

. 완벽한 자율학습서 .

W

완자

자율학습시 비상구 정답친해로 53

정확한 답과 친절한 해설

물리학 I



I . 역학과 에너지

1 힘과 운동

01 물체의 운동

개념 확인 문제

14쪽

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

1 이동 거리 : 150 m, 변위의 크기 : 50 m 2 (1) ○ (2) ×
(3) × 3 (1) 16 m (2) 4 m 4 (1) × (2) ○ (3) ×
5 (1) 3 m/s² (2) -10 m/s² (3) 서쪽으로 7 m/s² 6 왼쪽으로
3 m/s²

1 상호는 동쪽으로 100 m 이동한 후 서쪽으로 50 m를 되돌아왔으므로 상호가 이동한 총 거리는 100 m + 50 m = 150 m 이고, 변위의 크기는 100 m - 50 m = 50 m이다.

2 (1) 0~5초 동안 이동 거리가 20 m이므로 평균 속력은 $\frac{20 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

(2) 이동 거리 - 시간 그래프의 기울기는 속력을 의미한다. 기울기가 일정하지 않으므로 속력이 계속 변하는 운동이다.

(3) 0~5초 동안 평균 속력은 4 m/s이다. 순간 속력은 이동 거리 - 시간 그래프의 각 점에서 접선의 기울기인데, 접선의 기울기가 계속 변하므로 순간 속력은 계속 변하고 있다.

3 (1) 0~6초 동안 10 m를 이동한 후 방향을 바꾸어 6초~10초 동안 6 m를 이동하였으므로 0~10초 동안 이동 거리는 16 m이다.

(2) 시간이 0일 때 위치가 0이고, 10초일 때 위치가 4 m이므로 변위의 크기는 4 m이다.

4 (1) 가속도가 일정하면 속도가 일정하게 증가하거나 감소한다.

(2) 직선 운동에서 속도와 가속도의 부호가 같으면 속도의 크기(속력)가 증가하고, 속도와 가속도의 부호가 반대이면 속력이 감소한다. 속도의 부호가 (-)인 경우 가속도의 부호가 (+)이면 속도는 증가하지만 속도의 크기는 감소한다. 예를 들어 물체의 처

음 속도가 -10 m/s인 순간부터 +5 m/s²의 가속도로 운동하면 1초 후 속도가 -5 m/s가 된다. 이 경우 속도는 -10 m/s에서 -5 m/s로 증가하였지만 속도의 크기는 10 m/s에서 5 m/s로 감소하였다.

(3) 속도의 부호가 (-)인 경우 가속도의 부호가 (-)이면 속도는 감소하지만 속도의 크기는 증가한다. 속도의 방향과 가속도의 방향이 같으면 속도의 크기, 즉 속력이 증가한다.

5 가속도는 물체의 속도가 시간에 따라 변하는 정도를 나타내는 양으로, 단위 시간 동안의 속도 변화량으로 나타낸다.

$$\text{가속도} = \frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{\text{나중 속도} - \text{처음 속도}}{\text{걸린 시간}}$$

$$(1) a = \frac{(50 - 20) \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 3 \text{ m/s}^2$$

$$(2) a = \frac{(0 - 20) \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = -10 \text{ m/s}^2$$

$$(3) a = \frac{(-8 - 20) \text{ m/s}}{4 \text{ s}} = -7 \text{ m/s}^2$$

6 오른쪽을 (+)방향으로 하면, $\text{가속도} = \frac{3 \text{ m/s} - 12 \text{ m/s}}{3 \text{ s}} = -3 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 방향은 왼쪽이고, 가속도의 크기는 3 m/s²이다.

개념 확인 문제

18쪽

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

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

1 (1) 속력 - 시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 이동 거리이다. 따라서 0~5초 동안 이동 거리 = 7 m/s × 5 s = 35 m이다.

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

2 (1) 속도 - 시간 그래프의 기울기가 가속도이다. 직선상에서 운동하면서 가속도가 일정하므로 물체는 등가속도 직선 운동을 한다.

(2) 0~10초 동안 그래프의 기울기가 가속도이다. 가속도 $= \frac{-40-40}{10} = -8(\text{m/s}^2)$ 이다.

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

3 등가속도 직선 운동 식 $v^2 - v_0^2 = 2as$ 에 의해 이동한 거리 $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{30^2 - 10^2}{2 \times 4} = 100(\text{m})$ 이다.

4 (1) 자동차가 정지하는 동안 등가속도 직선 운동을 하였으므로 $2as = v^2 - v_0^2$ 에서 자동차의 진행 방향을 (+)로 하면, $2 \times a \times 90 \text{ m} = 0^2 - (30 \text{ m/s})^2$ 이므로 $a = -5 \text{ m/s}^2$ 이다.

(2) 정지하는 데 걸린 시간은 $v = v_0 + at$ 에서 $0 = 30 \text{ m/s} + (-5 \text{ m/s}^2) \times t$ 이므로 $t = 6 \text{ s}$ 이다.

5 (1), (2) 등속 원운동은 속력이 일정하고, 운동 방향이 계속 변하는 운동이다.
(3) 등속 원운동의 속력은 일정하지만 운동 방향이 변하므로 속도가 일정하지 않다.

6 (1), (2) 이웃한 진자의 시간 간격은 일정하지만 변위의 크기와 방향이 일정하지 않다. 따라서 속도의 크기(속력)와 방향이 계속 변한다.
(3) 진자의 추가 아래로 내려갈 때는 추 사이의 간격이 커지는 것으로 보아 속력이 빨라진다. 추가 올라갈 때는 추 사이의 간격이 줄어드는 것으로 보아 속력이 느려진다.

19쪽

완자샘
비법 특강

Q1 증가한다. Q2 기울기의 크기가 증가한다.

Q1 위치 - 시간 그래프의 기울기가 속도이므로 속도가 (+)이면 위치 - 시간 그래프의 기울기는 (+)이다. 즉, 위치가 증가한다.

Q2 위치 - 시간 그래프의 기울기가 속도이므로 속도의 크기가 증가하면 위치 - 시간 그래프의 기울기도 절댓값이 증가한다. 즉, 기울기의 크기가 증가한다.

대표 자료 분석

20쪽

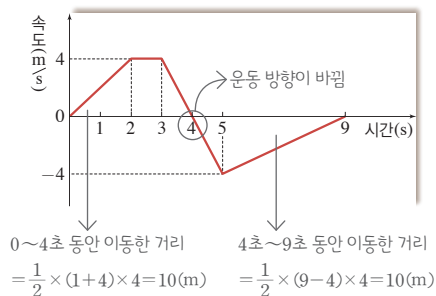
자료 1 1 (1) 20 (2) 0 (3) 0 2 (1) ○ (2) × (3) ×

3 $a_{(7)} > a_{(4)}$ 4 (1) × (2) × (3) ○

자료 2 1 (1) 등가속도 직선 (2) 등속 직선 (3) 4 2 4 m/s

3 16 m 4 (1) ○ (2) × (3) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



(1) 속도 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 이동 거리를 나타내므로, 0~9초 동안 물체가 이동한 거리는 $10 \text{ m} + 10 \text{ m} = 20 \text{ m}$ 이다.

(2) 0~4초 동안 속도의 부호가 (+)로 일정하므로 물체는 출발점에서 멀어지는 방향으로 운동한다. 이후 4초~9초 동안 속도의 부호가 (-)로 일정하므로 물체는 출발점으로 되돌아오는 방향으로 운동한다. 이때 0~4초 동안 이동한 거리와 4초~9초 동안 이동한 거리가 같으므로 9초일 때 출발점으로 되돌아와서 변위는 0이다.

(3) 0~9초 동안 변위가 0이므로 평균 속도는 0이다.

1-2 (1) 4초일 때 속도의 부호가 바뀌므로 물체의 운동 방향이 바뀐다. 따라서 3.5초일 때와 4.5초일 때 운동 방향은 서로 반대이다.

(2) 속도 - 시간 그래프의 기울기가 가속도를 나타내므로 0~2초 동안 가속도의 방향은 (+)로 일정하고, 2초~3초 동안 가속도는 0이다. 3초~5초 동안 가속도의 방향은 (-)로 일정하고, 5초~9초 동안 가속도의 방향은 (+)로 일정하다.

(3) 9초일 때 변위가 0이므로 물체는 출발점에 있다. 물체는 4초일 때 출발점으로부터 가장 멀리 떨어져 있다.

1-3 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다.

$$a_{(7)} = \frac{4 \text{ m/s} - 0}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2, a_{(4)} = \frac{0 - (-4 \text{ m/s})}{4 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$$

따라서 $a_{(7)} > a_{(4)}$ 이다.

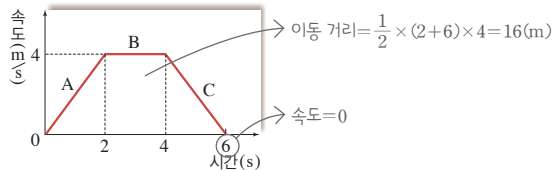
- ①-4 (1) 물체의 운동 방향은 4초일 때 한 번 바뀐다.
 (2) 2초~3초 동안 속도가 일정하므로 물체는 등속 직선 운동을 한다.
 (3) 4초일 때 속도의 부호가 바뀌므로 운동 방향이 바뀐다.

- ②-1 (1) 0~2초 동안 가속도가 2 m/s^2 으로 일정하므로 물체는 등가속도 직선 운동을 한다.
 (2) 2초~4초 동안 가속도가 0이므로 물체는 2초일 때의 속도로 등속 직선 운동을 한다.
 (3) 정지 상태에서 출발하므로 2초일 때 물체의 속력 $v = v_0 + at = 0 + 2 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = 4 \text{ m/s}$ 이다.

- ②-2 3초일 때 물체의 속력은 2초일 때와 같은 4 m/s 이다.

②-3 **꼭꼭** 문제 분석

가속도 - 시간 그래프에서 그래프 아래부분의 넓이는 속도 변화량을 나타내므로, 각 구간에서의 속도 변화량을 구하여 속도 - 시간 그래프로 전환한다.



속도 - 시간 그래프에서 그래프 아래부분의 넓이가 이동 거리를 나타내므로 0~6초 동안 물체가 이동한 거리는 $\frac{1}{2} \times (2+6) \times 4 = 16(\text{m})$ 이다.

- ②-4 (1) 가속도 - 시간 그래프 아래부분의 넓이는 속도 변화량이다. 0~2초 동안 속도 변화량이 (+)값이므로 속력이 증가한다.
 (2) 4초~6초 동안 속도 변화량은 그래프 아래부분의 넓이이므로 $-2 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ s} = -4 \text{ m/s}$ 이다.
 (3) 가속도가 일정하면 물체는 등가속도 운동을 한다. 가속도가 0일 경우 물체는 등속 직선 운동을 한다.

내신 만점 문제

21쪽~25쪽

- | | | | | | |
|----------|------|------|----------|--------------------------|-------|
| 01 ⑤ | 02 ③ | 03 ④ | 04 ⑤ | 05 ⑤ | 06 ④ |
| 07 해설 참조 | 08 ① | 09 ⑤ | 10 ④ | 11 ④ | |
| 12 ② | 13 ② | 14 ② | 15 ① | 16 ④ | 17 해설 |
| 참조 | 18 ③ | 19 ③ | 20 170 m | 21 62.5 cm/s^2 | |
| 22 ③ | 23 ⑤ | 24 ① | 25 ③ | 26 ③ | |

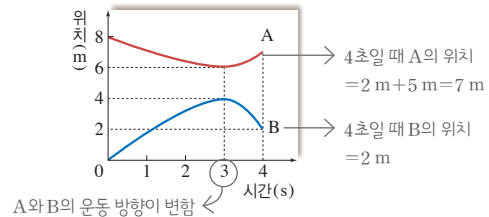
01 이동 거리는 물체가 실제로 움직인 총 거리이고, 변위는 물체의 위치 변화량, 즉 처음 위치에서 나중 위치까지의 직선 거리와 방향이다.

ㄱ. 출발점과 도착점이 같으므로 A와 B의 변위는 같다.

ㄴ. 이동 거리는 경로가 긴 A가 B보다 크다.

ㄷ. B는 출발점에서 도착점까지 직선 운동을 하였으므로 이동 거리와 변위의 크기가 같다.

02 **꼭꼭** 문제 분석



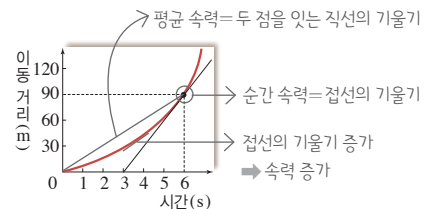
ㄱ. 4초인 순간 두 물체 사이의 거리가 5 m 이므로, 이때 A의 위치는 $2 \text{ m} + 5 \text{ m} = 7 \text{ m}$ 이다. A는 0~3초 동안 2 m 를 이동한 후 3초~4초 동안 1 m 를 이동하므로 총 이동 거리는 $2 \text{ m} + 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$ 이다. B는 0~3초 동안 4 m 를 이동한 후 3초~4초 동안 2 m 를 이동하므로 총 이동 거리는 6 m 이다. 따라서 B의 이동 거리는 A의 2배이다.

ㄴ. A의 위치가 8 m 에서 7 m 로 변했으므로 변위의 크기는 1 m 이고, B의 위치가 0 에서 2 m 로 변했으므로 변위의 크기는 2 m 이다. 따라서 변위의 크기는 B가 A의 2배이다.

▮ **바로알기** ㄷ. 2초일 때 A의 위치는 감소하고 있고, B의 위치는 증가하고 있으므로 A와 B의 운동 방향은 반대이다.

03 200 m 트랙을 한 바퀴 돌면 이동 거리는 200 m 이고, 출발점과 도착점이 같으므로 변위는 0 이다. 따라서 평균 속력은 $\frac{200 \text{ m}}{25 \text{ s}} = 8 \text{ m/s}$, 평균 속도의 크기는 0 이다.

04 **꼭꼭** 문제 분석

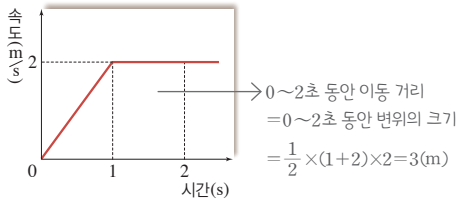


ㄱ. 속력은 일반적으로 순간 속력을 의미하며, 순간 속력은 이동 거리 - 시간 그래프에서 접선의 기울기와 같다. 0~6초 동안 접선의 기울기가 계속 증가하므로 자동차의 속력은 계속 증가한다.

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

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

05 꼭꼭 문제 분석

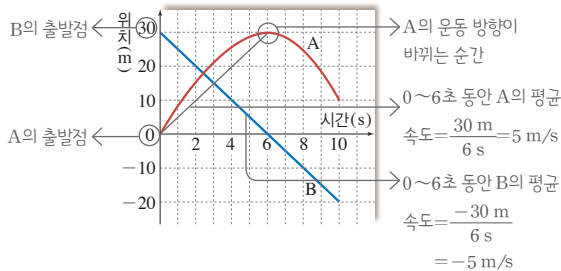


ㄴ. 1초~2초 동안 속도가 2 m/s로 일정하므로 물체는 등속 직선 운동을 한다.

ㄷ. 속도 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 변위이다. 0~2초 동안 넓이가 3 m이므로 변위의 크기는 3 m이다. 속도의 값이 계속 (+)이므로 물체는 직선상에서 한쪽 방향으로만 운동하였다. 따라서 이동 거리는 변위의 크기와 같은 3 m이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 0~1초 동안 물체는 속도가 일정하게 증가하는 운동을 하고 있다. 속도가 일정하게 증가하는 운동에서 평균 속도는 처음 속도와 나중 속도의 평균이다. 따라서 0~1초 동안 평균 속도 = $\frac{\text{처음 속도} + \text{나중 속도}}{2} = \frac{0+2}{2} = 1(\text{m/s})$ 이다.

06 꼭꼭 문제 분석



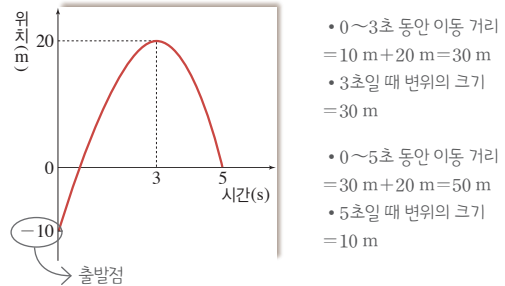
ㄱ. 0~6초 동안 A는 위치가 증가하는 운동을 하고, B는 위치가 감소하는 운동을 하였으므로 두 물체의 운동 방향은 반대이다. 6초일 때 A가 운동 방향을 반대로 바꾸어 위치가 감소하는 운동을 하므로 6초 이후 A와 B의 운동 방향은 같다.

