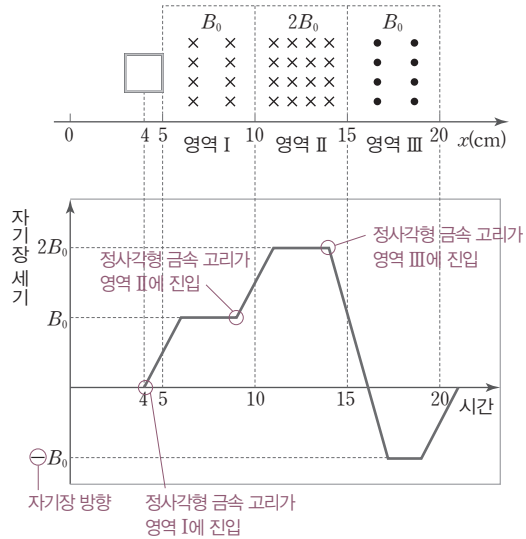
- ㄱ. 회로를 통과하는 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 발생하므로 '저항→Y→X' 방향으로 흐른다.
- ㄷ. $3t_0$ 일 때 다이오드에는 역방향 전압이 걸리므로 전류는 흐르지 않는다.

- 176 답 ④** | ㄴ. 13초일 때 정사각형 금속 고리를 통과하는 자기장은 변하지 않으므로 P에 유도되는 전류는 0이다.
- ㄷ. 자기장의 변화는 15초일 때가 10초일 때보다 크므로 유도 전류의 세기는 15초일 때가 10초일 때보다 크다.

오답 피하기

- ㄱ. 5초일 때 정사각형의 중심은 $x = 5 \text{ cm}$ 를 지나는데 이때 정사각형을 통과하는 자기장의 세기는 수직으로 들어가는 방향으로 증가하므로 도선에는 자기장 세기 변화를 방해하는 방향인 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

문제 속 자료 자기장의 변화를 그래프로 전환



한 변의 길이가 2 cm인 정사각형 금속 고리가 1 cm/s의 속력으로 운동할 때 금속 고리를 통과하는 자기장 세기가 변하는 시점은 영역 I을 진입하는 4초부터 금속 고리가 완전하게 들어오는 6초까지이다. 그 이후 I→II, II→III를 지날 때 마다 자기장 세기의 변화가 생긴다.

- 177 답 ⑤** | ㄱ. ㄴ. 마이크의 진동판에 소리로 인한 공기의 진동이 작용하면 그 진동은 진동판에 붙어 있는 코일과 자석의 상대적 운동을 만든다. 또한 그 운동으로 유도 전류가 발생하는데 이는 마이크가 소리 신호를 전기 신호로 변환하는 것이다.
- ㄷ. 스피커에서는 마이크와 반대로 전류가 만드는 자기장 세기의 변화로 진동판을 진동시켜 같은 진동수의 소리를 발생시킨다.

- 178 답 ②** | 마이크는 소리 신호를 전기 신호로 변환시키는데, 이 과정은 패러데이 법칙으로 설명할 수 있다.

- 179 답 ⑤** | ㄴ. 전류의 방향을 바꾸면 그로 인한 자기장 방향도 바뀌므로 저장 물질의 자기화 방향이 바뀐다.
- ㄷ. 플래터의 정보 저장 물질은 강자성체이다.

오답 피하기

- ㄱ. 정보를 저장하고 기록하는 장치인 하드 디스크는 강자성체로 만들어져 연결된 전원을 꺼도 정보가 사라지지 않는다.

- 180 답 ④** | ㄱ. 휴대 전화 내부 코일을 통과하는 자기장 세기의 변화를 방해하는 방향으로 유도 기전력(전류)이 발생한다.
- ㄷ. 휴대 전화 무선 충전은 전자기 유도 현상을 이용한다.

오답 피하기

- ㄴ. 유도 전류는 자기장의 변화를 방해하는 방향으로 유도되므로 a 방향으로 흐른다.

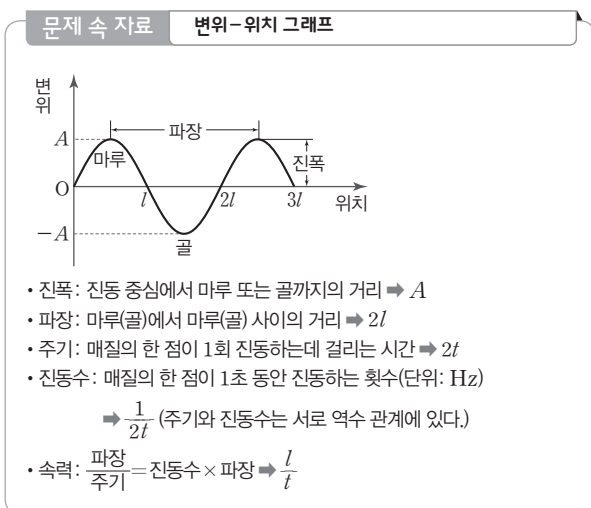
181 답 ④ | (가)는 변위-위치 그래프로, 파장과 진폭을 구할 수 있고, (나)는 변위-시간 그래프로, 주기를 알 수 있다.

ㄴ. 파장은 마루(골)에서 마루(골) 사이의 거리이므로 (가)에서 이 파동의 파장은 $2l$ 이다.

ㄷ. 주기는 그림 (나)에서 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간으로 확인한다. 파장이 $2l$ 이고 주기가 $2t$ 이므로 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{l}{t}$ 이다.

오답 피하기

ㄱ. 파동의 진폭은 평형 위치에서부터의 최대 변위까지의 크기이다. 평형 위치로부터 최대 변위가 A 이므로 파동의 진폭은 A 이다.



182 답 ⑤ | ㄴ. 그림 (나)는 진폭이 3 cm이므로 파동 B의 변위-위치 그래프임을 알 수 있다. 따라서 B의 파장은 1 m이다. 또한 그림 (가)에서 B 파동의 주기는 1초이다.

ㄷ. 파동의 진행 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$ 이다. 따라서 B의 속력은 1 m/s이고, 문제에서 진행 속력은 A가 B의 2배라고 했으므로, A의 진행 속력은 2 m/s이다.

오답 피하기

ㄱ. (가)에서 2초 동안 A는 3회 진동하였고, B는 2회 진동하였다. 따라서 파동의 진동수는 A는 $\frac{3}{2}$ Hz, B는 $\frac{2}{2}$ Hz이고 A의 진동수는 B의 1.5배이다.

183 답 ⑤ | ㄴ. 마루에서 마루까지의 거리가 파장이다. 마루에서 마루까지 거리는 B가 A의 2배이므로 파장은 B가 A의 2배이다.

ㄷ. 파동의 속력은 파장과 진동수의 곱이다. 문제에서 A, B는 주기가 같으므로, 주기의 역수인 진동수도 같다. ㄴ에서 파장은 B가 A의 2배이므로 파동의 속력은 B가 A의 2배이다.

오답 피하기

ㄱ. 문제에서 두 파동의 주기가 같다고 하였다. 따라서 두 파동의 진동수(주기 = $\frac{1}{\text{진동수}}$) 또한 같다.

184 답 ⑤ | 파동의 변위-거리 그래프(가)에서 이 파동의 파장은 4 cm이고, 변위-시간 그래프(나)에서 이 파동의 주기는 2초이다. 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$ 이므로 이 파동의 속력은

$$\frac{4 \text{ cm}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ cm/s} \text{이다.}$$

또한 A가 그림 (가)의 위치에서 움직이기 시작할 때 (나)에서 0~1초 동안 A의 변위는 (-) 방향이다. 즉, 그림 (가)에서 파동이 어느 방향으로 수평 이동했을 때 A의 변위가 (-)가 되는지를 살펴보면 왼쪽이다. 즉, 이 파동은 시간에 따라 왼쪽으로 진행하였다.

185 답 ① | ㄱ. 변위-위치 그래프의 마루에서 인접한 마루까지의 거리가 파동의 파장이다. 파장은 A가 B보다 작다.