ㄷ. A는 0~6초 동안 한쪽 방향으로 30 m를 운동하다가 6초일 때 방향을 바꾸어 6초~10초 동안 20 m를 되돌아오므로 0~10초 동안 이동한 총 거리는 50 m이고, B는 A와 반대 방향으로

출발하여 0~10초 동안 한쪽 방향으로 계속 50 m를 이동하였다. 따라서 0~10초 동안 A, B의 평균 속력은 $\frac{50 \text{ m}}{10 \text{ s}} = 5 \text{ m/s}$ 로 서로 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 위치 - 시간 그래프에서 평균 속도는 두 점을 잇는 직선의 기울기와 같다. 0~6초 동안 A의 평균 속도는 5 m/s이고, B의 평균 속도는 -5 m/s이므로 평균 속도의 크기는 같으나 부호(운동 방향)가 다르다.

07 꼭꼭 문제 분석



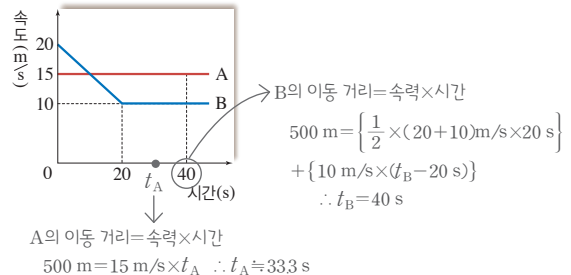
0~3초 동안 (+)방향으로 30 m를 이동한 후, 3초~5초 동안 (-)방향으로 20 m를 이동하였으므로 0~5초 동안 이동 거리는 50 m이다.

0초일 때 출발점의 위치가 -10 m이고 5초일 때의 위치가 0이므로 0~5초 동안 변위의 크기는 10 m이다.

모범답안 0~5초 동안 평균 속력은 $\frac{50 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$ 이고, 평균 속도의 크기는 $\frac{10 \text{ m}}{5 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
평균 속력과 평균 속도의 크기 모두 물이 과정과 함께 올바르게 구한 경우	100 %
평균 속력과 평균 속도의 크기만 옳은 경우	50 %

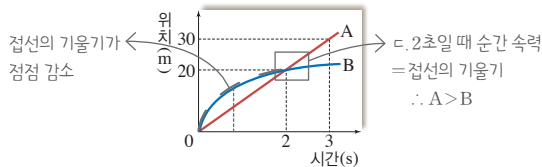
08 꼭꼭 문제 분석



ㄱ. 자동차 A, B의 이동 거리가 터널의 길이인 500 m가 되기까지 걸리는 시간 t_A , t_B 는 각각 약 33.3초, 40초이므로 500 m 길이의 터널을 먼저 통과하는 자동차는 A이다.

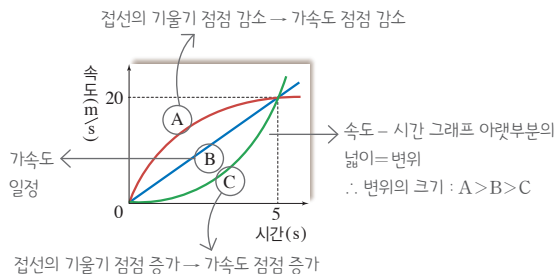
- ▮ **바로알기** ▮ 나. B가 500 m 길이의 터널을 통과하는 데 걸리는 시간은 40초이므로 평균 속력은 $\frac{500 \text{ m}}{40 \text{ s}} = 12.5 \text{ m/s}$ 이다.
- 다. 20초 이후부터 A의 속도는 B의 속도보다 항상 크다. 따라서 A와 B 사이의 거리는 점점 증가한다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



- ㄱ. 0~2초 동안 B의 속도(접선의 기울기)가 (+)값이면서 점점 감소하므로 가속도는 (-)값이다. 따라서 운동 방향(속도의 방향)과 가속도의 방향은 반대이다.
- 나. A, B가 직선 도로에서 한쪽 방향으로만 운동하였고, 0초일 때 출발한 위치와 2초일 때 위치가 같으므로 A와 B의 이동 거리는 같다. 따라서 0~2초 동안 A와 B의 평균 속력은 $\frac{20 \text{ m}}{2 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$ 로 같다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

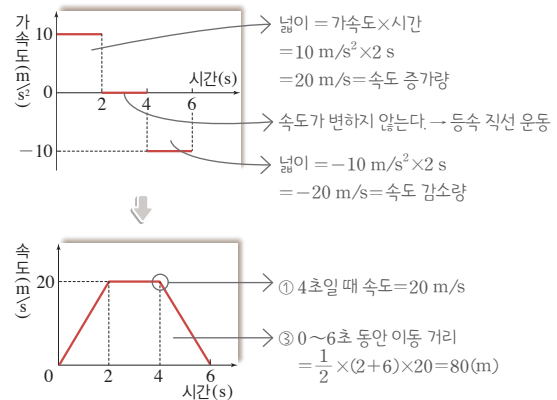


- ㄱ. C는 속도가 증가하고, 가속도(접선의 기울기)도 증가한다.
- 나. 세 물체의 처음 속도와 5초일 때의 속도가 모두 같으므로 0~5초 동안 속도 변화량이 같다. 평균 가속도는 속도 변화량을 걸린 시간으로 나눈 값이므로 평균 가속도는 모두 같다.
- ▮ **바로알기** ▮ 다. 속도 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 변위를 나타내므로 변위의 크기는 $A > B > C$ 이다. 평균 속도는 변위를 걸린 시간으로 나눈 값이므로 평균 속도의 크기는 $A > B > C$ 이다.

- 11 ㄱ. 1초~2초, 3초~4초 동안 등속 직선 운동을 한다. 이때 이동한 총 거리는 $(4 \times 1) + (6 \times 1) = 10(\text{m})$ 이다.
- 다. 4초~6초 동안 그래프의 기울기가 (-)값이므로 가속도도 (-)값이 된다. 이때 속도는 (+)값이므로 운동 방향은 (+)값이다. 따라서 물체의 운동 방향과 가속도의 방향은 반대이다.

- ▮ **바로알기** ▮ 나. 0~1초 구간의 가속도는 4 m/s^2 , 2초~3초 구간의 가속도는 2 m/s^2 , 4초~6초 구간의 가속도는 $\frac{-6 \text{ m/s}}{(6-4) \text{ s}} = -3 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 0~1초 구간에서 가속도의 크기가 4 m/s^2 으로 가장 크다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

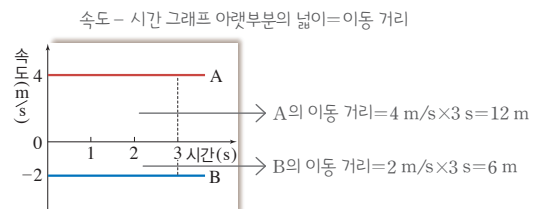


- ④, ⑤ 0~2초 동안과 4초~6초 동안은 가속도의 부호는 다르지만 속도의 부호는 (+)로 같다. 따라서 물체의 운동 방향도 같다.

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

- 13 두 자동차가 t 초 후에 만난다면 t 초 동안 두 자동차가 이동한 거리의 합은 300 m 이다. 따라서 $10t + 20t = 300$ 에서 $t = 10$ 초가 된다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



- ② 0~3초 동안 A가 이동한 거리는 그래프 아랫부분의 넓이와 같으므로 12 m 이다.

- ▮ **바로알기** ▮ ① A는 4 m/s 의 속도로 등속 직선 운동을 하고, B는 -2 m/s 의 속도로 등속 직선 운동을 한다. A, B의 속도의 부호가 반대이므로 A, B의 운동 방향은 반대이다.

③ B의 속도는 일정하므로 이동 거리는 시간이 지날수록 증가한다.

④ B의 속도가 -2 m/s 이므로 속력은 2 m/s 이다.

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

15 ㄱ. A와 B 모두 위치 - 시간 그래프의 기울기가 일정하므로 속도가 일정한 등속 직선 운동을 한다.

▮ **바로알기** ▮ 나. A, B 사이의 거리는 0~2.5분까지 감소하고, 2.5분 이후에는 증가한다.

ㄷ. A, B의 그래프 기울기의 크기가 같으므로 속력이 같다. 따라서 A, B가 만날 때까지 이동한 거리는 같다.

16 ④ 등가속도 직선 운동은 가속도가 일정한 직선 운동이므로 가속도 - 시간 그래프의 기울기는 시간축에 나란하다.

▮ **바로알기** ▮ ①, ② 등속 직선 운동을 나타내는 그래프이다.

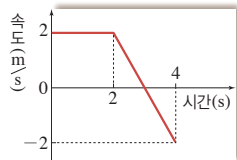
③ 시간에 따라 기울기가 증가하고 있으므로 가속도가 증가하는 운동을 나타내는 그래프이다.

⑤ 시간에 따라 가속도가 일정하게 증가하는 운동을 나타내는 그래프이다.

17 • 0~2초 동안 2 m/s 의 속도로 등속 직선 운동을 하므로 그래프는 시간축에 나란한 모양이 된다.

• 2초~4초 동안 -2 m/s^2 의 가속도로 등가속도 운동을 하므로 그래프의 기울기는 -2 m/s^2 이 된다.

모범답안



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

18 ㄱ. 동쪽을 (+)방향으로 하면 서쪽은 (-)방향이 된다.

$$\text{평균 가속도} = \frac{-30 \text{ m/s} - 20 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = -5 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

$$\therefore 0 \sim 5 \text{ 초 동안의 평균 가속도} = \frac{0 - 20 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -4 \text{ m/s}^2 \text{이고,}$$

$$5 \text{ 초} \sim 10 \text{ 초 동안의 평균 가속도} = \frac{-30 \text{ m/s} - 0}{5 \text{ s}} = -6 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 0초, 5초, 10초일 때의 순간 속도 외에 운동 도중의 속도를 알지 못하므로 이동 거리를 구할 수 없다.

19 ㄱ. 출발 후 2초 동안 자동차의 속력이 4 m/s 증가하였으

$$\text{므로 가속도는 } \frac{\text{속도 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{4 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

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

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 0~2초, 2초~4초 구간에서 평균 속력은 각각

$$\frac{\text{처음 속력} + \text{나중 속력}}{2} = \frac{2 \text{ m/s} + 6 \text{ m/s}}{2} = 4 \text{ m/s,}$$

$$\frac{6 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s}}{2} = 8 \text{ m/s} \text{이다. 등가속도 직선 운동에서 걸린}$$

시간이 같을 때 이동 거리는 평균 속력에 비례하므로 이동 거리의 비는 1 : 2이다.

$$\textbf{20} \text{ 가속도의 크기는 } a = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{(30 - 4) \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 2.6 \text{ m/s}^2 \text{이며}$$

$$\text{로 등가속도 운동 식에 대입하면 } s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 4 \text{ m/s} \times 10 \text{ s} + \frac{1}{2} \times 2.6 \text{ m/s}^2 \times (10 \text{ s})^2 = 170 \text{ m} \text{이다.}$$

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

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

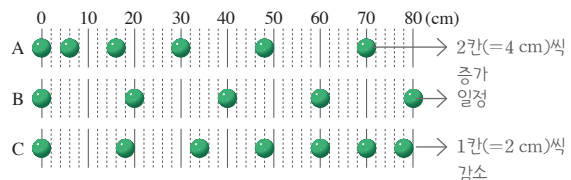
$$\text{구간 평균 속도가 } 25 \left(= \frac{10}{0.4} \right) \text{ cm/s, } 50 \text{ cm/s, } 75 \text{ cm/s, } 100$$

cm/s, 125 cm/s이므로 0.4초마다 평균 속도가 25 cm/s씩 일

정하게 증가하였다. 따라서 평균 가속도는 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25 \text{ cm/s}}{0.4 \text{ s}}$

$$= 62.5 \text{ cm/s}^2 \text{이다.}$$

22 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. A는 물체의 위치가 0.1초당 4 cm씩 일정하게 증가하므로 0.1초당 $\frac{0.04 \text{ m}}{0.1 \text{ s}} = 0.4 \text{ m/s}$ 씩 속력이 증가한다. 따라서 A는

$$\frac{0.4 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}} = 4 \text{ m/s}^2 \text{의 가속도로 등가속도 운동을 한다.}$$

ㄴ. B는 0.1초당 20 cm씩 일정하게 이동하므로 $\frac{0.2 \text{ m}}{0.1 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}$ 의 속력으로 등속 직선 운동을 한다.

ㄷ. 같은 시간 동안 이동한 거리가 많을수록 평균 속력이 크므로 같은 시간 동안 이동한 거리가 가장 먼 B가 평균 속력이 가장 크다.

▣ **바로알기** ▣ 르. A의 가속도는 4 m/s^2 이고, B는 등속 직선 운동을 하므로 가속도가 0이다. C는 물체의 위치가 0.1초당 2 cm씩 일

정하게 감소하므로 0.1초당 $\frac{0.02 \text{ m}}{0.1 \text{ s}} = 0.2 \text{ m/s}$ 씩 속력이 감소

한다. 따라서 C는 $\frac{-0.2 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}} = -2 \text{ m/s}^2$ 의 가속도로 등가속

도 운동을 한다. 세 물체의 가속도의 크기를 비교하면 $A > C > B$ 이다.

23 ㄱ. 등속 원운동을 하는 물체의 속력은 일정하다.

ㄴ. 등속 원운동을 하는 물체의 운동 방향은 계속 변한다.

ㄷ. 속력이 일정해도 운동 방향이 변하므로 가속도 운동이다.

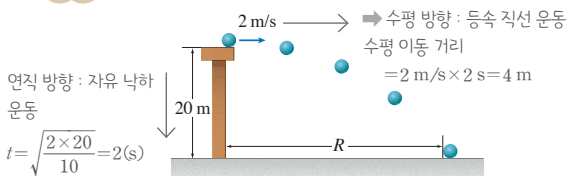
24 금속구가 관을 나온 후에는 힘을 받지 않으므로 관에서 나오는 순간의 운동 상태를 유지해야 한다. 따라서 원운동을 하는 금속구는 관에서 나오는 순간 그 점에서의 접선 방향으로 날아간다.

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

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

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

26 **문제 분석**



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

02 뉴턴 운동 법칙

개념 확인 문제

28쪽

- ① 알짜힘 ② 뉴턴 운동 제1(관성) ③ 질량 ④ 뒤로
 ⑤ 앞으로 ⑥ 관성 ⑦ 정지 ⑧ 등속 직선

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × 2 30 N, 오른쪽
 3 ㄴ, ㄷ 4 ㄱ, ㄴ 5 (1) ○ (2) ○ (3) × 6 ㄱ, ㄴ

1 (3) 물체의 운동 방향과 힘의 방향이 같으면 속력이 빨라진다.
 (5) 물체가 같은 속력으로 계속 움직이기 위해서는 알짜힘이 0이어야 한다.

2 서로 같은 방향으로 두 힘이 작용할 때 합력의 크기는 두 힘의 합인 30 N이고, 합력의 방향은 두 힘의 방향이므로 오른쪽이다.

3 ㄱ. 물체의 운동 상태에 관계없이 질량이 있는 물체는 관성이 있다.

ㄴ. 관성의 크기는 질량이 클수록 크다.

ㄷ. 물체가 원래의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

4 ㄱ, ㄴ. 운동 상태가 변하지 않으므로 두 경우 모두 물체에 작용하는 알짜힘이 0인 경우이다.

ㄷ. 등속 원운동은 운동 방향이 변하는 운동이다. 운동 방향이 변하기 위해서는 알짜힘이 작용하여야 한다.

5 (1) 망치 자루를 바닥에 부딪치면 자루는 바닥으로부터 힘을 받아 갑자기 멈춘다.

(2) 직접 힘을 받지 않은 망치 머리는 계속 운동하려는 관성에 의해 바닥 쪽으로 운동하여 자루에 단단히 박히게 된다.

(3) 망치 머리의 질량이 클수록 관성이 커서 단단히 박힌다.

6 ㄱ. 알짜힘이 0일 때 운동 상태가 변하지 않는다. 따라서 운동하던 물체는 관성에 의해 등속 직선 운동을 계속한다.

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

ㄷ. 로켓이 가스를 뒤로 내뿜으면 작용 반작용 법칙에 의해 로켓은 가스로부터 힘을 받게 되고 이 힘에 의해 로켓은 속도가 점점 빨라지는 운동을 하게 된다. 따라서 이 현상은 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)과 제3법칙(작용 반작용 법칙)으로 설명할 수 있다.