오답 피하기

ㄴ. 진동 중심에서 최대 변위까지의 거리가 진폭이므로 진폭은 A가 B보다 크다.

ㄷ. 파동의 속력은 $v = \frac{\lambda}{T}$ 이다. 문제에서 A와 B의 속력은 같다고 하였고, ㄱ에서 파장(λ)은 A가 B보다 작으므로 주기(T)도 A가 B보다 작다.

186 답 ⑤ | ㄴ. 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$ 이고, 문제에서 주기가 T 이므로 속력은 $\frac{2L}{T}$ 이다.

ㄷ. 매질의 한 점은 1회 진동하는 동안 '진동 중심-마루-진동 중심-골-진동 중심'을 반복한다. 문제의 파동은 주기 T 동안 이 과정을 따라 진동하며, $\frac{T}{2}$ 동안에는 그 절반을 진동한다. 따라서 $\frac{T}{2}$ 시간 후 마루는 골이 된다.

오답 피하기

ㄱ. 이웃한 마루와 마루 사이의 거리가 파장이므로 파장은 $2L$ 이다.

187 답 ⑤ | 음파가 공기 중으로 전달될 때 매질은 공기가 되며, 물체의 진동이 공기로 전달되어 공기 입자를 진동시키면서 소리가 전달된다. 음파는 공기 입자의 분포가 뭉뻑해지거나 성겨지면서 진동이 전달되는 종파이다.

ㄱ. 소리는 종파이므로 소리의 진행 방향과 매질인 공기의 진동 방향이 나란하다. 즉, 그림에서 뭉뻑한 부분과 성긴 부분의 진동 방향이 소리가 전달되는 방향과 나란하다.

ㄴ. 종파에서 파장은 밀(소)에서 이웃한 밀(소)까지의 거리이다. 즉, 문제의 L 은 이 음파의 파장이다.

회절은 파동이 좁은 틈이나 장애물의 가장자리를 지날 때 좁은 틈이나 장애물의 가장자리를 돌아서 휘어져 나가는 현상이다. 이때 틈이 좁을수록, 장애물의 크기가 작을수록, 파장이 길수록 회절이 잘 된다.

ㄷ. 공기 중에서 소리의 속력이 일정하며(같은 매질에서 파동의 속력은 일정하므로), 파동의 속력은 '진동수 \times 파장'으로 구한다. 따라서 진동수가 커지면 파장은 짧아진다.

188 답 ③ | ㄱ. 주기는 진동수의 역수이며, 문제에서 물의 깊이에 관계없이 진동수가 f 로 같으므로 (나)에서 물결파의 주기는 $\frac{1}{f}$ 이다.

ㄴ. 물결파에서 밝은 무늬 사이의 간격이 파장이다. 물의 깊이에 따라 물결파 무늬를 비교했을 때 깊은 물에서 물결파의 파장이 더 길다. 파동의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}}$ 으로 구해지며, 주기가 같으므로(진동수가 같으므로) 파장이 긴 깊은 물에서 진행하는 파동의 속력이 파장이 짧은 얕은 물에서보다 빠르다. 즉, 물결파는 수심이 깊을수록 더 빨리 진행한다.

오답 피하기

ㄷ. 매질의 종류가 같을 때 파동의 속력은 일정하다. 물결파에서는 물의 깊이가 매질의 종류가 된다. 물의 깊이를 일정하게 했으므로 파동의 속력은 일정하다. 속력이 일정할 때 진동수를 증가시키면 파장은 짧아진다(파동의 속력 = 진동수 \times 파장). 즉, 밝은 무늬 사이의 간격은 감소한다.

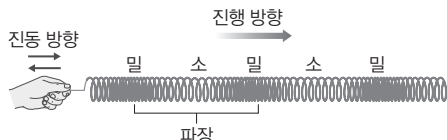
189 답 ③ | ㄱ. 종파는 파동의 진행 방향이 매질의 진동 방향과 나란하다. 문제의 A와 B는 모두 종파이다.

ㄴ. 종파에서 파장은 밀(소)한 곳에서 다음 밀(소)한 곳까지의 거리이다. 파장은 A가 B보다 길다.

오답 피하기

ㄷ. 파동의 속력은 '진동수 \times 파장'이다. 문제에서 동일한 진동수로 진동시켰으며, 파장이 A가 더 길므로, 파동의 속력은 A가 B보다 빠르다.

문제 속 자료 종파의 파장



종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란하다. 종파는 매질이 성긴 부분(소)과 뻥뻥한 부분(밀)이 반복되며 진행하고, 밀(소)에서 밀(소)까지의 거리가 파장이다.

190 답 ① | 문제의 (가), (나)에서 빛이 A \rightarrow B로 갈 때와 A \rightarrow C로 갈 때를 비교해 보면 입사각은 같지만 C로 들어갈 때보다 B로 들어갈 때보다 더 많이 굴절된다. 굴절률이 클수록 빛이 더 많이 꺾이므로 굴절률의 크기는 $C > B > A$ 이다.

ㄱ. (가)에서 빛이 A에서 B로 진행할 때, 입사각보다 굴절각이 작으므로 굴절률은 A가 B보다 작다.

오답 피하기

ㄴ. 파동의 속력은 굴절률이 클수록 느려진다. 굴절률은 C가 B보다 크므로 단색광의 속력은 C에서가 B에서보다 작다.

ㄷ. 굴절 법칙을 적용하여 식을 세워 보자. 공기, A, B, C의 굴절률을 각각 $n_{\text{공기}}$, n_A , n_B , n_C 라 하고, (가)에서 A에서 B로 진행할 때의 굴절각을 θ_B 라고 하면 굴절 법칙에 따라 다음이 성립한다.

$$n_A \sin \theta_0 = n_B \sin \theta_B = n_{\text{공기}} \sin \theta_1 \quad \cdots \cdots ①$$

(나)에서 A에서 C로 진행할 때의 굴절각을 θ_C 라고 하면 굴절 법칙에 따라 다음이 성립한다.

$$n_A \sin \theta_0 = n_C \sin \theta_C = n_{\text{공기}} \sin \theta_2 \quad \cdots \cdots ②$$

두 식 ①, ②에서 $\theta_1 = \theta_2$ 이다.

191 답 ② | 단색광이 '공기 \rightarrow A'로 진행할 때 '입사각 $>$ 굴절각'이므로 굴절률은 '공기 $<$ A'이다. 단색광이 A \rightarrow B로 이동할 때는 '입사각 $<$ 굴절각'이므로 굴절률은 'A $>$ B'이다. 즉, 굴절률의 크기는 'A $>$ B $>$ 공기'이다.

ㄴ. 단색광이 굴절될 때, 단색광의 속력은 법선과 이루는 각이 큰 매질(굴절률 小)에서가 법선과 이루는 각이 작은 매질(굴절률 大)에서보다 빠르다. 즉, 단색광의 속력은 굴절률에 반비례하며, 파동은 굴절률이 큰 매질로 갈수록 느려진다. 따라서 법선과 이루는 각이 작은 A의 굴절률 n_1 이 B의 굴절률 n_2 보다 크다.

오답 피하기

ㄱ. 단색광의 속력은 굴절률이 클수록 느려지므로 공기 중에서가 A에서보다 빠르다.

ㄷ. 단색광이 굴절될 때 단색광의 속력은 파장에 비례한다. 즉, 속력이 크면 파장도 길고, 속력이 작으면 파장도 짧다. 또한 파동의 속력은 굴절률이 클수록 느려지므로 매질 사이의 굴절률, 속력, 파장을 비교하면 다음과 같다.