- ① 알짜힘 ② 질량 ③ 뉴턴 운동 제2(가속도) ④ 뉴턴 운동 제3(작용 반작용) ⑤ 같고 ⑥ 반대

- 1 (1) 2 m/s^2 (2) 4 m/s 2 $B > A > C$ 3 $\neg$, $\neg$, $\neg$
4 (1) $1 : 2$ (2) $2 : 1$ 5 (1) 2 m/s^2 , 오른쪽 (2) 4 N 6 (1) $\bigcirc$
(2) $\times$ (3) $\bigcirc$ (4) $\bigcirc$

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

(2) 등가속도 운동이므로 $v = at = 2 \times 2 = 4 \text{ (m/s)}$ 이다.

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

3 $\neg$. 물체의 가속도는 $\frac{5 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 2.5 \text{ m/s}^2$ 이다.

$\neg$. 등가속도 운동이므로 2초일 때 이 물체의 속력은 $v = at = 2.5 \times 2 = 5 \text{ (m/s)}$ 이다.

$\neg$. 등가속도 운동이므로 0~4초 동안 이동 거리는 $s = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 2.5 \times 4^2 = 20 \text{ (m)}$ 이다.

4 속력 - 시간 그래프의 기울기는 가속도이다. A와 B의 가속도의 비 $A : B = \frac{20}{10} : \frac{10}{10} = 2 : 1$ 이다.

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

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

5 (1) 두 물체의 가속도의 크기는 $a = \frac{10}{2+3} = 2 \text{ (m/s}^2\text{)}$ 이고, 가속도의 방향은 힘의 방향과 같으므로 오른쪽이다.

(2) 실이 물체 A에 작용하는 힘이 A에 작용하는 알짜힘이므로 $F_A = 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 4 \text{ N}$ 이다.

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

(3), (4) 두 물체 사이에 상호 작용 하는 힘의 크기는 같고 방향은 반대이며 동시에 작용한다.

Q1 A가 B를 당기는 힘과 B가 A를 당기는 힘은 작용 반작용의 관계이므로 힘의 크기는 서로 같다.

Q2 천장이나 벽에 고정된 도르래는 힘의 방향을 바꾸어 주는 역할을 한다. 따라서 도르래 양쪽에 걸쳐진 실의 장력은 크기가 같다.

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

자료 2 1 3 m/s^2 2 (1) 6 N (2) 9 N 3 9 N 4 9 N
5 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$

자료 3 1 (가) 10 N , (나) 10 N 2 5 m/s^2 3 5 N
4 15 N 5 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$

자료 4 1 mg 2 물체가 지구를 당기는 힘, mg 3 책상이 물체를 떠받치는 힘 4 0 5 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ (4) $\bigcirc$

①-1 종이를 손가락으로 튕겼을 때 종이는 튕겨 나가지만 동전은 제자리에 있으려고 하므로 동전은 종이와 함께 움직이지 못하고 종이가 빠져나간 후 중력에 의해 컵 속으로 떨어지게 된다.

①-2 실을 천천히 잡아당기면 그 힘이 실 A에도 전달된다. 이때 실 B에는 당기는 힘만 작용하지만 실 A에는 추의 무게와 실 B를 당기는 힘의 합력이 작용하게 된다. 이 합력이 실이 견딜 수 있는 힘의 크기를 넘어서면 실 A가 끊어진다.

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

①-4 (가), (나)는 정지 상태인 물체는 계속 정지해 있으려고 하는 관성에 의한 현상이다.

①-5 (1), (2) 관성을 나타내는 물체는 (가)에서는 동전, (나)에서는 추이다.

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

②-1 (1) 두 물체가 함께 운동하므로 두 물체의 가속도

$$a = \frac{F}{m_A + m_B} = \frac{15 \text{ N}}{2 \text{ kg} + 3 \text{ kg}} = 3 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

②-2 (1) A에 작용하는 알짜힘 = 질량 × 가속도

$$= 2 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N}$$

(2) B에 작용하는 알짜힘 = 질량 × 가속도

$$= 3 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s}^2 = 9 \text{ N}$$

②-3 A에 15 N의 힘이 작용할 때 A에 작용하는 알짜힘이 6 N이므로 B가 A에 작용하는 힘은 $15 \text{ N} - 6 \text{ N} = 9 \text{ N}$ 이다.

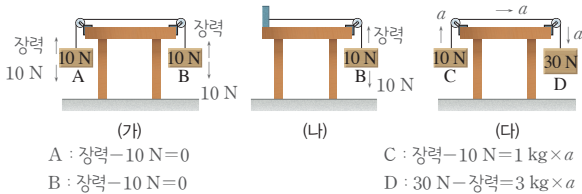
②-4 A가 B에 작용하는 힘은 B가 A에 작용하는 힘과 작용 반작용 관계이므로 힘의 크기가 같다. 따라서 A가 B에 작용하는 힘의 크기는 9 N이다.

▮ 다른 풀이 ▮ A가 B에 작용하는 힘은 B에 작용하는 알짜힘으로 9 N이다.

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

(2) 작용 반작용 법칙에 의해 힘은 항상 서로 상호 작용 한다.

3-1 문제 분석



(가)의 A에는 아래쪽으로 10 N의 중력이, 위쪽으로 실의 장력이 작용하고 있다. A가 정지 상태를 유지하고 있으므로 두 힘은 평형 상태이다. 따라서 실의 장력은 A의 무게와 같은 10 N이다. B에서도 마찬가지로 실의 장력은 10 N이다.

(나)의 B에는 아래쪽으로 10 N의 중력이, 위쪽으로 실의 장력이 작용하고 있다. B가 정지 상태를 유지하고 있으므로 두 힘은 평형 상태이다. 따라서 실의 장력은 B의 무게와 같은 10 N이다.

③-2 무게 = 질량 × 중력 가속도이므로 C의 질량은 1 kg이고, D의 질량은 3 kg이다. C와 D를 한 덩어리로 생각하면 $1 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 4 \text{ kg}$ 인 물체에 $30 \text{ N} - 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 의 힘이 작용하고 있다. 따라서 두 물체의 가속도는 $\frac{20 \text{ N}}{(1 + 3) \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

③-3 C에 작용하는 알짜힘 = $ma = 1 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 5 \text{ N}$ 이다. C에는 위로 실의 장력이 작용하고 아래쪽으로 무게 10 N이 작용하여 알짜힘은 위쪽으로 5 N이 된다.

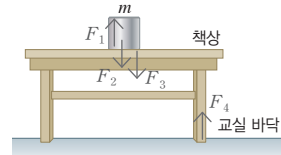
③-4 D에 작용하는 알짜힘 = $ma = 3 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 15 \text{ N}$ 이다. D에는 아래쪽으로 무게 30 N이 작용하고 위쪽으로 실의 장력이 작용하여 알짜힘이 아래쪽으로 15 N이 된다. 따라서 무게 (= 30 N) - 장력 = 15 N에서 실의 장력은 위쪽으로 15 N이다.

③-5 (1) C에는 알짜힘이 위쪽으로 5 N이 작용하므로, 장력 - 무게 (= 10 N) = 5 N에서 장력은 15 N이다.

(2) (다)에서 C와 D의 가속도는 5 m/s^2 이므로 D에 작용하는 알짜힘 = $3 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 15 \text{ N}$ 이다.

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

4-1 문제 분석



힘의 평형 관계
 F_1 : 책상이 물체를 떠받치는 힘
 F_2 : 지구가 물체를 당기는 힘
 F_3 : 물체가 책상을 누르는 힘
 F_4 : 교실 바닥이 책상을 떠받치는 힘

작용 반작용 관계

물체에 작용하는 중력의 크기는 물체의 무게로, 질량 × 중력 가속도 = mg 이다.

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

④-3 물체에는 지구가 작용하는 힘인 중력 외에 책상이 물체를 떠받치는 힘도 작용한다.

④-4 물체가 정지해 있으므로 물체에 작용하는 알짜힘은 0이다.

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

(2) 물체에 작용하는 중력과 책상이 물체를 떠받치는 힘은 한 물체에 작용하는 두 힘으로 평형 관계이다.

(3) 교실 바닥이 책상을 떠받치는 힘의 크기는 책상과 물체의 무게의 합과 크기가 같다.

(4) 물체가 책상을 누르는 힘과 책상이 물체를 위로 떠받치는 힘은 작용 반작용의 관계이다.

내신 만점 문제

36쪽~39쪽

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

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

02 A : 힘이 물체의 운동 방향과 같은 방향으로 작용하면 물체의 속력이 빨라지고, 운동 방향과 반대 방향으로 작용하면 속력이 느려진다.

B, C : 힘은 물체의 모양이나 운동 상태를 변화시키는 원인이고, 단위는 N(뉴턴)이다.

03 나. 물체에 작용하는 알짜힘이 0이면 물체의 운동 상태가 변하지 않는다. 즉, 정지해 있던 물체는 계속 정지해 있고, 운동 하던 물체는 등속 직선 운동을 한다.

바로알기 기, 리. 물체의 운동 반대 방향으로 힘이 작용한다.

디. 속력이 일정한 원운동(등속 원운동)의 경우 물체의 운동 방향과 수직으로 힘이 작용한다.

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

④ 물체가 원래의 운동 상태를 계속 유지하려는 성질을 관성이라고 한다.

⑤ 버스가 급정거하면 승객들은 운동 상태를 유지하려고 하므로 앞으로 넘어진다.

바로알기 ③ 물체의 관성은 운동 상태에 따라 달라지는 것이 아니다. 정지해 있는 물체도 관성이 있기 때문에 계속 정지 상태를 유지할 수 있다.

05 ② 이불을 막대기로 두드리면 먼지는 정지해 있으려는 관성에 의해 이불에서 떨어진다.

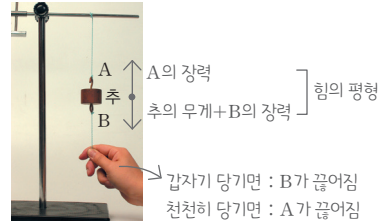
③ 원운동하는 탈수기에서 물은 매 순간 직선 운동하려는 관성이 있기 때문에 구멍을 통해 빠져나온다.

④ 뛰어가다가 발이 돌부리에 걸리면 발은 힘을 받아 멈추지만 상체는 계속 운동하려는 관성에 의해 앞으로 넘어진다.

⑤ 망치 자루를 바닥에 치면 자루는 멈추지만 머리 부분은 계속 운동하려는 관성에 의해 자루에 단단히 박히게 된다.

바로알기 ① 벽을 밀었을 때 사람이 뒤로 밀리는 것은 사람이 벽을 미는 작용에 의해 벽이 사람을 밀기 때문이다.

06 **꼭꼭** 문제 분석



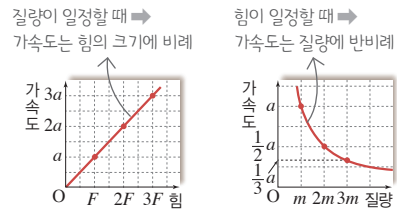
기. 추가 정지 상태를 유지하므로 추에 작용하는 알짜힘은 0이다. 추에는 위쪽으로 실 A의 장력이 작용하고, 아래쪽으로 지구가 추를 잡아당기는 중력과 실 B의 장력이 작용하고 있다. 세 힘이 힘의 평형을 이루고 있다.

디. 실 B를 갑자기 큰 힘으로 잡아당기면 관성에 의해 추가 빨리 움직이지 않으므로 실 B에 더 큰 힘이 걸린다.

바로알기 나. 실 A에는 추의 무게와 실 B를 잡아당기는 힘의 합력과 같은 크기의 힘이 걸리고, 실 B에는 잡아당기는 힘만 작용하고 있다. 따라서 실 A에 걸리는 장력이 실 B에 걸리는 장력보다 크다.

07 수레에 작용하는 힘 F 를 일정하게 하고 수레의 질량 m 을 증가시키면 뉴턴 운동 제2법칙(가속도 법칙)의 식 $F=ma$ 에 의해 수레의 가속도 a 와 질량 m 은 반비례한다.

08 **꼭꼭** 문제 분석



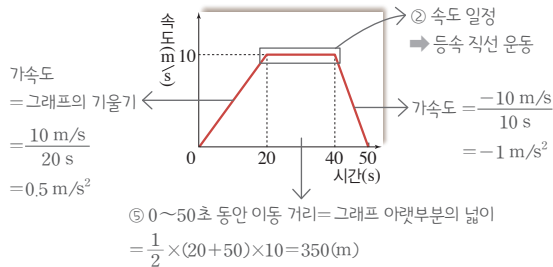
속도 - 시간 그래프의 기울기는 **속도 변화량 / 걸린 시간**이므로 가속도를 의미한다. (가) 그래프에서 가속도(속도 - 시간 그래프의 기울기)가 힘의 크기에 비례함을 알 수 있다. (나) 그래프에서 가속도(속도 - 시간 그래프의 기울기)가 질량에 반비례함을 알 수 있다.

모범답안 질량이 일정할 때 가속도는 힘의 크기에 비례하고, 힘이 일정할 때 가속도는 질량에 반비례한다.

채점 기준	배점
가속도와 힘의 크기, 가속도와 질량의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지의 관계만 옳게 서술한 경우	50 %

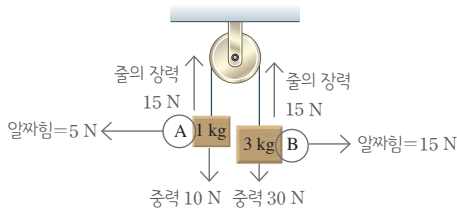
- 09 ㄱ. 물체의 무게는 $2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다.
 ㄴ. 알짜힘이 위쪽으로 20 N 작용하므로 가속도는 위쪽으로 $\frac{20 \text{ N}}{2 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}^2$ 이다.
 ⓑ **바로알기** ㄴ. 물체에는 위쪽으로 40 N , 아래쪽으로 물체의 무게인 20 N 이 작용하고 있으므로 알짜힘은 위쪽으로 20 N 이다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



- ① 0~20초 동안 속도와 가속도 모두 (+)값이므로 가속도의 방향은 운동 방향과 같다.
 ③ 40초~50초 동안 작용한 힘은 $200 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}^2) = -200 \text{ N}$ 이므로 힘의 크기는 200 N 이다.
 ⓑ **바로알기** ④ 40초~50초 동안 속도가 (+)값이므로 물체의 운동 방향은 0~50초 동안 바뀌지 않았다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



- ㄱ. 두 물체에 작용하는 알짜힘=B에 작용하는 중력-A에 작용하는 중력 $= 3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 - 1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 이다. 따라서 두 물체의 가속도 $= \frac{20 \text{ N}}{(1+3) \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.
 ㄴ. B에 작용하는 알짜힘 $= 3 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 15 \text{ N}$
 ⓑ **바로알기** ㄴ. B에 작용하는 알짜힘=B에 작용하는 중력-줄의 장력이므로 줄의 장력=B에 작용하는 중력-B에 작용하는 알짜힘 $= 30 \text{ N} - 15 \text{ N} = 15 \text{ N}$ 이다.

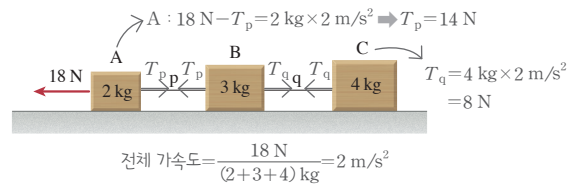
- 12 ㄱ. 두 물체는 같은 가속도로 운동한다. 전체 질량이 15 kg 이고, 전체 알짜힘이 30 N 이므로 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{30}{15} = 2(\text{m/s}^2)$ 이다.

ㄴ. A에 작용하는 알짜힘은 $10 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$, B에 작용하는 알짜힘은 $5 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다.

ⓑ **바로알기** ㄴ. B에는 오른쪽으로 30 N 의 힘이, 왼쪽으로 실이 B를 당기는 힘(장력)이 작용한다. 두 힘의 합력이 알짜힘이므로 $30 \text{ N} - \text{장력} = 5 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2$ 에 의해 장력 $= 20 \text{ N}$ 이 된다.

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

13 **꼼꼼** 문제 분석



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

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

ⓑ **바로알기** ㄴ. A에는 왼쪽으로 18 N , 오른쪽으로 p의 장력(T_p)이 작용하므로 $18 - T_p = 2 \times 2 = 4(\text{N})$ 에 의해 $T_p = 14 \text{ N}$ 이다. C에는 q의 장력(T_q)이 알짜힘으로 작용하므로 $T_q = 4 \times 2 = 8(\text{N})$ 이다. 따라서 $T_p : T_q = 14 : 8 = 7 : 4$ 가 된다.

ⓑ **다른 풀이** ㄴ. T_p 는 B와 C를 함께 운동시키는 알짜힘이고, T_q 는 C를 운동시키는 알짜힘이다. 가속도가 같으므로 장력의 비는 질량에 비례한다. 따라서 $T_p : T_q = (3+4) : 4 = 7 : 4$ 가 된다.

- 14 전체 질량이 5 kg 이고, 알짜힘이 20 N 이므로 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{20}{5} = 4(\text{m/s}^2)$ 이다. A에 작용하는 알짜힘은 오른쪽으로 20 N 과 왼쪽으로 B가 A를 미는 힘 F 의 합력이다. 따라서 $20 - F = 4 \times 4$ 에 의해 $F = 4 \text{ N}$ 이다.

ⓑ **다른 풀이** A가 B를 미는 힘이 B에 작용하는 알짜힘이므로 $F_{AB} = m_B \times a = 1 \times 4 = 4(\text{N})$ 이다. 작용 반작용 법칙에 따라 B가 A를 미는 힘 F_{BA} 도 4 N 이다.

ⓑ **모범답안** 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{20 \text{ N}}{5 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2$ 이고, B가 A를 미는 힘을 F 라고 하면 $20 \text{ N} - F = 4 \text{ kg} \times 4 \text{ m/s}^2$ 에 의해 $F = 4 \text{ N}$ 이다.

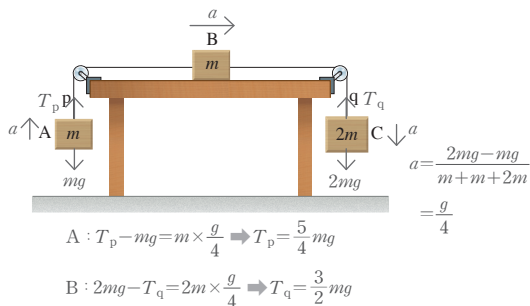
채점 기준	배점
가속도와 힘을 모두 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
가속도와 힘의 답만 옳은 경우	50 %

15 ㄱ. 질량 3 kg인 B의 무게 30 N에 의해 두 물체가 같은 가속도로 운동한다. 따라서 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{30 \text{ N}}{(2+3) \text{ kg}} = 6 \text{ m/s}^2$ 이다.

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

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

16 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. A, B, C를 한 덩어리로 생각하면 A의 무게(mg)와 C의 무게($2mg$)가 서로 반대 방향으로 작용하고 있다. 두 힘의 합력이 세 물체를 운동시키는 알짜힘으로 작용하므로 알짜힘은 $2mg - mg = 4ma$ 이다. 따라서 가속도 $a = \frac{mg}{4m} = \frac{1}{4}g$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. p의 장력을 T_p 라 하고, A에 대한 운동 방정식을 세우면 $T_p - mg = m \times \frac{1}{4}g$ 이므로 $T_p = \frac{5}{4}mg$ 이다.

ㄷ. q의 장력을 T_q 라 하고, C에 대한 운동 방정식을 세우면 $2mg - T_q = 2m \times \frac{1}{4}g$ 이므로 $T_q = \frac{3}{2}mg$ 이다. 따라서 p와 q가 B를 당기는 힘의 크기는 다르다.

17 ④ A가 줄을 잡아당기면 줄의 장력을 통해 힘이 B에 전해진다. 이때 B도 동시에 줄을 잡아당기게 되고 이 힘이 그대로 줄의 장력을 통해 A에게 전달된다. 하나의 줄이 양 끝에 있는 물체에 작용하는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.

▮ **바로알기** ▮ ① A가 줄을 잡아당기면 동시에 줄도 A를 잡아당긴다. 즉, A도 힘을 받는다.

② A, B 모두 줄의 장력을 받으므로 A는 오른쪽으로 B는 왼쪽으로 끌려간다.

③ A, B가 줄을 통해 작용하는 힘의 크기는 같으므로 줄이 A, B에 작용하는 힘의 크기는 같다.

⑤ 같은 크기의 힘을 받으므로 질량이 큰 A의 가속도가 B보다 작다. 따라서 A가 B보다 천천히 끌려간다.

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

19 ① 두 물체가 함께 운동하므로 두 물체의 가속도

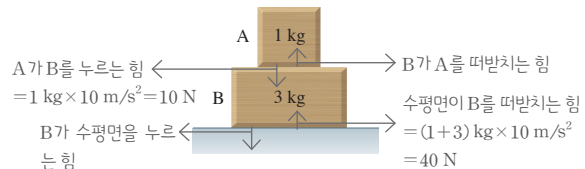
$$a = \frac{F}{m_A + m_B} = \frac{20 \text{ N}}{3 \text{ kg} + 2 \text{ kg}} = 4 \text{ m/s}^2 \text{이다.}$$

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

④ B가 A를 미는 힘 = A에 작용하는 알짜힘 = 12 N

▮ **바로알기** ▮ ③ A가 B를 미는 힘은 B가 A를 미는 힘과 작용 반작용 관계이므로 B가 A를 미는 힘과 크기가 12 N으로 같다.

20 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. A가 B를 누르는 힘은 A에 작용하는 중력과 크기가 같으므로 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. B가 수평면으로부터 받는 힘은 수평면이 B를 떠받치는 힘으로, B가 수평면을 누르는 힘과 작용 반작용 관계이다. B가 수평면을 누르는 힘의 크기는 A와 B의 무게의 합과 같으므로 $(1+3) \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 40 \text{ N}$ 이다.

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

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

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

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

03 운동량과 충격량

개념 확인 문제

42쪽

- ① 운동량 ② 속도 ③ 질량 ④ 운동량 보존 ⑤ 외력
⑥ $m_A v_A'$ ⑦ 작용 반작용

- 1 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 2 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\bigcirc$ 3 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$
(3) $\bigcirc$ (4) $\times$ 4 $-2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 5 (1) 왼쪽 (2) 감소한다.
(3) 증가한다. (4) 같다. 6 4 m/s

- 1 $p = mv = 0.5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} = 5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.
- 2 (1) 운동량은 크기뿐만 아니라 방향이 있는 물리량이다.
(2) 물체가 운동 방향으로 힘을 받으면 속력이 증가하므로 운동량의 크기가 증가한다.
(3) 물체가 운동 반대 방향으로 힘을 받으면 속력이 감소하므로 운동량의 크기가 감소한다.
(4) 운동량 = 질량 $\times$ 속도이므로 물체의 질량이 같을 때 속력이 빠를수록 운동량이 크다.
- 3 (1) 3초일 때 운동량이 $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이고 물체의 질량이 2 kg 이므로 $8 = 2v$ 에서 물체의 속력 v 는 4 m/s 이다.
(2) 운동량 - 시간 그래프의 기울기는 $\frac{\text{운동량 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{m\Delta v}{\Delta t} = ma = F$ 가 된다. 즉, 운동량 - 시간 그래프의 기울기는 물체가 받은 알짜힘이다.
(3) $0 \sim 3$ 초 동안 그래프의 기울기는 $\frac{6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{3 \text{ s}} = 2 \text{ N}$ 으로 일정하다.
(4) $0 \sim 3$ 초 동안 알짜힘이 2 N 이고, 물체의 질량이 2 kg 이므로 $2 = 2a$ 에서 가속도 a 는 1 m/s^2 이다.
- 4 $2 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} + 3 \text{ kg} \times (-4 \text{ m/s}) = -2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- 5 (1) A가 오른쪽으로 운동하다 B에 부딪히면 운동 반대 방향인 왼쪽으로 힘을 받는다. 이때 B는 오른쪽으로 힘을 받는다.
(2) A가 충돌 과정에서 운동 반대 방향으로 힘을 받으므로 속력이 감소하여 충돌 후 운동량이 감소한다.
(3) 충돌 과정에서 B는 운동 방향으로 힘을 받으므로 속력이 증가한다. 따라서 충돌 후 B의 운동량은 증가한다.
(4) 충돌 과정에서 A의 감소한 운동량과 B의 증가한 운동량이 같으므로 운동량 변화량이 0이다. 따라서 충돌 전 운동량의 합과 충돌 후 운동량의 합은 일정하게 보존된다.

- 6 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 전 운동량의 합은 충돌 후 운동량의 합과 같다. $2 \times 5 + 4 \times 2 = 2 \times 1 + 4v$ 에서 충돌 후 B의 속력 v 는 4 m/s 이다.

개념 확인 문제

46쪽

- ① 충격량 ② 힘 ③ 시간 ④ 충격량 ⑤ 운동량의 변화량
⑥ 처음 운동량 ⑦ 충격량 ⑧ 힘 ⑨ 충격력
⑩ 길게

- 1 $15 \text{ N} \cdot \text{s}$ 2 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$ (5) $\times$ 3 $10 \text{ N} \cdot \text{s}$
4 ㉠ 충돌 시간, ㉡ 충격력 5 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$ (4) $\times$ (5) $\bigcirc$
6 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ

- 1 힘 - 시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량이다. 충격량 = 힘 $\times$ 충돌 시간 = $5 \text{ N} \times 3 \text{ s} = 15 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.
- 2 (1) 충격량 = 물체가 받은 힘 $\times$ 힘을 받은 시간
(2) 물체가 힘을 받으면 속도가 변하므로 물체의 운동량이 변한다.
(3) 충격량 = 힘 $\times$ 충돌 시간이므로 힘의 크기가 같을 때 힘을 받는 시간이 길수록 충격량이 크다.
(4) 충격량의 단위는 $\text{N} \cdot \text{s}$, 운동량의 단위는 $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 그러나 $\text{N} \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m/s}$ 가 되므로 충격량과 운동량의 단위는 같다.
(5) 충격량의 방향은 힘의 방향과 같다. 물체가 운동 방향으로 힘을 받으면 속력이 빨라지므로 운동량의 크기가 커진다.
- 3 물체가 받은 충격량만큼 운동량이 변하므로 운동량의 변화량은 $10 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.
- 4 충격량이 같을 때 충돌 시간이 길수록 충격력이 작아진다. 포수는 야구공을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받아 충돌 시간을 길게 한다. 그 결과 충격력이 작아져 손을 보호할 수 있다.
- 5 (1) 같은 질량의 유리컵이 같은 높이에서 떨어졌으므로 바닥에 충돌 직전 속도가 같다. 또한 충돌 후 둘 다 정지하므로 두 유리컵의 운동량의 변화량은 같다.
(2) 두 유리컵의 운동량의 변화량이 같으므로 두 유리컵이 받은 충격량도 같다.
(3) 평균 힘은 충격량을 충돌 시간으로 나누어 구한다. 충격량은 같은데 충돌 시간이 다르므로 평균 힘의 크기도 다르다.

- (4) 유리컵이 견딜 수 있는 힘보다 큰 힘을 받으면 유리컵이 깨진다. 마룻바닥에 떨어진 유리컵은 깨지고 방석에 떨어진 유리컵은 깨지지 않은 것으로 보아 두 유리컵이 받은 최대 힘의 크기가 다를 수 있다. 충돌 시간이 짧은 경우에 최대 힘이 더 크다.
- (5) 유리컵이 힘을 받은 시간은 딱딱한 마룻바닥보다 폭신한 방석에서 더 길다.

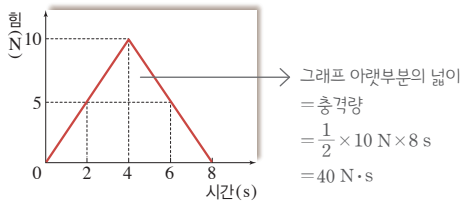
6 ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ. 에어백, 자동차 범퍼, 헬멧, 안전 매트리스 등은 모두 충돌 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 장치이다.
 ㅁ. 방음벽은 소리를 흡수하거나 반사하는 장치이다.

대표 자료 분석

47쪽

- 자료 1** 1 40 kg·m/s 2 10 m/s 3 55 kg·m/s
 4 (1) ○ (2) × (3) ×
- 자료 2** 1 (1) = (2) = (3) < 2 ㉠ 길므로, ㉡ 작게 3 (1) × (2) ○ (3) ○

1-1 꼼꼼히 문제 분석



0초일 때 물체의 운동량이 0이므로 8초일 때 물체의 운동량의 크기는 물체가 받은 충격량의 크기와 같은 40 kg·m/s이다.

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

1-3 이 물체의 운동량 = 질량 × 속도 = 5 kg × 3 m/s = 15 kg·m/s이다. 나중 운동량 = 처음 운동량 + 충격량이므로 8초 후 운동량 = 15 kg·m/s + 40 kg·m/s = 55 kg·m/s이다.

1-4 (1) 0~8초 동안 충격량 = $\frac{1}{2} \times 10 \text{ N} \times 8 \text{ s} = 40 \text{ N} \cdot \text{s}$
 (2) 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량의 변화량과 같다.
 (3) 4초 이후부터 물체의 가속도는 감소한다.

2-1 (1), (2) 그래프 아랫부분의 넓이 S_1 과 S_2 가 같으므로 유리컵이 받은 충격량, 즉 유리컵의 운동량의 변화량은 $A = B$ 이다.

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

2-2 카펫 위와 시멘트 바닥에 떨어진 두 유리컵이 받은 충격량은 같다. 그러나 카펫 위에 떨어진 유리컵은 시멘트 바닥에 떨어진 유리컵보다 힘을 받은 시간이 길므로, 평균 힘을 작게 받아서 깨지지 않는다.

2-3 (1) $F_1 > F_2$ 이므로 유리컵이 받은 평균 힘의 크기는 $A > B$ 이다.

(2) 충격량 = 충격력 × 충돌 시간이므로 충격량이 같을 때 충돌 시간과 충격력은 반비례한다.

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

내신 만점 문제

48쪽~51쪽

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

01 ㄱ. 운동량은 크기뿐만 아니라 방향까지 나타내는 물리량이다.

ㄷ. 운동량 = 질량 × 속도이므로 질량이 클수록, 속력이 빠를수록 운동량이 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 운동량은 운동하는 물체가 운동 상태를 계속 유지하려는 관성으로 볼 수 있다. 운동량을 변화시키기 위해서는 물체에 힘을 가해야 한다.

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

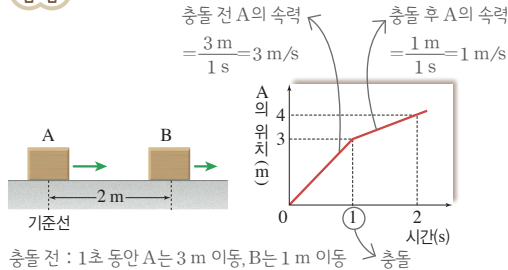
▮ **바로알기** ▮ ① 0~2초 사이에 그래프의 기울기가 일정하므로 물체에 작용한 알짜힘은 일정하다.

② 세로축의 운동량 값을 질량으로 나누면 속도 - 시간 그래프가 된다. 2초일 때 속력이 5 m/s이므로 0~2초 사이에 속도 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이인 물체의 이동 거리는 5 m이다.

- ④ 0초일 때 운동량이 0이고, 6초일 때도 운동량이 0이므로 0~6초 동안 물체의 운동량의 변화량은 0이다.
- ⑤ 0~2초 사이와 4초~6초 사이에 그래프의 기울기의 부호가 반대이므로 물체가 받은 알짜힘의 방향은 반대이다.

03 운동량 보존 법칙에 따라 충돌 전 운동량의 합=충돌 후 운동량의 합이므로 $4 \times 4 + 2 \times 2 = 4 \times 3 + 2v$ 에 의해 충돌 후 B의 속도 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

04 **꼭 짚음** 문제 분석



ㄱ. 위치 - 시간 그래프의 기울기는 속도이다. 0~1초 동안 기울기가 3 m/s이므로 충돌 전 A의 속력은 3 m/s이다.

ㄴ. 충돌 후(1초 이후) 그래프의 기울기는 $\frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이므로 A의 속력은 1 m/s이다.

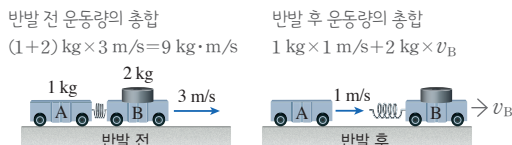
ㄷ. 충돌 전 A와 B 사이의 거리가 2 m이었고, A는 1초 동안 3 m 이동하여 충돌하였으므로, 충돌 전 B는 1초 동안 1 m 이동하였다. 따라서 충돌 전 B의 속력은 1 m/s임을 알 수 있다. A, B의 질량을 m 이라 하고 운동량 보존 법칙을 적용하면 $m \times 3 \text{ m/s} + m \times 1 \text{ m/s} = m \times 1 \text{ m/s} + m \times v$ 에 의해 충돌 후 B의 속력 $v = 3 \text{ m/s}$ 이다.

05 ㄱ. 충돌 후 A의 속력이 느려졌으므로 A의 운동량은 감소하였다.

ㄴ. 충돌 전의 운동량은 A의 운동량인 $3mv$ 이고, 충돌 후 두 물체의 운동량도 $(m+2m)v = 3mv$ 이므로 충돌 전과 후에 운동량이 보존되었다.