- 굴절률 : A $>$ B $>$ 공기
 - 속력 : A $<$ B $<$ 공기
 - 파장 : A $<$ B $<$ 공기
- } 서로 반비례 관계
} 서로 비례 관계

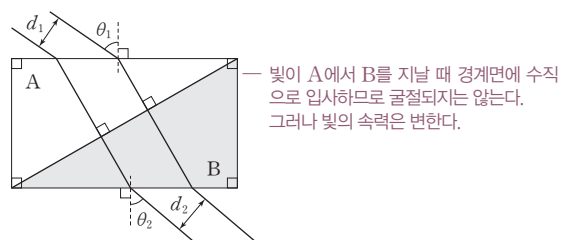
192 답 ① | ㄱ. 파동의 속력은 굴절률이 클수록 느려진다. 빛이 공기 중에서 A로 진행할 때, 입사각(θ_1)보다 굴절각이 작으므로 빛의 속력은 공기 중에서가 A에서보다 크다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. 평행한 두 광선이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 굴절되는 정도가 클수록 평행 광선 사이의 간격 변화가 커진다. $d_1 < d_2$ 이므로 빛이 '공기 → A'로 진행할 때 굴절되는 정도가 빛이 'B → 공기'로 진행할 때 굴절되는 정도보다 크다. 따라서 $\theta_1 > \theta_2$ 이다.

공기 중에서 A로 진행할 때 굴절각을 r 라고 하면, B에서 공기 중으로 진행할 때의 입사각도 r 이다(엇각). 따라서 굴절 법칙을 적용하면, $n_{\text{공기}} \sin \theta_1 = n_A \sin r$, $n_B \sin r = n_{\text{공기}} \sin \theta_2$ 이고, $\theta_1 > \theta_2$ 이므로 굴절률은 A가 B보다 크다.

문제 속 자료 빛의 굴절



빛이 매질 A, B를 지날 때 두 평행광 사이의 간격을 d 라고 하면

• 빛이 'A → 공기'로 진행할 때 간격 차 = $d - d_1$

• 빛이 'B → 공기'로 진행할 때 간격 차 = $d - d_2$

이다. 이때 d 는 같고, $d_1 < d_2$ 이므로 빛이 'A → 공기'로 진행할 때 두 평행광 사이의 간격 변화가 크며, 간격 변화가 클수록 굴절률이 크다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

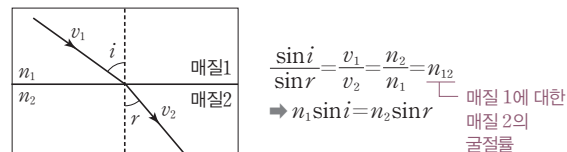
193 답 ⑤ | ㄱ. (가)에서 프리즘에서 매질 A로 빛이 진행할 때 입사각은 30° 이고 굴절각은 60° 이다. 굴절할 때 빛의 속력은 법선과 이루는 각이 큰 매질에서 더 빠르다. 따라서 단색광의 속력은 프리즘에서 A에서보다 작다.

ㄴ. (나)에서 빛이 프리즘에서 매질 B로 진행할 때 입사각은 30° 이고, 굴절각은 45° 이다. 스넬 법칙에 의해 $\sin 30^\circ : \sin 45^\circ = \lambda_{\text{프리즘}} : \lambda_B = 1 : \sqrt{2}$ 이다.

ㄷ. 프리즘, 매질 A, 매질 B의 굴절률을 각각 $n_{\text{프}}$, n_A , n_B 라고 하면, 그림 (가)에서 프리즘에 대한 매질 A의 굴절률은 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} = \frac{n_A}{n_{\text{프}}}$ 이고, 그림 (나)에서 프리즘에 대한 매질 B의 굴절률은 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{n_B}{n_{\text{프}}}$ 이다.

A에 대한 B의 굴절률은 $\frac{n_B}{n_A}$ 이므로, $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = \sqrt{\frac{3}{2}}$ 이다.

문제 속 자료 스넬 법칙



194 답 ④ | 물결파가 굴절할 때 파장은 매질 I → II로 진행하면서 짧아졌다. 파동의 파장이 짧아지면 속력은 느려지고, 굴절률은 커진다.

ㄱ. 파동의 속력 $v = f\lambda$ (f : 진동수, λ : 파장)이다. 파동의 진동수는 진행 도중 변하지 않고 일정하다. 따라서 물결파의 속력은 파장이 긴 I에서가 II에서보다 크다.

ㄷ. I, II에서 물결파의 속력을 각각 v_1 , v_2 라 하고, I, II에서 물결파의 파장을 각각 λ_1 , λ_2 라 할 때 매질 I에 대한 매질 II의 굴절률(n_{II})은 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다.

오답 피하기

ㄴ. 파동의 진동수는 파원에 의해 결정되며, 진행 도중 변하지 않는다. 따라서 I과 II에서 물결파의 진동수는 같다.

195 답 ③ | ㄱ. B는 매질 I과 매질 II의 경계면에서 반사된 파동이므로 입사파인 A와 파장이 같다. 이웃한 파면 사이의 거리가 파장이므로 A의 파장은 λ_1 이다.

ㄴ. 매질 I에서 파동의 파장은 λ_1 , 매질 II에서 파동의 파장은 λ_2 이므로 스넬 법칙에서 I에 대한 II의 굴절률은 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 파동이 속력이 다른 매질로 진행하거나 반사하더라도 파동의 진동수는 변하지 않는다. 따라서 진동수는 A, B, C가 모두 같다.

196 답 ② | 파동의 모양을 보면 파장은 A에서가 B에서보다 짧다. 즉, 파장은 굴절된 후 길어지며, '입사각 < 굴절각'이다. 따라서 파동이 수심이 얇은 곳(A)에서 깊은 곳(B)으로 진행하는 경우이다.

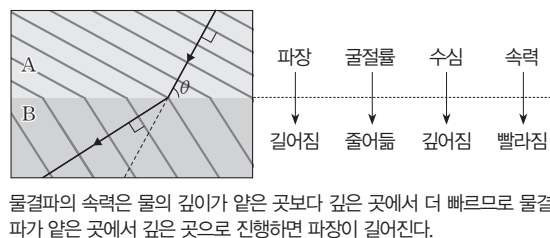
ㄴ. 파장이 길어진 것은 파동이 수심이 얇은 곳에서 깊은 곳으로 진행한 경우이다.

오답 피하기

ㄱ. 물결파의 속력은 수심이 깊을 때가 수심이 얇을 때보다 빠르다.

ㄷ. 입사각은 두 매질의 경계면과 수직인 선(법선)이 파동의 진행 방향과 이루는 각이다. 즉, 입사각은 $90^\circ - \theta$ 이다.

문제 속 자료 물결파의 굴절



물결파의 속력은 물의 깊이가 얇은 곳보다 깊은 곳에서 더 빠르므로 물결파가 얇은 곳에서 깊은 곳으로 진행하면 파장이 길어진다.

197 답 ③ | 해안가로 접근하는 파도는 수심에 따라 속력이 달라지면서 진행 방향이 변하게 되는데, 이것은 굴절과 관련된 현상이다. 즉, 파도가 해안으로 접근할 때 수심이 낮아지므로 속력이 느려진다. 물결파에서 수심은 매질의 종류에 해당하므로, 다른 종류의 매질로 입사할 때 파동은 굴절한다. 볼록 렌즈에 입사하는 빛은 렌즈와의 경계면에서 진행 방향이 굴절된다.

오답 피하기

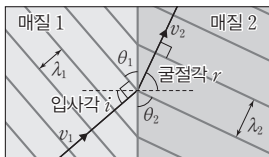
①, ②, ④, ⑤는 모두 파동의 반사에 해당하는 예이다.

198 답 ① | ㄱ. 그림은 물결파의 파면을 나타낸 것이다. 따라서 물결파가 진행하는 모습을 보려면 파면이 어떻게 움직이는지를 나타내어야 하며, 이것은 파면에 수직인 선으로 표시한다. 이렇게 파동의 진행을 선으로 표현한 후 입사각을 찾는다. 입사각은 파동이 경계면에 들어오는 방향과 경계면의 법선이 이루는 각이다. 문제와 같이 파면이 주어졌을 때 입사각은 파면과 경계면이 이루는 각(θ)과 같다.

오답 피하기

- ㄴ. 입사각이 θ_1 이고 굴절각이 θ_2 이므로 I에 대한 II의 굴절률은 $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ 이다.
- ㄷ. 파동이 굴절할 때 진동수는 변하지 않는다.

문제 속 자료 물결파의 굴절



파장은 파면 사이의 거리이다.

- 파동은 파면에 수직인 방향으로 진행한다.
- 매질 I에 대한 매질 II의 굴절률 n_{12} 는 다음과 같다.

$$n_{12} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

(i : 입사각, r : 반사각, v_1, v_2 : 매질 I, II에서 파동의 속도, λ_1, λ_2 : 매질 I, II에서 파장)

199 답 ④ | ㄱ. A에서 B로 단색광이 입사할 때 전반사가 일어나지 않으므로 임계각은 45° 보다 크다.

ㄷ. A에서 B로 단색광이 입사할 때 입사각이 굴절각(55°)보다 작으므로 굴절률은 'A > B'이고, B에서 C로 입사할 때 전반사가 일어나고, 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행할 때 일어나므로 굴절률은 'B > C'이다. 즉, 세 매질의 굴절률은 A > B > C이다.

오답 피하기

ㄴ. B에서 C로 단색광이 입사할 때 전반사가 일어나므로 굴절률은 B가 C보다 크다. 빛의 속력은 굴절률이 클수록 줄어든다. 따라서 단색광의 속력은 B에서 C에서보다 작다.

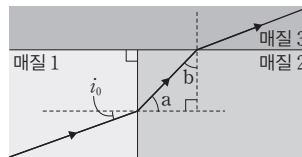
200 답 ① | ㄴ. 단색광이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 매질 1의 굴절률이 매질 2의 굴절률보다 크다. 그리고 단색광이 매질 2에서 매질 3으로 입사할 때 굴절각이 입사각보다 크므로 매질 3의 굴절률이 매질 2의 굴절률보다 작다. 따라서 굴절률의 크기는 '매질 1 > 2 > 3' 순이다.

오답 피하기

ㄱ. 매질 1의 굴절률이 매질 2의 굴절률보다 크고, 빛의 속력은 굴절률이 클수록 느려지므로 단색광의 속력은 매질 1에서 매질 2에서보다 느리다.

ㄷ. 매질 2와 3의 경계면에서 전반사가 일어나려면 입사각이 더 커져야 한다. 매질 1에서 단색광의 입사각을 현재보다 크게 하면 매질 2에서의 굴절각도 커지고, 이 각이 커지면 단색광이 매질 2에서 3으로 입사할 때의 입사각이 줄어든다. 즉, 전반사는 일어날 수 없게 된다.

문제 속 자료 입사각과 굴절각



매질 2와 3에서 전반사가 일어나려면 b가 임계각보다 커져야 한다.

- 빛이 매질 2 → 3으로 입사할 때 입사각 b는 $90^\circ - a$ 와 같다.
- 빛이 매질 1에서 2로 입사할 때, i_0 는 입사각, a는 굴절각이므로 i_0 가 증가하면 a도 커진다(입사각이 커지면 굴절각도 커짐).
- a가 증가하면 b($=90^\circ - a$)는 감소한다. b는 매질 2에서 3으로 입사하는 광선의 입사각이다.

201 답 ④ | ㄱ. 매질 I에서 진행하던 빛이 매질 II와의 경계에서 전반사했으므로 굴절률은 매질 I이 II보다 크고, A의 속력은 매질 I에서 II에서보다 작다.

ㄷ. 매질 III의 굴절률은 매질 II의 굴절률보다 작으므로 매질 I과 III의 굴절률 차이가 더 커지고 A의 임계각은 더 작아진다. 따라서 매질 I로 입사각 θ_i 로 입사시킨 단색광 A는 매질 I과 III의 경계에서 전반사한다.

오답 피하기

ㄴ. (가)에서 매질 I로 입사하는 A의 입사각이 0보다 크고 θ_i 보다 작으면 매질 I에서 II로 입사하는 A의 입사각이 임계각보다 커지므로 A는 매질 I과 II의 경계면에서 전반사한다.

202 답 ⑤ | ㄱ. Q가 전반사하였으므로 굴절률은 Y가 X보다 크다. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 진행할 때 일어난다.

ㄴ. 전반사는 '입사각 > 임계각'일 때 일어난다. P는 전반사가 일어나지 않았으므로 임계각이 θ_0 보다 크고, Q는 전반사가 일어났으므로 임계각이 θ_0 보다 작다.

ㄷ. 광섬유에서 굴절률은 코어가 클래딩보다 커야 한다. 따라서 굴절률이 큰 Y를 코어로, 굴절률이 작은 X를 클래딩으로 사용해야 한다.

203 답 ⑤ | ㄱ. 물줄기에서 전반사가 일어나므로 물의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크다. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 일어난다.

ㄷ. 광통신은 전반사의 원리를 이용한다.

오답 피하기

ㄴ. 임계각은 굴절각이 90° 일 때의 입사각이며, '입사각 > 임계각'일 때 전반사가 일어난다. i 는 입사각이고 전반사가 일어났으므로 임계각보다 크다.

204 답 ② | 마이크는 소리 신호를 전기 신호로, 발신기는 전기 신호를 빛 신호로, 광 검출기(수신기)는 빛 신호를 전기 신호로, 스피커는 전기 신호를 소리 신호로 전환시킨다.

205 답 ③ | 코어는 클래딩보다 굴절률이 크고, 코어와 클래딩 사이의 임계각이 클수록 두 매질의 굴절률 차이가 작다. 따라서 굴절률은 C가 A보다 크다.

206 답 ① | ㄱ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행할 때 일어난다. 따라서 굴절률은 A가 B보다 크다.

오답 피하기

ㄴ. '입사각 > 임계각'일 때 전반사가 일어난다. P점에서는 반사와 굴절이 같이 일어났으므로 빛은 전반사하지 않았고, 입사각은 임계각보다 작았다.

ㄷ. P에 입사한 빛 중 일부가 굴절되어 B로 진행하였으므로 반사된 빛의 세기는 입사한 빛보다 줄어든다.

207 답 ⑤ | ㄱ, ㄴ. A와 B에서 레이저의 세기가 같으므로 레이저는 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하였다. 따라서 굴절률은 코어가 클래딩보다 크다.

ㄷ. 광통신은 광섬유를 이용하여 신호를 전달한다.

208 답 ⑤ | ㄱ. 빛이 임계각보다 큰 각으로 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 입사할 때 전반사한다. 따라서 $n_1 > n_2$ 이다.

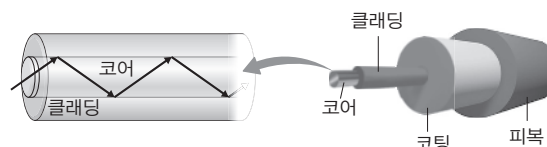
ㄷ. A가 i 보다 작은 각으로 입사하면 코어와 클래딩의 경계면에서 입사각의 크기가 증가하므로 A는 전반사한다.

오답 피하기

ㄴ. A가 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하였으므로 θ 는 코어와 클래딩 사이의 임계각보다 크다. 임계각은 굴절률이 90° 일 때의 입사각으로, 입사각이 임계각보다 클 때 전반사가 일어난다.

209 답 ② | P가 A에서 B로, B에서 C로 진행할 때 각각 굴절각이 입사각보다 크므로 굴절률은 $A > B > C$ 이다. 광섬유에서 코어의 굴절률은 클래딩의 굴절률보다 크고, 코어와 클래딩의 굴절률 차이가 클수록 임계각이 작으므로 코어는 A, 클래딩은 C이다. 코어가 A, 클래딩이 B일 때도 전반사가 일어나지만 'A-C'일 때보다 임계각이 커진다.