▮ **바로알기** ㄷ. 정지해 있던 B의 운동량이 충돌 후 $2mv$ 가 되었으므로 충돌 과정에서 B가 받은 충격량=운동량의 변화량= $2mv$ 이다.

06 **꼭 짚음** 문제 분석



튀어나가기 전 운동량의 총합은 $(1+2) \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = 9 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 반발 전후 운동량은 보존되므로 $9 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s} + 2 \text{ kg} \times v_B$ 에서 반발 후 B의 속도 $v_B = 4 \text{ m/s}$ 이다.

07 정지해 있던 물체가 받은 충격량만큼 운동량을 갖게 된다. 힘 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량이므로 10초일 때 물체의 운동량은 $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 물체의 질량이 5 kg이므로 $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 5 \text{ kg} \times v$ 에서 10초일 때 물체의 속력 $v = 4 \text{ m/s}$ 이다.

08 ㄱ. A의 운동량의 변화량의 크기가 $\frac{3}{2}mv$ 이므로 충돌 과정에서 A가 받은 충격량의 크기는 $\frac{3}{2}mv$ 이다.

▮ **바로알기** ㄴ. 충돌 전 운동량의 총합은 충돌 후 운동량의 총합과 같으므로 $2mv = \frac{1}{2}mv + 2mv'$ 에서 충돌 후 B의 속력 $v' = \frac{3}{4}v$ 이다.

ㄷ. 충돌 전 운동 에너지 $= \frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$ 이고, 충돌 후 운동 에너지 $= \frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}(2m)\left(\frac{3}{4}v\right)^2 = \frac{11}{16}mv^2$ 이다. 따라서 충돌 전과 후의 운동 에너지가 다르므로 충돌 전후 운동 에너지가 보존되지 않는다.

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

ㄴ. 충격량은 운동량의 변화량과 같고, A와 B가 받은 충격량은 크기가 같고 방향이 반대이므로 충격량의 합은 0이다. 따라서 운동량의 변화량의 합도 0이 된다.

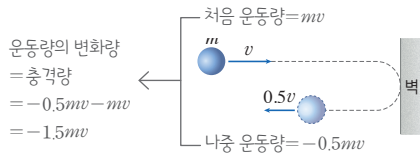
ㄷ. 처음에 정지해 있었으므로 운동량의 변화량=질량×나중 속도와 같다. A와 B의 운동량의 변화량이 같으므로 질량이 큰 A의 나중 속도 크기가 B보다 작다.

10 정지해 있던 물체는 받은 충격량만큼 운동량을 가지게 된다. 힘 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량이므로 10초 후 물체의 운동량은 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 가 된다. 물체의 질량이 2 kg이므로 속력은 15 m/s 이다.

▮ **모범답안** 0~10초 동안 물체가 받은 충격량은 그래프 아랫부분의 넓이이므로 $30 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 이 값은 10초일 때 물체의 운동량과 같으므로 $30 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 2 \text{ kg} \times v$ 에서 10초 후 물체의 속력 $v = 15 \text{ m/s}$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 답을 모두 옳게 쓴 경우	100 %
답만 옳게 쓴 경우	50 %

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄷ. 오른쪽 방향을 (+)로 하면 공의 충돌 전 운동량은 mv , 충돌 후 운동량은 $-0.5mv$ 이다. 충돌하는 과정에서 공이 벽으로부터 받은 충격량은 운동량의 변화량과 같으므로 $-1.5mv$ 이며, 크기는 $1.5mv$ 이다.

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

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

12 두 자동차 모두 v 의 속력으로 벽에 충돌하여 A는 v' 의 속력으로 튕겨 나왔고, B는 정지했다고 하자. 운동량은 방향이 있는 물리량이므로 처음 운동 방향을 (+)로 하면 튕겨 나온 방향은 (-)가 된다. 따라서 A의 속도 변화량은 $-v' - v = -(v' + v)$ 이고, B의 속도 변화량은 $0 - v = -v$ 이다. A의 속도 변화량의 크기 $v' + v$ 가 B의 속도 변화량의 크기 v 보다 크므로 A의 운동량의 변화량이 B보다 크다.

모범답안 A. 벽에서 튕겨 나온 A의 운동량의 변화량이 벽에 붙어 정지한 B의 운동량의 변화량보다 크다. 운동량의 변화량은 충격량과 같으므로 A가 받은 충격량이 B가 받은 충격량보다 크다.

채점 기준	배점
운동량의 변화량과 충격량을 모두 포함하여 옳게 서술한 경우	100 %
운동량의 변화량과 충격량 중 한 가지만 포함하여 옳게 서술한 경우	50 %

13 공은 중력에 의해 자유 낙하 운동을 한다.

ㄱ. 등가속도 운동 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 에 의해 지면에 충돌하기 직전 공의 속력 $v = \sqrt{2as} = \sqrt{2 \times 10 \times 20} = 20(\text{m/s})$ 이다.

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

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 공이 지면으로부터 받은 충격력의 방향은 중력과 반대 방향이므로 충격량의 방향은 중력과 반대 방향이다.

14 ① 물체는 처음에 정지해 있었으므로 2초일 때 물체의 운동량은 물체가 받은 충격량과 같다. 0~2초 동안 물체가 받은 충격량은 힘 - 시간 그래프 아랫부분의 넓이와 같으므로 $\frac{1}{2} \times 5 \times 2 = 5(\text{N} \cdot \text{s})$ 이다. 따라서 2초일 때 물체의 운동량의 크기는 $5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다.

② 2초~4초 동안 물체에 작용하는 힘이 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 한다.

③ 0~4초 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 $\frac{1}{2} \times (2+4) \times 5 = 15(\text{N} \cdot \text{s})$ 이다.

⑤ 0~6초 동안 물체가 받은 충격량의 크기는 $\frac{1}{2} \times (2+6) \times 5 = 20(\text{N} \cdot \text{s})$ 이므로 6초일 때 물체의 운동량은 $20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 이다. 따라서 물체의 속도의 크기는 $\frac{20 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2 \text{ kg}} = 10 \text{ m/s}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 4초 이후에 물체에 작용하는 힘이 감소하므로 물체의 가속도가 감소한다. 따라서 물체의 속도 증가량이 감소할뿐 물체의 속도는 증가한다.

15 ㄱ. 0~3초 동안 물체가 받은 충격량 = 0~3초 동안 물체의 운동량의 변화량 = 3초일 때의 운동량 - 0초일 때의 운동량 = $8 \text{ kg} \cdot \text{m/s} - 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 6 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 6 \text{ N} \cdot \text{s}$

ㄴ. 운동량 - 시간 그래프의 기울기 = $\frac{\text{운동량의 변화량}}{\text{걸린 시간}} = \frac{m\Delta v}{\Delta t} = ma$ 이므로 물체에 작용한 알짜힘과 같다. 따라서 물체에 작용하는 알짜힘은 $\frac{8-2}{3} = 2(\text{N})$ 으로 일정하다.

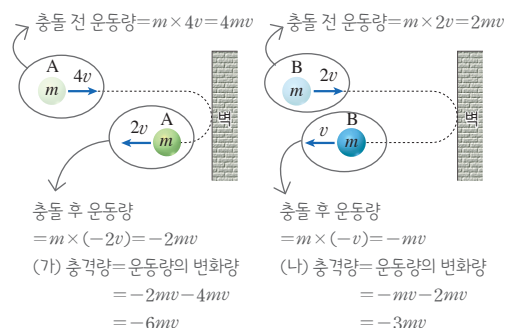
▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 3초 이후에 운동량이 일정하므로 운동량의 변화량은 0이다. 따라서 3초 이후에 물체에 작용한 충격량은 0이다.

16 ㄱ. 대롱의 길이가 길수록 힘을 받는 시간이 길어지므로 화살이 받는 충격량이 커진다.

ㄴ. 대롱의 길이가 길수록 화살이 받는 충격량이 커서 대롱을 떠나는 화살의 운동량이 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 에어백은 충돌 시간을 길게 하여 충격력을 줄이는 장치이므로 대롱의 길이에 따라 충격량이 달라지는 것과 원리가 다르다.

17 **꼼꼼** 문제 분석



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

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A의 운동량 변화량의 크기는 $6mv$ 이다.

ㄷ. B의 충돌 시간을 t 라고 하면, A의 충돌 시간은 $2t$ 이다.

$I = Ft$ 에서 $F = \frac{I}{t}$ 이므로 벽이 공에 작용한 평균 힘의 크기는

(가)에서 $\frac{6mv}{2t} = \frac{3mv}{t}$, (나)에서 $\frac{3mv}{t}$ 이다. 따라서 (가)와 (나)

에서 벽이 공에 작용하는 평균 힘의 크기는 같다.

18 ② 야구공을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 충돌 시간이 길어져 충격력을 작게 받는다.

▮ **바로알기** ▮ ① 대포의 포신이 길수록 충돌 시간이 길어져 충격량을 크게 받아 포신을 떠나는 포탄의 운동량이 크다.

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

④ 대포로 화살을 날릴 때 대포가 길수록 힘을 받는 시간이 길어서 충격량을 크게 받으므로 운동량이 커서 멀리 나간다.

⑤ 안전 벨트를 착용하면 충돌 사고시 몸을 잡아주는 역할을 할 뿐 충돌 시간을 길게 하는 것은 아니다.

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

• 계단에서 뛰어내릴 때 무릎을 구부리면 무릎에 힘이 작용하는 시간이 길어져 무릎이 덜 아프다.

• 자동차에 에어백을 장착하면 사고가 발생했을 때 자동차가 충돌하여 정지할 때까지 사람에게 힘이 작용하는 시간이 길어져 사람에게 작용하는 힘의 크기가 최소화된다.

• 물 풍선을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받으면 물 풍선에 힘이 작용하는 시간이 길어져 물 풍선이 터지지 않는다.

• 야구 경기를 할 때 포수가 두꺼운 야구 장갑을 끼고 야구공을 받으면 힘을 받는 시간이 길어져 손에 작용하는 힘의 크기가 작아지므로 손이 덜 아프다.

• 공기가 충전된 포장재는 상품이 충돌에 의해 힘을 받는 시간을 길게 하여 충격을 줄여 준다.

▮ **모범답안** ▮ • 계단에서 뛰어내릴 때 무릎을 구부린다.

• 안전을 위해 자동차에 에어백을 장착한다.

• 물 풍선을 받을 때 손을 뒤로 빼면서 받는다.

• 야구 경기에서 포수는 두꺼운 야구 장갑을 끼고 야구공을 받는다.

• 공기가 충전된 포장재로 물건을 포장한다. 등

채점 기준

배점

세 가지 모두 옳게 서술한 경우

100 %

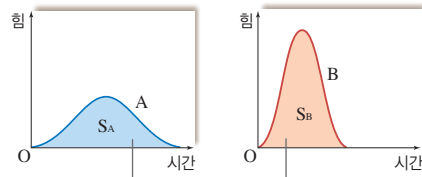
세 가지 중 두 가지만 옳게 서술한 경우

60 %

세 가지 중 한 가지만 옳게 서술한 경우

30 %

20 꼼꼼 문제 분석



그래프 아랫부분의 넓이 = 충격량
= 운동량의 변화량

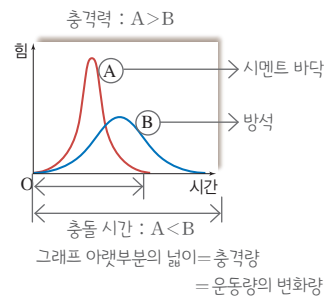
- 충격량 : $A = B (S_A = S_B)$
- 충돌 시간 : $A > B$
- 평균 힘 : $A < B$

ㄱ. 두 자동차가 벽에 충돌하기 전 운동량이 같고, 벽에 충돌하여 멈추었으므로 두 자동차의 운동량 변화량이 같다. 따라서 두 자동차가 받은 충격량이 같으므로 두 그래프 아랫부분의 넓이 S_A , S_B 는 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 평균 힘은 충격량을 걸린 시간으로 나누어 구한다. 충격량은 같지만 충돌 시간이 다르므로 평균 힘이 다르다. 충돌 시간이 짧은 B의 평균 힘이 더 크다.

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

21 꼼꼼 문제 분석



ㄷ. 그래프 아랫부분의 넓이는 충격량을 나타내므로 A, B의 충격량은 같다. 즉, 같은 높이에서 똑같은 두 달걀을 떨어뜨린 경우 충돌 직전 속력이 같고, 충돌 후 속력도 0으로 같으므로 두 달걀의 운동량의 변화량과 두 달걀이 받은 충격량은 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A는 시멘트 바닥에 떨어져 충격력을 받는 시간이 짧은 달걀의 경우이고, B는 방석에 떨어져 충격력을 받는 시간이 긴 달걀의 경우이다.

ㄴ. 두 달걀이 받은 충격량은 같다.

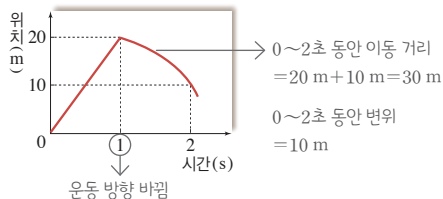
- ① 변위 ② 속력 ③ 속도 ④ 속도 ⑤ 이동 거리 ⑥ 등가속도
⑦ 알짜힘 ⑧ 등속 직선 ⑨ 관성 ⑩ 비례 ⑪ 반비례 ⑫ 같
⑬ 반대 ⑭ 질량 ⑮ 운동량 보존 ⑯ 힘 ⑰ 충격량 ⑱ 충격량
⑲ = ⑳ 길게

중단원 마무리 문제

54쪽~57쪽

- 01 ④ 02 ④ 03 ③ 04 ② 05 ① 06 ③ 07 ③
08 ① 09 A : 4 N, B : 6 N 10 ③ 11 ③ 12 ③
13 4 N·s 14 L, C, R, B 15 ④ 16 ① 17 해설
참조 18 해설 참조 19 해설 참조 20 해설 참조

01 문제 분석



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

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

02 ㄱ. 등가속도 운동은 가속도가 일정한 운동이므로 매초당 속도의 변화량이 일정하다.

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

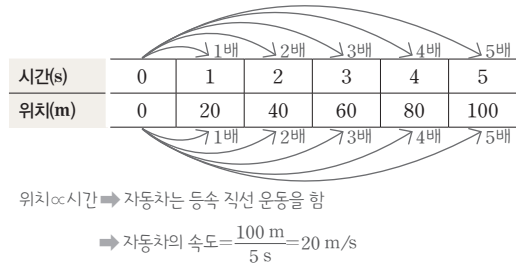
▮ **바로알기** ㄷ. 정지 상태에서 등가속도 직선 운동을 하는 물체의 변위 $s = \frac{1}{2}at^2$ 이고 가속도 a 가 일정하므로 변위의 크기는 시간 t 의 제곱에 비례하여 증가한다.

03 ㄱ. t_2 일 때 A, B의 위치가 같으므로 0부터 t_2 까지 이동한 거리는 A, B가 같다. 따라서 A, B의 평균 속력은 같다.

ㄷ. 위치-시간 그래프의 기울기가 속도이므로 t_1 을 전후하여 B의 속도는 부호가 (+)이며, 속도의 크기는 증가하고 있다. 속도가 증가하는 운동은 운동 방향으로 힘을 받는 경우이고, 가속도의 방향은 힘의 방향과 같으므로 t_1 일 때 B의 운동 방향과 가속도의 방향은 같다.

▮ **바로알기** ㄴ. 위치-시간 그래프의 기울기는 속도이다. t_1 을 전후하여 A의 속도는 부호가 (+)이며, 속도의 크기는 감소하고 있다. 속도가 감소하는 운동은 운동 반대 방향으로 힘을 받는 경우이고, 가속도의 방향은 힘의 방향과 같으므로 t_1 일 때 A의 운동 방향과 가속도의 방향은 반대이다.

04 문제 분석



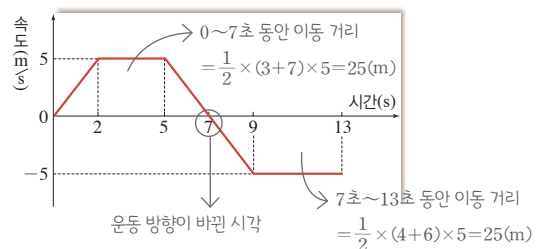
ㄴ, ㄷ. 자동차는 등속 직선 운동을 하므로 속도-시간 그래프에서 그래프는 시간축에 나란한 모양(ㄴ)이고, 위치-시간 그래프에서 그래프의 기울기는 일정(ㄷ)하다.