문제 속 자료 광섬유와 전반사



광섬유는 유리로 만들어진 가늘고 투명한 코어와, 코어를 감싸고 있는 클래딩의 구조로 되어 있다. 광섬유 내부로 빛을 입사시키면 빛은 굴절률이 큰 코어와 굴절률이 작은 클래딩의 경계에서 전반사하여 광섬유 밖으로 새어 나가지 않고 광섬유를 따라 멀리까지 이동할 수 있다. 광섬유 여러 가닥을 묶어서 만든 광케이블을 이용하면 대용량의 정보를 신속하게 전달하는 광통신이 가능하다.

210 답 ② | A, B, C의 굴절률을 비교해 보면 단색광이 A-B의 경계에서 전반사하므로 굴절률은 'B > A'이고, B-C의 경계면에서 굴절할 때 '입사각 < 굴절각'이므로 굴절률은 'B > C'이다.

ㄴ. 굴절률은 B가 C보다 크다. 굴절률이 클수록 단색광의 속력이 작아지므로 단색광의 속력은 B에서가 C에서보다 작다. 파동의 속력은 매질의 굴절률이 클수록 느려져 법선 쪽으로 더 많이 꺾인다. ➡ 굴절각이 줄어든다.

오답 피하기

ㄱ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로 임계각은 θ_1 보다 작다.

ㄷ. B에서 진행한 단색광이 같은 입사각으로 입사하였을 때 A와 B의 경계면에서는 전반사하고, B와 C의 경계면에서는 전반사하지 못하므로 A-B에서 임계각은 θ_1 보다 작고, B-C에서 임계각은 θ_1 보다 크다. 두 물질의 굴절률 차이가 클수록 임계각은 작아지므로 굴절률은 A가 C보다 작다(굴절률: $B > C > A$). 광섬유에서 굴절률은 클래딩이 코어보다 작으므로 클래딩은 A, 코어는 C이다.

211 답 ③ | ㄱ. 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 일어난다. 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하므로 코어의 굴절률(n_1)은 클래딩의 굴절률(n_2)보다 크다.

ㄴ. 단색광이 공기에서 코어로 진행할 때 굴절각은 입사각보다 작으므로 굴절률은 '공기 < 코어'이고, 단색광의 속력은 '공기 > 코어'이다.

오답 피하기

ㄷ. n_2 를 작게 하면 코어와 클래딩의 굴절률 차가 커져 임계각의 크기가 줄어든다. 따라서 코어에서 클래딩으로 빛이 진행할 때 전반사가 일어날 수 있는 입사각의 범위가 증가하게 된다. \Rightarrow 입사각이 작아도 전반사가 일어난다.

빛이 코어에서 클래딩으로 진행할 때 입사각은 $90^\circ - i$ 의 굴절각이다. 즉, i 가 커질수록 코어에서 클래딩으로 들어가는 빛의 입사각이 줄어든다. n_2 가 줄어들면 코어-클래딩 사이의 입사각이 줄어들어도 전반사가 일어나며, 이 입사각의 크기는 i 에 반비례한다. 즉, i 가 커져도 전반사가 일어나며, 코어와 클래딩 사이에서 전반사가 일어나기 위해 공기에서 코어로 입사하는 각의 최댓값 i_m 이 증가한다.

212 답 ⑤ | ㄱ. 자외선은 미생물을 죽이는 살균 기능이 있어서 식기 소독기에 이용되고, 자외선에 피부가 오래 노출되면 피부 노화가 촉진된다.

ㄴ. 전파의 파장은 X선의 파장보다 크다.

ㄷ. 진공에서는 전자기파의 종류에 관계없이 속력이 같다.

문제 속 자료 전자기파의 종류와 이용

- ① 전파(라디오파, 마이크로파)
 - 모든 전자기파 중에서 파장이 가장 길고 진동수가 가장 낮다.
 - 라디오파: 라디오, 텔레비전 등에서 정보를 전송하는 데 이용
 - 마이크로파: 전자레인지, 선박과 항공기의 운항을 추적하거나 날씨를 예측하는 데 필요한 레이더와 위성 통신에 이용된다.
- ② 적외선
 - 강한 열작용을 하여 열선이라고 부른다.
 - 리모컨, 자동문, 적외선 온도계, 적외선 카메라 등에 이용된다.
- ③ 가시광선
 - 전자기파 중에서 사람의 눈이 감지할 수 있는 영역
 - 조명, TV나 모니터와 같은 영상 장치, 레이저 포인터, 망원경이나 현미경과 같은 광학 장치 등에 이용된다.
- ④ 자외선
 - 살균 작용을 하여 식기 소독기 등에 이용된다.
 - 형광 작용이 있어서 형광등, 위조지폐 감별 등에 이용된다.
 - 자외선에 피부가 오래 노출되면 피부가 검게 타고 노화가 촉진된다.
- ⑤ X선
 - 투과력이 강해서 인체의 질병을 진단하거나 공항 등에서 물체의 내부를 알아보는 데 이용된다.
- ⑥ 감마(γ)선
 - 전자기파 중에서 파장이 가장 짧고 진동수와 에너지가 가장 크다.
 - X선보다 투과력이 강하며 에너지가 크기 때문에 감마선에 노출되면 매우 위험하다.
 - 암세포를 제거하는 방사선 치료에 이용된다.

213 답 ① | ㄱ. 마이크로파는 가시광선보다 파장이 길고, 진동수는 작다.

오답 피하기

ㄴ. 마이크로파의 파장은 X선의 파장보다 길다.

ㄷ. 진공에서 모든 전자기파의 속력은 같다. 따라서 진공에서는 마이크로파와 자외선의 속력이 같다.

214 답 ② | 문제에 제시된 그림은 진동수가 기준이다. 오른쪽으로 갈수록 진동수가 커지므로 파장은 짧아지고, 왼쪽으로 갈수록 진동수가 작아지므로 파장이 길어진다. 따라서 A는 전파 영역, B는 X선 영역이다.

ㄷ. 진공에서 전자기파는 종류에 관계없이 속력이 같고, 진동수는 B가 적외선보다 크므로 파장은 B가 적외선보다 짧다.

오답 피하기

ㄱ. A는 전파 영역이고, 공항 수하물 검색은 강한 투과력이 필요하므로 X선을 사용한다.

ㄴ. TV 리모컨에 사용되는 전자기파는 적외선이다.

215 답 ⑤ | 전자기파를 성질이 비슷한 것끼리 구분할 때, 파장이 짧은 것으로부터 긴 순서대로 '감마선-X선-자외선-가시광선-적외선-마이크로파-라디오파'로 나열할 수 있다. 따라서 파장의 길이를 비교하면 $\lambda_C < \lambda_B < \lambda_A$ 이다.

216 답 ① | 전자기파는 파장(진동수)에 따라 구분한다. 파장이 짧은 것으로부터 긴 순서대로 '감마선-X선-자외선-가시광선-적외선-마이크로파-라디오파'이다.

한편, 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 빛의 속력과 같다. '파동의 속력=파장×진동수'이고 속력이 일정하므로, 파장이 길어지면 진동수는 작아지고, 파장이 짧아지면 진동수는 커진다.

문제에서는 파동을 진동수에 따라 구분하였다. 즉, 진동수가 작은 A쪽이 파장이 긴 전자기파이고, 진동수가 큰 C쪽이 파장이 짧은 전자기파이다. 따라서 A는 전파, B는 적외선, C는 X선이다.

② 마이크로파는 전파의 일종이므로 A 영역이다. 전파에는 마이크로파와 라디오파가 있으며, 마이크로파의 파장이 라디오파보다 짧다.

③ 적외선 야간 투시경에 이용되는 전자기파는 적외선으로, B 영역이다.

④ X선은 자외선보다 파장이 짧으며(진동수가 크며) 그림에서 C 영역이다.

⑤ 진공에서 전자기파의 파장은 감마선이 전파보다 짧다.