05 ㄱ. 정지 상태에서 출발한 자동차가 200 m를 이동하여 나중 속력이 10 m/s가 되었으므로 등가속도 운동의 식 $2as = v^2 - v_0^2$ 을 이용하면 $2 \times a \times 200 = 10^2 - 0^2$ 에서 $a = 0.25(\text{m/s}^2)$ 이다.

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

ㄷ. $s = \frac{1}{2}at^2$ 에 의해 $t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 200}{0.25}} = 40(\text{s})$ 이다.

06 문제 분석



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

▮ **바로알기** ㄱ. 속도의 부호는 운동 방향을 나타내므로, 속도의 부호가 (+)일 때의 운동 방향과 (-)일 때의 운동 방향은 반대이

다. 따라서 속도의 부호가 (+)에서 (-)로 바뀌는 순간인 7초일 때 물체의 운동 방향이 바뀌어 물체가 출발점으로 되돌아오므로 7초일 때 출발점으로부터 가장 멀리 떨어져 있다.

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

07 B를 자유 낙하 시킬 때의 가속도는 중력 가속도 g 이다. 그러나 B에 A를 매달아 놓으면 B에 작용하는 중력 Mg 가 두 물체 A, B를 함께 운동시키기 때문에 두 물체의 가속도

$$a = \frac{Mg}{m+M} = \frac{M}{m+M}g = \frac{1}{\frac{m}{M}+1}g \text{가 된다. } M \text{이 증가하면 } a$$

는 점점 증가하지만 M 이 m 에 비해 매우 커지면 $\frac{m}{M}$ 은 0에 가

까워진다. 따라서 $\frac{1}{\frac{m}{M}+1}$ 이 1에 가까워져 a 는 점점 g 에 가까워

진다.

08 ① 관성의 크기는 물체의 질량이 클수록 크다.

▮ **바로알기** ▮ ②, ③, ④ 관성은 물체가 받는 힘의 크기, 물체의 운동 상태 등과 관련이 없고, 물체가 가지고 있는 고유의 성질이다. ⑤ 수평면에서 운동하던 물체가 속력이 감소하여 정지하는 까닭은 운동 반대 방향으로 마찰력이나 공기 저항을 받기 때문이다. 운동하는 물체가 아무 힘도 받지 않으면 관성에 의해 등속 직선 운동을 계속한다.

09 두 물체가 함께 움직이므로 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} =$

$$\frac{10 \text{ N}}{(2+3) \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2 \text{이다. 따라서 A가 받은 알짜힘은 } m_A a =$$

$$2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 4 \text{ N이고, B가 받은 알짜힘은 } m_B a = 3 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ N이다.}$$

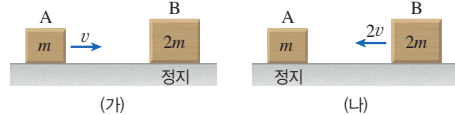
10 ㄱ. 세 물체 모두 정지 상태를 유지하고 있으므로 세 물체에 작용하는 알짜힘은 모두 0이다.

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

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

11 **꼼꼼** 문제 분석

(가)와 (나)에서 충돌 후 두 물체가 한 덩어리가 되어 운동하므로 각각 충돌 후 A의 속도는 한 덩어리가 된 물체의 속도와 같음

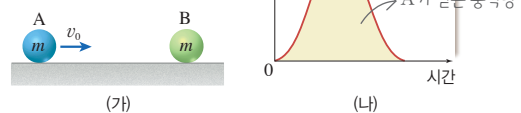


(가)에서 충돌 전 전체 운동량은 A의 운동량 mv , 충돌 후 운동량은 $3mv_{(가)}$
(나)에서 충돌 전 전체 운동량은 B의 운동량 $4mv$, 충돌 후 운동량은 $3mv_{(나)}$

충돌 후 A의 속도는 한 덩어리가 된 물체의 속도와 같다. (가)의 경우 운동량 보존 법칙을 적용하면, $mv = 3mv_{(가)}$ 에 의해 $v_{(가)} = \frac{1}{3}v$ 이다. (나)의 경우 운동량 보존 법칙을 적용하면, $4mv = 3mv_{(나)}$ 에 의해 $v_{(나)} = \frac{4}{3}v$ 이다. 따라서 $v_{(가)} : v_{(나)} = \frac{1}{3}v : \frac{4}{3}v = 1 : 4$ 가 된다.

12 **꼼꼼** 문제 분석

충돌 시 두 물체 사이에 작용하는 힘은 작용 반작용 관계이므로 크기가 같고 방향이 반대임



A가 받은 충격량과 B가 받은 충격량은 크기가 같음 $\Rightarrow$ B가 받은 충격량의 크기는 A가 받은 충격량의 크기와 같은 $\frac{2}{3}mv_0$

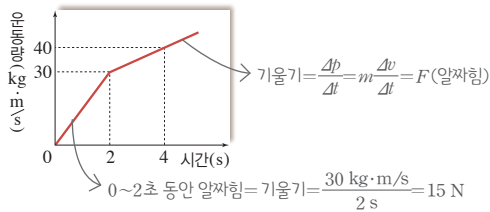
B가 받은 충격량은 B의 운동량 변화량으로 나타난다. 충돌 전 B의 운동량이 0이었으므로 충돌 후 B의 운동량은 B가 받은 충격량 $\frac{2}{3}mv_0$ 이다. B의 질량이 m 이므로 $\frac{2}{3}mv_0 = mv$ 에서 충돌 후 B의 속력 $v = \frac{2}{3}v_0$ 이다.

13 충돌할 때 A와 B가 받는 힘은 작용과 반작용 관계이므로 크기가 같고, A와 B의 충돌 시간이 같으므로 충돌 과정에서 B가 받은 충격량은 A가 받은 충격량과 크기가 같다. A가 받은 충격량은 A의 운동량 변화량과 같으므로 A가 받은 충격량은 $1 \text{ kg} \times (-1 \text{ m/s}) - 1 \text{ kg} \times 3 \text{ m/s} = -4 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = -4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다. 따라서 B가 받은 충격량의 크기는 $4 \text{ N} \cdot \text{s}$ 이다.

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

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

15 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 운동량 - 시간 그래프의 기울기 $\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$ 이므로 알짜힘을 나타낸다. 따라서 0~2초 동안 물체가 받은 알짜힘의 크기는 $\frac{30}{2} = 15(\text{N})$ 이다.

ㄴ. 2초~4초 동안 물체가 받은 충격량은 물체의 운동량 변화량과 같으므로 $40 - 30 = 10(\text{N} \cdot \text{s})$ 이다.

■ **바로알기** ㄴ. 0~2초 동안 물체에 작용하는 알짜힘의 크기가 15 N이고, 물체의 질량이 3 kg이므로 물체의 가속도는 $\frac{15 \text{ N}}{3 \text{ kg}} = 5 \text{ m/s}^2$ 이다.

16 ㄱ. 충돌 전 두 자동차의 질량과 속도가 같으므로 두 자동차의 운동량이 같고, 충돌 후에 멈추었으므로 충돌 후 두 자동차의 운동량도 0으로 같다. 두 자동차의 운동량 변화량이 같으므로 두 자동차가 받은 충격량이 같다.

■ **바로알기** ㄴ. 충격력을 받은 시간은 B가 A보다 길다.

ㄷ. 두 자동차가 받는 평균 힘은 $A > B$ 이므로, 평균 충격력(평균 힘)이 작은 B가 A보다 안전하다.

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

■ **모범답안** 순찰차와 자동차가 만나려면 이동 거리가 같아야 하므로 그 때까지 걸린 시간을 t 라고 하면, $\frac{1}{2} \times 5 \times t^2 = 40t$ 에서 $t = 16$ 초이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우	100 %
풀이 과정만 옳은 경우	60 %
답만 옳은 경우	30 %

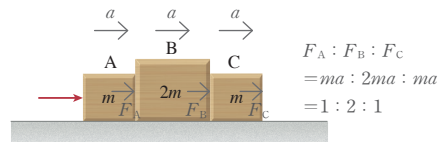
18 • 천천히 들어 올릴 때 : 실의 장력이 벽돌의 무게를 감당할 수 있고 실의 장력에 의해 벽돌이 천천히 위로 올라온다.

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

■ **모범답안** 빠르게 들어 올릴 때는 관성에 의해 벽돌이 정지해 있으려 하므로 실에 큰 힘이 가해져서 실이 끊어진다.

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

19 **꼭꼭** 문제 분석



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

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

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

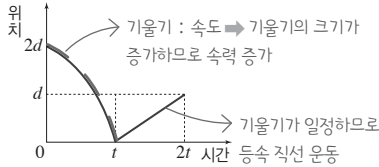
20 달걀이 시멘트 바닥에 떨어진 경우보다 솜이불 위에 떨어진 경우가 충돌 시간이 길다. 충격량이 같을 때 충격력은 충돌 시간에 반비례하는데, 달걀이 받은 충격량이 같으므로 솜이불 위에 떨어진 달걀이 작은 충격력을 받아 깨지지 않는다.

■ **모범답안** 두 경우에 달걀이 받은 충격량은 같고, 충격량이 같을 때 충격력은 충돌 시간에 반비례한다. 솜이불 위에 떨어진 경우가 시멘트 바닥에서 보다 충돌 시간이 길어서 충격력을 적게 받아 깨지지 않는 것이다.

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

- 1 ⑤ 2 ① 3 ② 4 ② 5 ⑤ 6 ③ 7 ③ 8 ①
9 ⑤ 10 ② 11 ③ 12 ②

1 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ 0부터 t 까지 물체의 속력은 감소한다. 증가
☐ 0부터 $2t$ 까지 물체의 평균 속력은 $\frac{3d}{2t}$ 이다.
☒ t 부터 $2t$ 까지 물체는 등속 직선 운동을 한다.

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

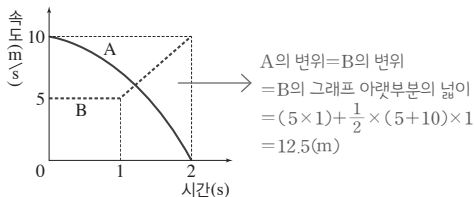
ㄱ. 위치-시간 그래프의 기울기는 속도이고, 직선 운동하는 물체의 속도의 크기는 속력과 같다. 0부터 t 까지 기울기의 크기가 증가하므로 물체의 속력은 증가하였다.

ㄴ. t 부터 $2t$ 까지 그래프의 기울기가 일정하므로 물체의 속도는 일정하다. 따라서 물체는 등속 직선 운동을 하였다.

② 0~ $2t$ 동안 물체의 이동 거리를 파악하여 평균 속력을 계산한다.

ㄴ. 0부터 $2t$ 까지 물체의 이동 거리는 $2d + d = 3d$ 이므로 평균 속력은 $\frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{3d}{2t}$ 이다.

2 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ 1초일 때 A의 운동 방향과 가속도의 방향은 반대이다.
=속도의 부호(+) =그래프의 기울기(-)
☒ 0~2초 동안 A의 변위의 크기는 15 m이다. 12.5 m
☒ 1초~2초 동안 B의 가속도의 크기는 4 m/s^2 이다. 5 m/s^2

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

ㄴ. 1초~2초 동안 B의 가속도=그래프의 기울기

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

② 운동하는 물체의 속도와 가속도의 부호로 방향 사이의 관계를 파악한다.

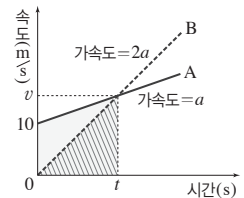
ㄱ. 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도이다. 1초일 때 A의 속도의 부호는 (+)이고, 그래프의 기울기, 즉 가속도의 부호는 (-)이다. 속도의 부호는 운동 방향을 나타내므로 1초일 때 A의 운동 방향과 가속도의 방향은 반대이다.

③ 속도-시간 그래프에서 그래프 아래부분의 넓이가 의미하는 것을 파악한다.

ㄴ. 속도-시간 그래프 아래부분의 넓이는 변위이다. 0~2초 동안 B 그래프 아래부분의 넓이는 12.5 m이므로 A의 변위의 크기는 12.5 m이다.

3 **문제 분석**

- ① A의 처음 속도=10 m/s
B의 처음 속도=0
② A, B 모두 등가속도 운동을 함
③ A의 가속도의 크기= a
B의 가속도의 크기= $2a$
 $\Rightarrow$ 그래프의 기울기 : B가 A의 2배
④ 속력이 v 로 같아지는 순간 A가 B보다 20 m 앞서 있음
 $\Rightarrow$ 그래프 아래부분의 넓이 차이 : 20 m



선택지 분석

- ☒ a의 크기는 2 m/s^2 이다. 2.5 m/s^2
☒ v의 크기는 30 m/s이다. 20 m/s
☒ 두 자동차가 기준선을 통과한 순간부터 속력이 v로 같아질 때까지 걸린 시간은 4초이다.

전략적 풀이 ① 등가속도 운동하는 두 물체를 분석하여 속도-시간 그래프를 그린다.

속도-시간 그래프의 기울기는 가속도를, 아래부분의 넓이는 이동 거리를 나타낸다.

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

② 속도-시간 그래프를 이용하여 v 와 a 를 계산한다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ. A와 B의 속도-시간 그래프에서

A의 속도 $v = 10 + at$ ①

B의 속도 $v = 2at$ ②

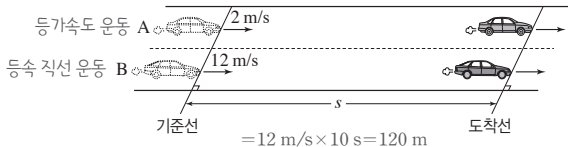
이다. $0 \sim t$ 초 동안 A와 B의 거리 차가 20 m이므로, A와 B의 그래프 아랫부분의 넓이 차이는 20 m이다.

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

①과 ②를 연립하면 $at=10$ 이고, $v=20$ m/s이다. $\dots\dots\dots ④$

④를 ③에 대입하면 $t=4$ 초이므로 $a=2.5$ m/s²이다.

4 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

a	s	a	s
☒ 1 m/s ²	120 m	☒ 2 m/s ²	120 m
☒ 2 m/s ²	180 m	☒ 2 m/s ²	240 m
☒ 4 m/s ²	480 m		

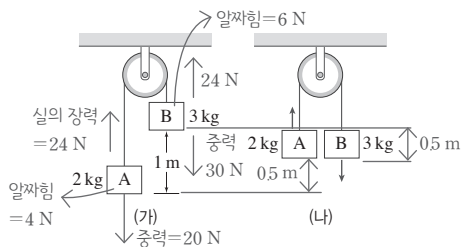
❗ **전략적 풀이** ❶ 등속 직선 운동하는 B의 10초 후 이동 거리를 계산한다.

A와 B는 동시에 도착선에 도달하므로, A의 이동 거리는 B가 10초 동안 이동한 거리와 같다.

❷ 등가속도 운동 식을 이용하여 A의 가속도를 계산한다.

B는 등속 직선 운동을 하므로 A와 B의 이동 거리 $s=12$ m/s $\times$ 10 s = 120 m이다. A의 가속도를 a 라고 하면 등가속도 운동이므로 $120=2 \times 10 + \frac{1}{2} \times a \times 10^2$ 이므로 A의 가속도 $a=2$ m/s²이다.

5 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ☒ A의 가속도의 크기는 1 m/s²이다. $a = \frac{10 \text{ N}}{(2+3) \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$
- ☒ (나)의 순간에 두 물체의 속력은 $\sqrt{2}$ m/s이다.
- ☒ (나)에서 실의 장력의 크기는 24 N이다.

❗ **전략적 풀이** ❶ (나)에서 도르래의 운동을 파악하고 알짜힘을 구한다.

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

ㄱ. 두 물체를 운동시키는 알짜힘은 B의 무게 $3 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 30 \text{ N}$ 에서 A의 무게 $2 \times 10 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$ 을 뺀 10 N이다.

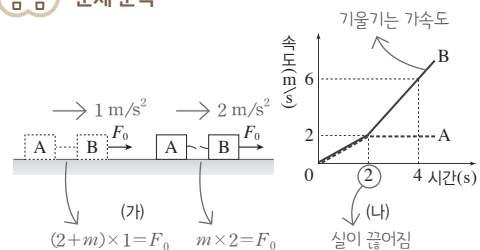
따라서 두 물체의 가속도 $a = \frac{F}{m} = \frac{10 \text{ N}}{(2+3) \text{ kg}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

ㄴ. 실의 장력이 T 일 때 A에 작용하는 알짜힘은 $T-20 \text{ N}$ 이다. 이를 식 $F=ma$ 에 대입하면 $T-20 \text{ N} = 2 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2$ 이 되므로 $T=24 \text{ N}$ 이다.

❷ 등가속도 운동 식을 이용하여 (나)에서 물체의 속력을 구한다.

ㄴ. 정지 상태에서 두 물체가 등가속도 운동을 하여 0.5 m씩 이동하였고, 가속도는 2 m/s²이므로 등가속도 운동에 관한 식 $2as=v^2-v_0^2$ 을 이용하면 $2 \times 2 \times 0.5 = v^2 - 0^2$ 에서 $v=\sqrt{2}$ m/s이다.

6 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ☒ B의 질량은 2 kg이다.
- ☒ F_0 은 4 N이다.
- ☒ A, B 사이의 거리는 4초일 때가 2초일 때보다 6 m 더 크다. $\left[\frac{1}{2} \times (2+6) \times 2 \right] - (2 \times 2) = 4(\text{m})$

❗ **전략적 풀이** ❶ 속도-시간 그래프에서 기울기가 의미하는 것을 파악한다.

❷ 뉴턴 운동 제2법칙을 이용하여 물체의 질량과 물체에 작용하는 힘을 파악한다.

(나)에서 속도-시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타내므로 $0 \sim 2$ 초 동안 A, B의 가속도는 $\frac{2 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2$ 이고, $2 \sim 4$ 초 동안 B의 가속도는 $\frac{(6-2) \text{ m/s}}{(4-2) \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 이다.

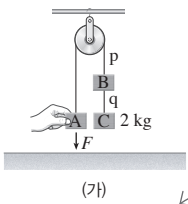
ㄱ, ㄴ. B의 질량을 m 이라 하고 운동 방정식을 세우면 $0 \sim 2$ 초 동안은 $(2 \text{ kg} + m) \times 1 \text{ m/s}^2 = F_0 \dots ①$, $2 \sim 4$ 초 동안은 $m \times 2 \text{ m/s}^2 = F_0 \dots ②$ 이다. 두 식 ①, ②를 연립하여 풀면 $m=2 \text{ kg}$ 이고, $F_0=4 \text{ N}$ 이다.

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

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

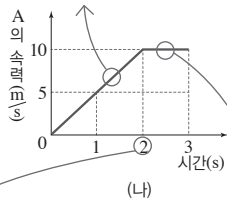
7 **문제 분석**

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



2초일 때 운동 상태가 변하므로
2초일 때 C가 바닥에 닿음

0초에서 2초 사이에 세 물체의 가속도는
 5 m/s^2



C가 바닥에 닿은 2초 이후 등속도 운동이
므로 A와 B의 무게가 같고, 질량이 같음

선택지 분석

- ㉠ A, B의 질량의 합은 2 kg이다.
- ㉡ F의 크기는 20 N이다.
- ㉢ 1초일 때, p가 B를 당기는 힘은 q가 B를 당기는 힘과 크기가 같다.

▶ **전략적 풀이** ① 처음 힘 F를 작용하여 정지해 있을 때 물체에 작용하는 힘을 파악하여 F를 구한다.

ㄴ. F를 가해 정지 상태를 유지하므로 A의 무게 + F = B의 무게 + 20 N이다. A의 무게와 B의 무게가 같으므로 F의 크기는 20 N이다.

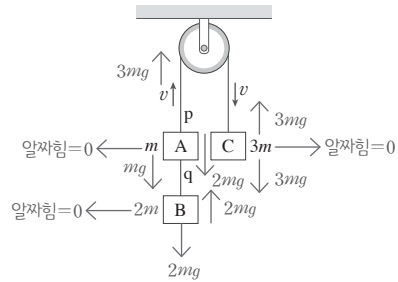
② C가 바닥에 닿은 이후 물체의 운동을 파악하고 A, B의 질량을 구한다.

ㄱ. C가 바닥에 닿은 2초 이후 등속도 운동을 하므로 A와 B의 질량은 같다. 따라서 0~2초 사이에 세 물체에 작용하는 알짜힘은 C의 무게와 같은 20 N이다. A와 B의 질량을 각각 m이라 하고, 운동 방정식을 세워 보면 $20 = (2m + 2) \times 5$ 가 되어 $m = 1 \text{ kg}$ 이다. 따라서 A와 B의 질량의 합은 2 kg이다.

③ 1초일 때 물체에 작용하는 알짜힘을 파악한다.

ㄷ. p의 장력은 p가 B를 당기는 힘과 같고, q의 장력은 q가 B를 당기는 힘과 같다. 1초일 때, A에는 위쪽으로 p의 장력이, 아래쪽으로 A의 무게 10 N이 작용한다. 따라서 p의 장력 $-10 = 1 \times 5$ 에 의해 p의 장력은 15 N이다. 1초일 때, B에는 위쪽으로 p의 장력이, 아래쪽으로 B의 무게와 q의 장력이 작용한다. 따라서 q의 장력 $+10 - 15 = 1 \times 5$ 에 의해 q의 장력은 10 N이다.

8 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ p가 A를 당기는 힘은 q가 A를 당기는 힘과 크기가 같다.
- ㉡ q가 B를 당기는 힘의 크기는 2mg이다.
- ㉢ q가 B를 당기는 힘과 지구가 B를 당기는 힘은 작용과 반작용의 관계이다.

▶ **전략적 풀이** ① 각 물체에 작용하는 힘의 관계를 파악한다.

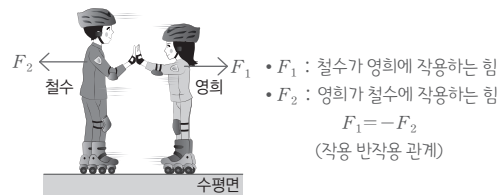
ㄱ. p가 A를 당기는 힘의 크기는 C에 작용하는 중력의 크기와 같은 3mg이고, q가 A를 당기는 힘의 크기는 q가 B를 당기는 힘의 크기와 같은 2mg이다.

ㄷ. q가 B를 당기는 힘과 지구가 B를 당기는 힘은 B에 작용하는 두 힘으로, 힘의 평형 관계이다.

② B의 질량을 파악하고, B에 작용하는 힘의 크기를 구한다.

ㄴ. A, B, C는 일정한 속력으로 운동하므로 A, B에 작용하는 알짜힘은 0이다. 따라서 A와 B의 질량의 합은 C의 질량과 같다. B의 질량은 2m이므로 q가 B를 당기는 힘의 크기는 B에 작용하는 중력의 크기와 같은 2mg이다.

9 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ 철수가 영희에 작용하는 힘과 영희가 철수에 작용하는 힘은 크기가 같고 방향이 반대이다.
- ㉡ 철수가 영희에 작용하는 힘과 영희가 철수에 작용하는 힘은 작용과 반작용 관계이다.
- ㉢ 철수가 영희로부터 받은 충격량은 영희의 운동량의 변화량과 크기가 같고 방향이 반대이다.

❗ 전략적 풀이 ❗ ❶ 철수와 영희에 작용하는 힘을 파악한다.

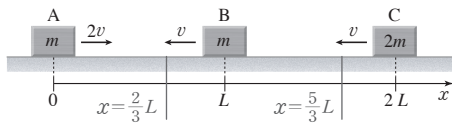
ㄱ, ㄴ. 철수가 영희에 작용하는 힘과 영희가 철수에 작용하는 힘은 작용과 반작용 관계이므로 크기가 같고 방향이 반대이다.

❷ 충격량과 운동량의 변화량의 관계를 파악한다.

ㄷ. 철수가 영희로부터 받은 충격량은 영희가 철수로부터 받은 충격량과 크기가 같고 방향이 반대이다. 영희가 받은 충격량은 영희의 운동량 변화량과 같다. 따라서 철수가 영희로부터 받은 충격량은 영희의 운동량 변화량과 크기가 같고 방향이 반대이다.

10 꼼꼼 문제 분석

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



❗ 선택지 분석 ❗

- ✗ A, B의 충돌 직후 A의 속력은 v 이다. $\frac{v}{2}$
- ✗ A, B가 한 덩어리가 된 물체는 C와 충돌 직후 정지한다.
- ㉠ A, B가 한 덩어리가 된 물체는 C와 $x = L$ 위치에서 충돌한다.

❗ 전략적 풀이 ❗ ❶ 충돌 전후 운동량이 보존됨을 이해한다.

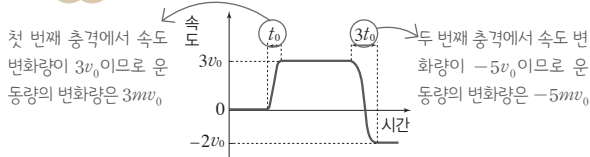
ㄱ. 운동량이 보존되므로 A, B가 충돌한 직후 한 덩어리가 된 물체의 속도 v' 은 $2mv + (-mv) = 2mv'$ 에서 $v' = \frac{v}{2}$ 이다.

ㄴ. 운동량이 보존되므로 처음 전체 운동량은 세 물체가 한 덩어리가 되었을 때 운동량과 같다. $2mv + (-mv) + (-2mv) = 4mV$ 에 의해 세 물체가 한 덩어리가 되었을 때의 속도 $V = -\frac{1}{4}v$ 이므로 한 덩어리가 된 세 물체는 왼쪽으로 운동한다.

❷ 속력과 이동 거리의 관계를 이해하고 물체의 충돌 위치를 파악한다.

ㄷ. A, B가 충돌할 때까지 B, C는 왼쪽으로 $\frac{L}{3}$ 만큼 이동하므로 A, B가 충돌하는 순간 A, B의 위치는 $x = \frac{2L}{3}$ 이고, C의 위치는 $x = \frac{5L}{3}$ 이다. 그리고 충돌 후 한 덩어리가 된 A, B의 속력은 C의 절반이므로 A, B, C는 $x = L$ 위치에서 충돌한다.

11 꼼꼼 문제 분석



❗ 선택지 분석 ❗

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

❗ 전략적 풀이 ❗ ❶ 충격량과 운동량 변화량의 관계를 파악한다.

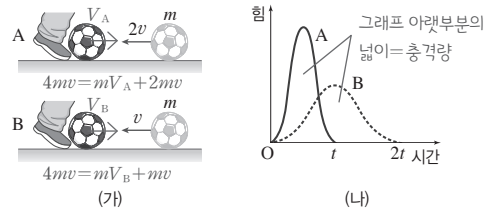
ㄱ. 첫 번째 충격에서 물체의 운동량의 변화량이 $3mv_0$ 이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 $3mv_0$ 이다.

ㄴ. 두 번째 충격에서 물체의 운동량의 변화량이 $-5mv_0$ 이므로 물체가 받은 충격량의 크기는 $5mv_0$ 이다.

❷ 첫 번째 충돌과 두 번째 충돌에서 평균 힘의 크기를 비교한다.

ㄷ. 물체가 받은 평균 힘은 $\frac{\text{충격량}}{\text{충돌 시간}}$ 이므로 두 번째 충격보다 첫 번째 충격에서 평균 힘이 더 크다.

12 꼼꼼 문제 분석



❗ 선택지 분석 ❗

- ✗ 공이 받은 충격량의 크기는 $A > B$ 이다. $A = B = 4mv$
- ㉠ 공이 받은 평균 힘의 크기는 A에서가 B에서의 2배이다.
- ✗ 공이 발을 떠나는 순간 공의 속력은 A에서가 B에서의 2배이다. $\frac{2}{3}$ 배

❗ 전략적 풀이 ❗ ❶ 힘-시간 그래프에서 그래프 아랫부분의 넓이가 의미하는 것을 파악한다.

ㄱ. A와 B의 그래프 아랫부분의 넓이가 $4mv$ 로 같은 것은 공이 받은 충격량의 크기가 $4mv$ 로 같은 것을 의미한다.

❷ 충격량과 운동량의 변화량의 관계를 파악한다.

ㄷ. A의 경우 $4mv = m(V_A + 2v)$ 에서 공이 발을 떠나는 순간의 속도 $V_A = 2v$ 이고, B의 경우 $4mv = m(V_B + v)$ 에서 공이 발을 떠나는 순간의 속도 $V_B = 3v$ 이다.

❸ 평균 힘을 이해하고, A, B의 평균 힘의 크기를 비교한다.

ㄴ. 평균 충격력의 크기 $F_A = \frac{4mv}{t}$ 이고, $F_B = \frac{4mv}{2t}$ 이다.

2 에너지와 열

01 역학적 에너지 보존

개념 확인 문제

67쪽

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

1 12 J 2 25 J 3 200 J 4 2 J 5 ㉠ 퍼텐셜, ㉡ 보존
6 (1) 200 J (2) 100 J (3) 20 m/s

1 물체에 작용하는 마찰력이 6 N이므로 물체에 작용하는 알짜힘은 $10\text{ N} - 6\text{ N} = 4\text{ N}$ 이다. 따라서 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 알짜힘 $\times$ 이동 거리 $= 4\text{ N} \times 3\text{ m} = 12\text{ J}$ 이다.

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

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

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

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

6 (1) 낙하하는 순간의 역학적 에너지는 20 m 높이에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $mgh = 1\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 \times 20\text{ m} = 200\text{ J}$ 이다.

(2) 10 m 높이에서의 운동 에너지는 10 m 높이까지 낙하할 때 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로

$$mg(h-h_1) = 1\text{ kg} \times 10\text{ m/s}^2 \times (20-10)\text{ m} = 100\text{ J} \text{이다.}$$

(3) 지면에 도달하는 순간 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 모두 운동 에너지로 전환된다. 따라서 지면에서의 운동 에너지는 20 m 높이에서의 중력 퍼텐셜 에너지와 같으므로 $\frac{1}{2} \times 1\text{ kg} \times v^2 = 200\text{ J}$ 에서 $v = 20\text{ m/s}$ 이다.

대표 자료 분석

68쪽~69쪽

자료 1 1 50 J 2 ㉠ 증가, ㉡ 50, ㉢ 50 3 10 m/s
4 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) $\times$

자료 2 1 $\perp$ 2 ㉠ 감소, ㉡ 증가, ㉢ 증가, ㉣ 감소
3 (1) ㉠ (2) $\times$ (3) ㉠ (4) ㉠

자료 3 1 ㉠ 증가, ㉡ 0 2 (1) $A=B>O$ (2) $O>A=B$
(3) $A=O=B$ 3 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) $\times$ (4) ㉠ (5) ㉠

자료 4 1 ㉠ 운동, ㉡ 증가 2 ㉠ 열, ㉡ 보존되지 않는다
3 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) ㉠ (4) $\times$

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

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

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

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

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

②-1 ∇ , $\square$, $A \rightarrow B$, $C \rightarrow D$ 구간에서는 공의 높이가 낮아지므로 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지로 전환된다.

$\perp$, $B \rightarrow C$ 구간에서는 공의 높이가 높아지므로 운동 에너지가 퍼텐셜 에너지로 전환된다.

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

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

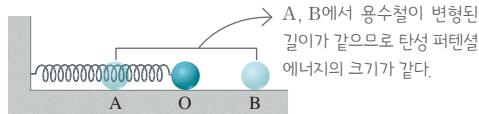
(2) 역학적 에너지가 보존되므로 감소한 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 운동 에너지는 공의 낙하 거리가 클수록 크므로 B에서 운동 에너지는 C에서보다 크다.

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

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

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

3-2 **문제 분석**



지점	탄성 퍼텐셜 에너지	운동 에너지	역학적 에너지
A	최대	최소(0)	일정
O	최소(0)	최대	
B	최대	최소(0)	

(1) 탄성 퍼텐셜 에너지는 용수철의 변형된 길이에 비례하므로 A 점과 B점에서 같고, O점에서 최소(0)이다.

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

(3) 마찰이 없으므로 점 A, O, B에서 역학적 에너지는 모두 일정하게 보존된다.

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

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

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

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

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

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

4-3 (1) A 구간은 마찰이 작용하지 않으므로 어느 지점이든 구슬의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

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

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

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

내신 만점 문제

70쪽~73쪽

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

01 ⑤ 물체에 7 N의 힘을 작용하여 힘의 방향으로 3 m 이동했으므로 힘이 한 일=힘의 크기×이동 거리=7 N×3 m=21 J이다.

바로알기 ① 질량이 2 kg인 물체의 무게는 $mg=2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2=20 \text{ N}$ 이므로 힘이 한 일=20 N×1 m=20 J이다.

② 의자에 2 N의 힘을 작용하여 힘의 방향으로 2 m 이동시켰으므로 힘이 한 일=2 N×2 m=4 J이다.

③ 바벨을 들고 움직이지 않았으므로 이동 거리가 0이다. 따라서 힘이 한 일은 0이다.

④ 벽이 움직이지 않았으므로 이동 거리가 0이다. 따라서 힘이 한 일은 0이다.

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

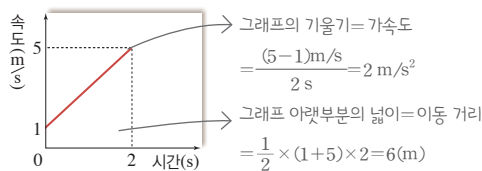
ㄴ. 0~2 m를 이동하는 동안 물체는 등가속도 운동을 하였다. 2 m를 통과하는 순간 물체의 속도를 v 라고 할 때 $2as=v^2-v_0^2$ 에서 $2 \times 1 \text{ m/s}^2 \times 2 \text{ m}=v^2-0$ 이다. 따라서 $v=2 \text{ m/s}$ 이다.