오답 피하기

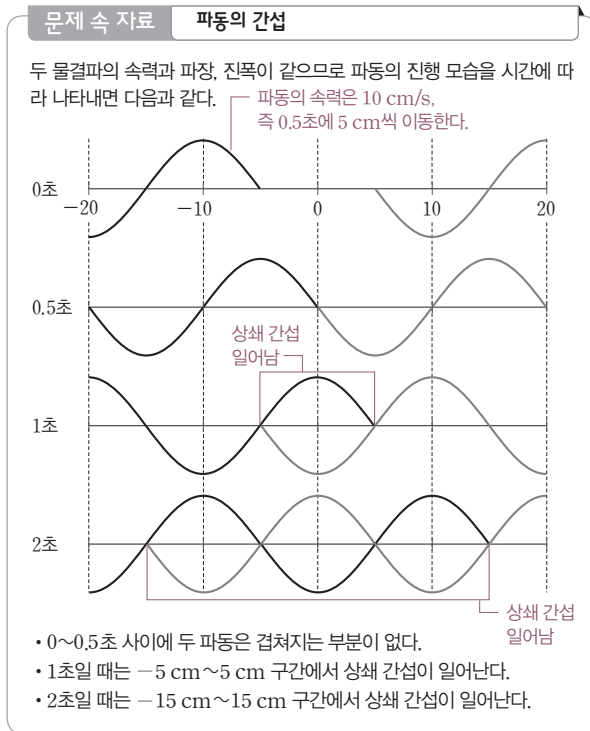
① 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 모두 같다.

217 답 ① | ㄱ. 깊이가 일정한 수면(같은 매질)에서 발생한 두 물결파의 속력은 같다. 파동의 속력은 '진동수×파장'이고 두 파동의 파장이 같으므로(그림에서 실선과 실선 사이의 거리가 같으므로) 진동수는 같다.

오답 피하기

ㄴ, ㄷ. 두 파동의 마루가 반파장 차이로 진행하므로 위상은 서로 반대이고, A에서는 서로 반대 위상의 파동이 만나므로 진폭은 0이다. 즉, A에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 매질이 진동하지 않는다.

- 218 답 ④ | ㄱ, ㄴ은 각각 0.5초와 1초일 때 수면의 모습이다. ㄷ은 2초일 때 수면의 모습이다.



- 219 답 ④ | ㄱ. S_1-P 거리는 $\frac{5}{2}\lambda$ 이고, S_2-P 거리는 $\frac{5}{2}\lambda$ 이다. 따라서 S_1, S_2 에서 P까지의 두 수면파의 경로차는 0이다. ㄷ. P에서 $t=0$ 일 때는 두 수면파의 골과 골이 중첩된다. 수면파의 주기가 T (초)이므로 $t=\frac{T}{2}$ 초일 때는 두 수면파의 마루와 마루가 중첩된다. 따라서 수면의 높이는 $t=\frac{T}{2}$ 초일 때가 $t=0$ 일 때보다 높다.

오답 피하기

ㄴ. $t=0$ 일 때 P에서는 골과 골이 중첩되고, Q에서는 골과 마루가 중첩되므로 수면의 높이는 Q에서가 P에서보다 높다.

- 220 답 ① | P는 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어나고, Q는 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다. ㄱ. (가)의 순간 Q에서는 두 수면파의 골이 중첩되므로 Q에서는 보강 간섭이 일어나 크게 진동하게 된다. 따라서 (나)는

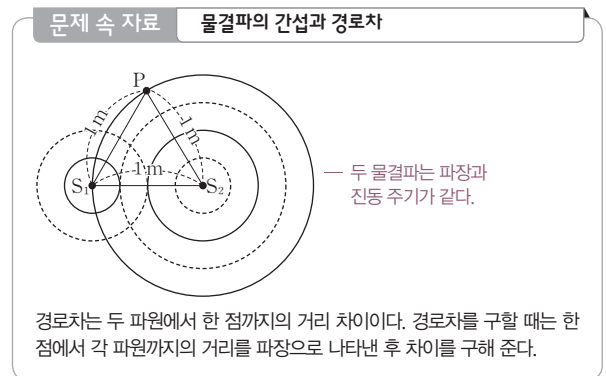
Q의 변위를 나타낸 것이다. P에서는 상쇄 간섭이 일어나므로 진폭이 0이 된다.

오답 피하기

ㄴ. 그림 (나)에서 Q의 진동 주기는 4초이다. Q에서는 보강 간섭이 일어나므로 Q의 진동 주기는 S_1 과 S_2 에서 생긴 수면파의 진동 주기와 같다. 또한 S_1 과 S_2 사이의 거리가 1 m이고, 이 거리는 S_1 과 S_2 에서 발생한 파동의 2파장에 해당한다. 따라서 이 수면파의 파장은 0.5 m이다.

수면파의 속력은 $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{0.5 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 0.125 \text{ m/s}$ 이다.

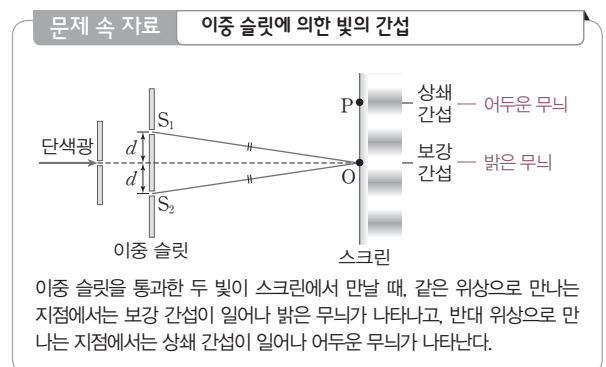
ㄷ. P에서 경로차는 0이고, Q에서 경로차는 0.75 m이다.



- 221 답 ③ | 이중 슬릿을 통과한 두 빛이 스크린에서 같은 위상으로 만나는 보강 간섭이 일어날 때는 밝은 무늬가 나타나고, 반대 위상으로 만나는 상쇄 간섭이 일어날 때는 어두운 무늬가 나타난다. ㄱ. O는 S_1 과 S_2 로부터의 거리가 같으므로 경로차가 0이다. 따라서 O에서는 보강 간섭이 일어난다. 경로차가 반파장의 짝수 배이면 보강 간섭이, 반파장의 홀수 배이면 상쇄 간섭이 일어난다. ㄴ. P는 O로부터 2번째 어두운 무늬가 나타난 곳이므로 S_1 과 S_2 를 지나 P에 도달한 단색광의 경로차는 $\frac{3}{2}\lambda$ 이다.

오답 피하기

ㄷ. 이중 슬릿의 슬릿 간격이 작을수록 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 넓어진다.



222 답 ④ | 원래 소음과 위상만 반대인 소리가 만나면 두 음파는 상쇄 간섭을 일으켜 진폭이 0에 가까워진다. 진폭이 줄어들수록 소리의 크기가 줄어들므로 소음을 제거할 수 있다.

223 답 ③ | ㄱ. A에서는 보강 간섭이 일어나며, 보강 간섭이 일어나는 지점에서는 진폭이 커져 소리가 크게 들린다.
 ㄴ. 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나는 점 사이의 거리는 두 파원 사이의 거리 d 가 작을수록, 파장 λ 가 클수록 커진다. 즉, d 를 감소시키면 A와 B 사이의 거리는 증가한다.

오답 피하기

ㄴ. 상쇄 간섭은 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 의 홀수 배일 때 생긴다.

문제 속 자료 두 스피커에서 소리의 간섭

두 스피커에서 세기와 파장이 같은 소리가 나올 때, 두 소리는 간섭을 일으켜 소리의 크기가 변한다.

	보강 간섭	상쇄 간섭
소리의 위상	두 소리가 같은 위상으로 만난다.	두 소리가 반대 위상으로 만난다.
소리의 세기	소리가 크게 들린다.	소리가 작게 들린다.
두 스피커까지의 거리 차이(경로차)	반파장의 짝수 배	반파장의 홀수 배

- 파장이 짧을수록 마루와 마루 사이의 거리가 좁아지므로 중앙에서 가까운 지점에서 상쇄 간섭이 일어난다. 즉, 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리가 짧아진다.
- 소리의 속력은 일정하므로(속력 = 파장 \times 진동수), 진동수가 큰 소리일수록 파장이 짧아진다. 따라서 진동수가 클수록(=파장이 짧을수록) 상쇄 간섭과 보강 간섭이 일어나는 지점 사이의 거리는 짧아진다.

224 답 ② | ㄴ. 진폭이 같고 위상이 반대인 두 파동을 중첩시켜서 진폭을 0으로 만들어 소음을 제거하는 것은 파동의 상쇄 간섭 현상을 이용한 것이다.

오답 피하기

ㄱ. 사람이 들을 수 있는 소리의 주파수(진동수)인 가청 주파수는 20~20,000 Hz인데 비해 초음파는 진동수가 20,000 Hz 이상의 소리이다. 따라서 초음파의 진동수는 사람이 들을 수 있는 소리의 진동수보다 크다.
 ㄴ. 초음파는 소리이므로 기체보다 액체에서 더 빠르게 움직인다. 따라서 초음파의 속력은 공기 중에서는 바닷물 속에서 보다 느리다.

225 답 ⑤ | ㄱ. P에서 빛에 의해 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 세기와는 무관하고 빛의 진동수에만 관계가 있으므로 진동수가 f 이고 세기가 $2I$ 인 빛을 P에 비추어도 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E 이다.

ㄴ. P에 비추는 빛의 진동수가 증가하였으므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 증가한다. 따라서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 E 보다 크다.

ㄴ. 광전 효과는 빛의 입자성을 증명한 실험이다.

226 답 ③ | ㄱ. CCD는 광 다이오드가 모인 것으로 빛을 전기 신호로 바꾸어 준다.

ㄴ. 빛이 밝을수록 전기 신호의 세기가 더 크게 발생한다.

오답 피하기

ㄴ. 백색광은 색상 필터에서 세 가지 색으로 분리되어 통과하므로 전기 신호가 발생된다.

227 답 ③ | $E_k = hf - W = hf - hf_0$ 이다.

(가)에서는 진동수가 $2f$ 이므로 $2hf - hf_0 = E_k$ 이다.

(나)에서는 진동수가 $3f$ 이고, 최대 운동 에너지가 (가)의 3배이므로 $3hf - hf_0 = 3E_k$ 이다. 이 두 식을 풀면 $f_0 = \frac{3}{2}f$ 이다.

(가), (나)는 동일한 금속판이므로 문턱 진동수는 같다.

228 답 ④ | ㄴ. 빨강 빛과 파랑 빛을 동시에 비추면 파랑 빛에 의해 금속판에서 전자가 방출된다.

ㄴ. 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명된다.

오답 피하기

ㄱ. 전자는 광자 한 개의 에너지에 의해 방출되므로, 금속판에서 전자를 방출시키는 파랑 빛이 전자를 방출시키지 못하는 빨강 빛보다 광자 한 개의 에너지가 더 크다.

229 답 ⑤ | 방출된 광전자의 최대 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 이다. 이때 hf 는 광자의 에너지, W 는 일함수를 나타낸다. 문제의 그래프는 이 식을 일차 함수의 그래프로 나타낸 것이다.

ㄱ. 문제에 제시된 $E_k = hf - W$ 그래프에서 x 축은 진동수 f 이고, y 축은 광전자의 최대 운동 에너지 E_k 이다. A의 그래프에서 A에 $2f_0$ 인 빛을 비춘 경우(x 축이 $2f_0$ 일 때 y 축의 값을 그래프에서 찾으면 E_0 이다.) $E_0 = 2hf_0 - W_A$ 이고, $3f_0$ 인 빛을 비춘 경우에 $2E_0 = 3hf_0 - W_A$ 이다. 두 식을 풀면 $2(hf_0 - W_A) = 3hf_0 - W_A$ 이므로 A의 일함수 $W_A = E_0$ 이다.

ㄴ. A에 $2f_0$ 인 빛을 비춘 경우 $E_0 = 2hf_0 - E_0$ 이므로 플랑크 상수 $h = \frac{E_0}{f_0}$ 이다.

ㄴ. 진동수가 $4f_0$ 인 빛을 B에 비춘 경우 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0 이고, A에 비춘 경우 $E_k = 4hf_0 - E_0 = 3E_0$ 이므로 A가 B의 3배이다.

문제 속 자료 광양자설

아이슈타인은 광전 효과를 설명하기 위해 '빛은 진동수에 비례하는 에너지를 갖는 광자(광양자)라고 하는 입자들의 흐름이다.'라는 광양자설을 제안하였다.

- ① 광전 효과는 광자와 전자 사이의 충돌로 생각할 수 있다.
- ② 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 크면 광전자가 방출되며, 빛의 진동수가 클수록 광전자의 최대 운동 에너지도 커진다.
- ③ 빛의 세기가 강해도 진동수가 문턱 진동수보다 작은 광자는 전자에게 전달하는 에너지가 작으므로 광전자가 방출되지 않는다.
- ④ 일함수(W): 금속 표면에 있는 전자 1개를 방출시키는 데 필요한 최소한의 에너지로, 금속의 종류에 따라 다르다.
 $W = hf_0$ (f_0 : 문턱 진동수)
 → 문턱 진동수가 클수록 일함수가 크다.
 → 일함수가 클수록 전자가 잘 방출되지 않는다.
- ⑤ 광전자의 최대 운동 에너지: 광전자의 최대 운동 에너지는 광자 한 개의 에너지 hf 에서 일함수 W 를 빼준 값과 같다.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = hf - W = hf - hf_0$$

(h : 플랑크 상수, f : 광자의 진동수)

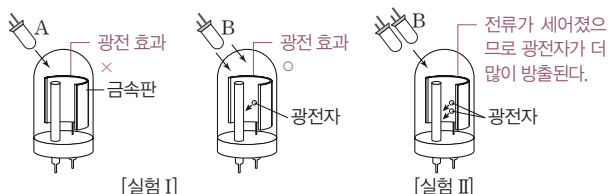
- 광자의 에너지(hf) 중 일부는 금속 표면에서 전자를 방출시키는 에너지(W)로 사용되고, 남은 에너지는 광전자의 운동 에너지(E_k)로 전환된다.
- 광자의 에너지(hf)가 일함수(W)보다 크면 광전자가 방출된다.
- 광자의 에너지(hf)가 일함수(W)보다 작으면 광전자가 방출되지 않는다.

230 답 ② | ㄴ. 전자가 방출될 때 빛의 세기가 클수록 광전류의 세기도 크다. 따라서 B의 세기는 II에서가 I에서보다 세다.

오답 피하기

ㄱ. I에서 A를 비출 때는 전자가 방출되지 않았으며(전류가 흐르지 않음), B를 비출 때는 전자가 방출(전류가 흐름)되었으므로 빛의 진동수는 A가 B보다 작다.

ㄷ. I에서 단색광 A를 비출 때 광전 효과가 일어나지 않았으므로 A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작다. 따라서 A의 세기가 증가해도 광전 효과는 일어나지 않는다.



231 답 ① | 광전 효과는 문턱 진동수 이상의 빛을 비출 때만 일어난다.

ㄱ. A에 의해서만 광전 효과가 일어났으므로 A의 진동수가 B의 진동수보다 크다.

오답 피하기

ㄴ. A의 세기를 증가시키면 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수만 증가할 뿐 광전자의 최대 운동 에너지는 변하지 않는다. → 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 커진다.

ㄷ. B의 진동수는 문턱 진동수보다 작으므로 세기를 증가시켜도 광전자는 방출되지 않는다.

문제 속 자료 광전 효과 실험

검전기 위에 아연판을 올려놓고 검전기를 음(-)전하로 대전시킨 후 형광등과 자외선등을 차례로 비추며 변화를 관찰한다.



- ① 아연판에 형광등을 비추면 금속박은 벌어진 상태로 변함이 없다.
 → 형광등에 포함된 빛의 진동수는 아연판의 문턱 진동수보다 작기 때문에 전자의 방출이 일어나지 않아서 아연판과 금속박의 음(-)전하 대전 상태가 그대로 유지된다.
- ② 아연판에 자외선등을 비추면 금속박의 벌어진 정도가 줄어든다.
 → 자외선에 포함된 빛의 진동수가 아연판의 문턱 진동수보다 크기 때문에 전자가 방출되면서 금속박의 음(-)전하가 줄어들게 되어 금속박이 벌어진 정도가 줄어든다.
- ③ 자외선의 진동수 > 아연판의 문턱 진동수 > 형광등의 진동수

232 답 ⑤ | ㄱ. 광전자가 방출되기 위해서는 빛의 진동수가 금속판의 문턱 진동수보다 커야 한다. 따라서 광전자를 방출시킨 A의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 크고, B의 진동수는 금속판의 문턱 진동수보다 작다.

ㄴ. 빛의 진동수가 문턱 진동수보다 클 때, 빛의 세기가 클수록 방출되는 광전자의 개수가 많아진다.

ㄷ. 광전자의 운동 에너지 $E_k = hf - W$ 이다. 빛의 진동수가 클수록 광자의 에너지(hf)가 크므로 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지도 크다.

233 답 ④ | • 철수: (나)에서 전자선이 금속박을 통과한 후의 무늬가 X선의 회절 무늬와 동일하므로 (나)의 무늬는 전자선이 회절하여 나타난 무늬이다.

• 영희: (나)의 무늬는 전자선이 회절하여 나타난 것인데 회절은 파동의 성질이다. 따라서 (나)의 무늬는 전자선이 파동의 성질을 띠었음을 알려 준다.

오답 피하기

• 민수: 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로 속력이 커지면 물질파 파장은 짧아진다.

234 답 ④ | ㄱ. 전자 현미경은 빛 대신 전자의 물질파를 이용하는 현미경이다. 운동하는 전자는 파동성을 가진다.

ㄷ. 전자의 물질파 파장은 가시광선보다 짧다.

오답 피하기

ㄴ. 운동량이 작아지면 물질파의 파장이 커져 회절이 잘 일어나므로 더 작은 물체를 볼 수 없다. 즉, 빛의 파장이 시료의 크기보다 작을 경우 회절이 적게 일어나 물체를 자세히 관찰할 수 있다.

235 답 ③ | ㄱ. (나)의 무늬는 원자가 파동성, 즉 물질파의 성질을 나타내기 때문에 파동의 특성들 중 하나인 간섭 현상을 나타내는 것이다.

ㄴ. 원자의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$ 이므로 원자의 운동량 p 가 커지면 물질파의 파장 λ 는 짧아진다.

오답 피하기

ㄷ. 원자들의 운동량 p 가 증가하면 물질파의 파장 λ 가 그것에 반비례하여 짧아지므로 이웃한 어두운 무늬의 간격, 즉 정상파의 마디와 마디 사이의 간격은 좁아진다.

236 답 ④ | 데이비슨과 거머는 니켈 결정에 54 V의 전압으로 가속된 전자선을 입사시켰을 때, 전자가 가장 많이 발견된 산란각 50° 가 전자기파의 회절에 의해 보강 간섭이 일어나는 조건과 일치한다는 것을 보였다. 이것으로 드브로이의 물질파 이론을 검증하였다.

237 답 ⑤ | 힘-이동 거리 그래프에서 그래프 아랫부분의 면적은 물체가 받은 일을 나타낸다. 또한 물체가 받은 일은 운동 에너지 변화량이고, 입자가 정지 상태에 있었으므로 '받은 일' = 입자의 운동 에너지($\frac{1}{2}mv^2$)이다.

• d 일 때 운동 에너지 = $F \times d$

• $2d$ 일 때 운동 에너지 = $F \times d + \frac{1}{2}F \times d = \frac{3}{2}F \times d$

한편 운동 에너지는 $\frac{p^2}{2m}$ 이고, 물질파의 파장은 $\frac{h}{p}$ 이다. 즉,

파장은 운동량에 반비례하고, 운동량은 운동 에너지의 제곱근에 비례한다.

$$\lambda_1 : \lambda_2 = \frac{h}{p_1} : \frac{h}{p_2} = \frac{1}{\sqrt{F \times d}} : \frac{1}{\sqrt{\frac{3}{2}F \times d}}$$

이고, 이것은 $\frac{1}{1} : \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} : \sqrt{2}$ 이다.

238 답 ④ | ㄴ. 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$ 이다. 즉, 물질파의 파장은 운동량에 반비례한다. 운동량은 '질량 × 속도'로 구한다. A는 충돌 전 운동량이 $3m \times v = 3mv$ 이고 충돌 후 운동량이 $3m \times 0.5v = 1.5mv$ 이다. 따라서 충돌 전 운동량이 충돌

후보다 크므로 A의 물질파 파장은 충돌 후가 충돌 전보다 길다.

ㄷ. 충돌 후 A의 운동량($1.5mv$)과 B의 운동량($1.5mv$)이 서로 같으므로 물질파의 파장은 A와 B가 같다.

오답 피하기

ㄱ. 물질파의 파장과 운동량은 반비례하므로 운동량이 클수록 물질파의 파장은 짧아진다.

239 답 ④ | 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$ (h 는 플랑크 상수)이다.

그러므로 $\lambda_A : \lambda_B = \frac{h}{p_A} : \frac{h}{p_B} = \frac{1}{p_A} : \frac{1}{p_B} \dots \textcircled{1}$ 이다.

A, B가 각각 기준선에서 d , $2d$ 만큼 낙하했을 때, A, B의 속력은 역학적 에너지 보존 법칙에 따라

$$\bullet A: \frac{1}{2}mv_A^2 = mgd \dots \textcircled{2},$$

$$\bullet B: \frac{1}{2}(2m)v_B^2 = (2m)g(2d) \dots \textcircled{3}$$

이므로 $v_A = \sqrt{2gd} \dots \textcircled{4}$, $v_B = \sqrt{4gd} \dots \textcircled{5}$ 이다.

①식에서 $\lambda_A : \lambda_B = \frac{h}{p_A} : \frac{h}{p_B} = \frac{1}{mv_A} : \frac{1}{(2m)v_B}$ 이므로

④와 ⑤식에서 얻은 v_A , v_B 값을 대입하여 정리하면

$$\lambda_A : \lambda_B = \frac{1}{\sqrt{2gd}} : \frac{1}{2\sqrt{4gd}} = \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{2\sqrt{4}} = 2\sqrt{2} : 1 \text{이다.}$$

240 답 ② | 물질파의 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$ 이므로 $p = \frac{h}{\lambda}$ 이다. 입자가 A점을

을 지날 때 파장이 $2\lambda_0$ 이므로 $p_A = \frac{h}{2\lambda_0} = \frac{1}{2} \frac{h}{\lambda_0}$, $p_B = \frac{h}{\lambda_0}$

이다. 따라서 $p_A : p_B = \frac{1}{2} \frac{h}{\lambda_0} : \frac{h}{\lambda_0} = \frac{1}{2} : 1 = 1 : 2$ 이다.

241 답 ① | 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{p}$ 에서 $p \propto \frac{1}{\lambda}$ 이다. 즉, 운동량은 파장에 반비례하므로 A의 운동량은 B의 2배이다.

운동량 $p = mv$ 이므로 $v = \frac{p}{m}$ 이다. B의 운동량을 p 라고 하면 A의 운동량은 $2p$ 이다. 입자 A의 속력은 $\frac{2p}{4m} = \frac{p}{2m}$ 이

고, 입자 B의 속력은 $\frac{p}{m}$ 이다. 즉 A의 속력을 v 라 하면 B의 속력은 A의 2배인 $2v$ 이다.

운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 에서 A, B의 E_k 는 같다.

	A	B
질량	$4m$	m
물질파 파장	λ	2λ
운동량	$2p$	p
속력	v	$2v$
운동 에너지	E	E

파장에 반비례 $\lambda = \frac{h}{p}$

A: $2p = 4m \times v_A$

B: $p = m \times v_B$

$E_A: \frac{1}{2} \times 4m \times v^2$

$E_B: \frac{1}{2} \times m \times (2v)^2$