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

03 물체 A의 속력을 v_A , 물체 B의 속력을 v_B 라고 할 때 두 물체의 운동량(mv)이 같으므로 $5v_A = 2v_B$ 에서 $v_A = \frac{2}{5}v_B$ 이다. 따라서 운동 에너지의 비 $E_A : E_B = \frac{1}{2} \times 5 \times v_A^2 : \frac{1}{2} \times 2 \times v_B^2 = 5v_A^2 : 2v_B^2 = 5 \times \left(\frac{2}{5}v_B\right)^2 : 2v_B^2 = 2 : 5$ 이다.

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

05 **문제 분석**

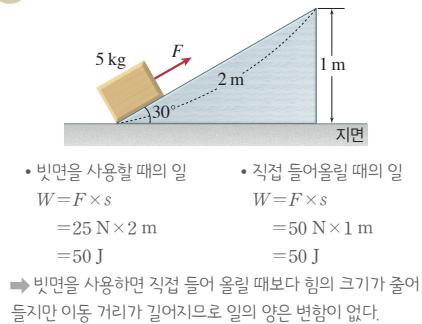


ㄱ. 속도 - 시간 그래프의 기울기는 가속도를 나타낸다. 따라서 힘 F 의 크기는 질량 $\times$ 가속도 $= 1 \text{ kg} \times 2 \text{ m/s}^2 = 2 \text{ N}$ 이다.
 ㄴ. 속도 - 시간 그래프 아래부분의 넓이는 물체가 이동한 거리를 나타낸다. 따라서 0~2초 동안 물체가 이동한 거리는 6 m이므로, 힘 F 가 한 일의 양은 $2 \text{ N} \times 6 \text{ m} = 12 \text{ J}$ 이다.
 ㄷ. 일·운동 에너지 정리에 따라 알짜힘이 한 일만큼 운동 에너지가 변한다. 따라서 0~2초 동안 물체의 운동 에너지 변화량은 알짜힘 F 가 한 일의 양인 12 J과 같다.

06 ㄱ. 책을 일정한 속력으로 선반 위에 올렸으므로 책에 작용한 힘의 크기는 책의 무게와 같다. 따라서 민수가 책에 한 일의 양은 $W = Fs = (1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) \times 2 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이다.
 ㄴ. 민수가 책에 한 일만큼 책의 중력 퍼텐셜 에너지가 증가하므로 책의 중력 퍼텐셜 에너지 증가량은 20 J이다. 이때 교실 바닥이 중력 퍼텐셜 에너지의 기준면이므로 선반 위에 놓여 있는 책의 중력 퍼텐셜 에너지는 20 J이다.

▮ 바로알기 ▮ ㄷ. 기준면이 달라지면 중력 퍼텐셜 에너지는 변하지만 중력 퍼텐셜 에너지의 변화량은 변하지 않는다. 선반을 중력 퍼텐셜 에너지의 기준으로 하면 교실 바닥에 있던 책의 중력 퍼텐셜 에너지는 -20 J이고 선반 위에 놓여 있는 책의 중력 퍼텐셜 에너지는 0이므로 중력 퍼텐셜 에너지의 증가량은 여전히 20 J이다.

07 **문제 분석**

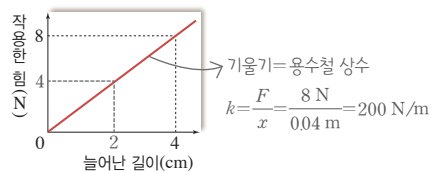


ㄱ. 1 m 높이에서 물체의 중력 퍼텐셜 에너지는 $E_p = mgh$ 이므로 $5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이다.

ㄴ. 빗면을 사용하여 물체를 끌어올리는 일을 한 만큼 물체의 중력 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 따라서 힘이 한 일의 양은 $W = F \times 2 \text{ m} = 50 \text{ J}$ 이므로 $F = 25 \text{ N}$ 이다.

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

08 **문제 분석**



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

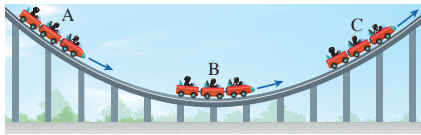
② 그래프를 보면 작용한 힘과 늘어난 거리가 비례하므로 4 N의 힘을 작용하였을 때는 용수철이 2 cm 늘어난다.

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

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

▮ 바로알기 ▮ ⑤ 탄성 퍼텐셜 에너지는 $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ 이므로 용수철의 늘어난 길이의 제곱에 비례한다. 늘어난 길이가 2배가 되려면 탄성 퍼텐셜 에너지는 2²배 = 4배가 되어야 하므로 $0.16 \text{ J} \times 4 = 0.64 \text{ J}$ 의 일을 해야 한다. 따라서 용수철이 4 cm에서 8 cm로 늘어날 때 해 주어야 하는 일의 양은 $0.64 \text{ J} - 0.16 \text{ J} = 0.48 \text{ J}$ 이다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



경로	A → B	B → C
퍼텐셜 에너지	감소	증가
운동 에너지	증가	감소
역학적 에너지	어느 지점에서나 일정하다.	
에너지 전환	퍼텐셜 에너지 → 운동 에너지	운동 에너지 → 퍼텐셜 에너지

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

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

③, ④ A점에서 B점으로 이동할 때 높이가 낮아지므로 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 감소한 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다. B점에서 C점으로 이동할 때 높이가 높아지므로 퍼텐셜 에너지는 증가하고, 증가한 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 감소한다.

10 마찰이나 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지가 보존되므로 물체가 낙하하는 동안 증가한 운동 에너지는 감소한 퍼텐셜 에너지와 같다. 이를 이용하면 $\frac{h}{3}$ 인 곳에서의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_A^2 = mg(h - \frac{h}{3})$ 이고, 지면에 닿기 직전의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv_B^2 = mgh$ 이다. 따라서 $\frac{1}{2}mv_A^2 : \frac{1}{2}mv_B^2 = mg(h - \frac{h}{3}) : mgh$ 에서 $v_A^2 : v_B^2 = 2 : 3$ 이므로 $v_A : v_B = \sqrt{2} : \sqrt{3}$ 이다.

11 공기 저항을 무시하므로 공의 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

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

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

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

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

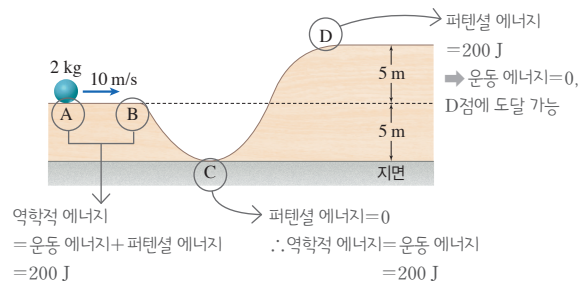
ㄷ. B의 퍼텐셜 에너지 감소량은 A, B의 운동 에너지 증가량과 같다. B가 1 m 낙하했을 때 퍼텐셜 에너지 감소량은 $mg\Delta h = 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 20 \text{ J}$ 이므로 A, B의 운동 에너지의 합은 20 J이다.

▮ **바로알기** ㄴ. 마찰이 없을 때 역학적 에너지가 보존됨에 따라 중력이 B에 한 일의 양만큼 B의 퍼텐셜 에너지가 감소하고, B의 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 A, B의 운동 에너지가 증가한다.

13 **모범답안** 마찰과 공기 저항이 없이 중력만을 받아 운동하므로 역학적 에너지는 일정하게 보존된다. 따라서 물체가 내려오는 동안 높이가 낮아지므로 퍼텐셜 에너지는 감소하고, 감소한 퍼텐셜 에너지만큼 운동 에너지가 증가한다.

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

14 **꼼꼼** 문제 분석

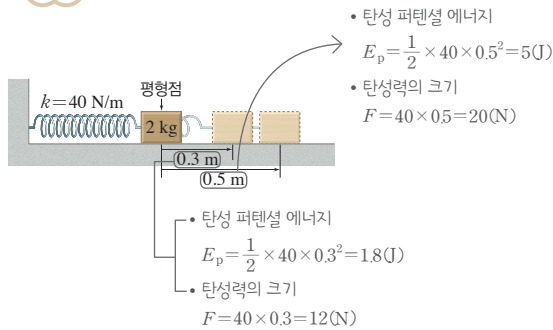


ㄱ. A점에서 물체의 역학적 에너지 = 운동 에너지 + 퍼텐셜 에너지이므로 $\frac{1}{2} \times 2 \text{ kg} \times (10 \text{ m/s})^2 + 2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times 5 \text{ m} = 200 \text{ J}$ 이다.

▮ **바로알기** ㄴ. C점은 기준면으로, 중력 퍼텐셜 에너지가 0인 곳이다. 이때 B에서 C로 물체가 운동하는 동안 물체의 퍼텐셜 에너지는 모두 운동 에너지로 전환되므로 물체의 운동 에너지는 역학적 에너지와 같은 200 J이다.

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

15 **문제 분석**



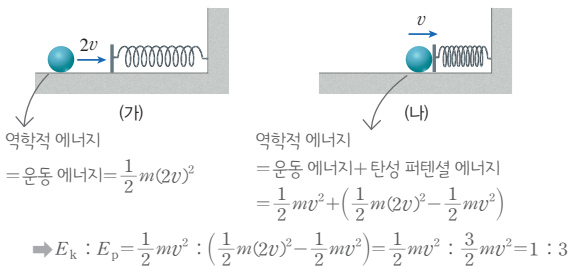
ㄱ. 용수철을 0.3 m까지 늘였을 때, 탄성 퍼텐셜 에너지는

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 = 1.8 \text{ J이다.}$$

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

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

16 **문제 분석**



(가)에서 구슬의 운동 에너지가 용수철을 누르는 일을 한 만큼 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 따라서 (나)에서 구슬의 운동 에너지(E_k)와 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지(E_p)의 비 $E_k : E_p = 1 : 3$ 이다.

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

■ **모범답안** A 지점에서의 속력을 v_A , B 지점에서의 속력을 v_B 라고 하면, 처음 지점과 A와 B 지점에서 역학적 에너지가 같으므로 다음과 같다.

$$mg \times 2 = mg \times 0.5 + \frac{1}{2} mv_A^2 \text{이므로 } \frac{1}{2} mv_A^2 = 1.5mg \dots ①$$

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

$$①, ②에 의해 v_A^2 : v_B^2 = 1.5 : 1 \text{이므로 } v_A = \sqrt{\frac{3}{2}} v_B \text{이다.}$$

따라서 A 지점에서의 속력은 B 지점에서의 $\sqrt{\frac{3}{2}}$ 배이다.

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

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

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

■ **모범답안** 용수철의 탄성 퍼텐셜 에너지는 모두 구슬의 운동 에너지로 전환되므로 $\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} mv^2$ 에서 $v = \sqrt{\frac{k}{m}} x$ 이다.

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

19 ㄴ. 역학적 에너지의 일부가 마찰에 의한 열에너지, 소리 에너지 등으로 전환되므로 역학적 에너지는 감소한다.

ㄷ. 에너지 보존 법칙에 따라 에너지가 전환되더라도 에너지의 총량은 일정하게 보존된다.

■ **바로알기** ■ ㄱ. 롤러코스터의 퍼텐셜 에너지가 운동 에너지, 마찰에 의한 열에너지와 소리 에너지 등으로 전환된다. 따라서 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 합인 역학적 에너지는 보존되지 않는다.

20 ㄱ. 빗면을 내려오는 동안 마찰이 없으므로 역학적 에너지가 보존된다. 따라서 수평면에 도달하는 순간 나무 도막의 퍼텐셜 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되므로 처음 위치에 있을 때의 중력 퍼텐셜 에너지와 같은 mgh 이다.

ㄴ. 마찰이 있는 수평면에서 나무 도막이 운동할 때, 나무 도막의 운동 에너지의 일부는 마찰에 의한 열에너지로 전환되어 감소한다. 나무 도막이 2 m를 이동한 후 정지(운동 에너지=0)하였으므로 나무 도막의 운동 에너지는 모두 마찰에 의한 열에너지로 전환된다. 따라서 수평면에서 발생한 열에너지는 mgh 이다.

■ **바로알기** ■ ㄷ. 수평면에 도달하는 순간 물체의 퍼텐셜 에너지가 모두 운동 에너지로 전환되고, 이 운동 에너지가 수평면에서 일정한 마찰력(f)에 대해 일을 한다. 즉, $mgh = fs$ 이므로 $s \propto h$ 이다. 이에 따라 높이(h)가 2배가 되면 거리(s)도 2배가 되므로 나무 도막은 $2 \text{ m} \times 2 = 4 \text{ m}$ 를 이동한다.

02 열역학 제1법칙

개념 확인 문제

77쪽

- ① 열에너지 ② 열평형 상태 ③ 부피 변화 ④ 운동
 ⑤ 절대 온도 ⑥ 내부 에너지 ⑦ 일 ⑧ 등적 ⑨ 등압
 ⑩ 등온 ⑪ 단열
- 1 $P\Delta V$ 2 (1) ○ (2) × (3) ○ 3 ㉠ 내부 에너지, ㉡ 일
 4 3000 J 5 (1) 단열 과정 (2) 등적 과정 (3) 단열 과정
 6 (1) ㄹ (2) ㄴ (3) ㄷ (4) ㄱ

1 기체가 한 일 $W = Fs = P\Delta L = P\Delta V$

2 (1) 이상 기체는 분자 사이의 힘을 무시하므로 퍼텐셜 에너지가 0이다. 따라서 이상 기체의 내부 에너지는 기체 분자들의 운동 에너지의 총합이다.

(2) 온도가 같으면 기체 분자들의 평균 운동 에너지가 같다. 이 경우 기체 분자의 수가 많을수록 내부 에너지가 크다.

(3) 이상 기체의 내부 에너지는 절대 온도와 분자수에 비례한다.

3 기체에 열을 가하면 기체의 온도가 상승한다. 기체의 내부 에너지는 기체의 온도에 비례하므로 기체의 온도가 상승하면 ㉠ 내부 에너지가 증가한다. 또한 기체에 열을 가하면 기체의 부피가 팽창한다. 기체의 부피가 팽창하여 부피의 변화가 있으면 기체는 외부에 ㉡ 일을 한다.

4 이상 기체가 받은 열 Q 는 내부 에너지 증가량 ΔU 와 외부에 한 일 W 의 합과 같다. 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U + W$ 이므로 $\Delta U = Q - W = 5000 \text{ J} - 2000 \text{ J} = 3000 \text{ J}$ 이 된다.

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

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

(3) 자전거 튜브에 공기를 넣을 때 공기통이 뜨거워지는 것은 단열 압축에 해당하므로 외부에서 받은 일만큼 내부 에너지가 증가하여 공기통의 온도가 높아진다. 따라서 단열 과정이다.

6 (1) 등온 과정은 기체의 온도가 일정하게 유지되면서 압력과 부피가 변하는 과정이다. 따라서 보일 법칙에 의해 온도가 일정할 때 압력과 부피가 반비례하는 ㄹ이 등온 과정을 나타내는 그래프이다.

(2) 단열 과정은 외부와의 열 출입이 없이 기체의 상태가 변하는 과정으로, 열역학 제1법칙 $Q = \Delta U + W$ 에서 $Q = 0$ 이므로 $W = -\Delta U$ 이다. 즉, 내부 에너지가 감소하면 기체가 외부에 한 일 W 는 증가하므로, 기체의 온도가 낮아질 때 기체의 부피가 증가하는 ㄴ이 단열 과정을 나타내는 그래프이다.

(3) 등압 과정은 기체의 압력이 일정하게 유지되면서 온도와 부피가 변하는 과정이므로 이를 나타내는 그래프는 ㄱ이다.

(4) 등적 과정은 기체의 부피가 일정하게 유지되면서 온도와 압력이 변하는 과정이므로 이를 나타내는 그래프는 ㄷ이다.

대표 자료 분석

78쪽

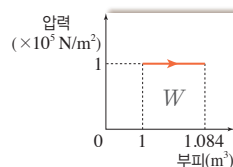
- 자료 1 1 (1) ○ (2) × (3) ○ 2 8400 J 3 12600 J
 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×
- 자료 2 1 (1) (가) (2) (나) 2 ㄱ, ㄴ, ㄷ 3 (1) ○ (2) ○ (3) ×

①-1 (1) 기체 내부의 압력이 외부의 압력과 평형을 유지하면서 팽창하므로 기체의 압력은 외부의 압력과 같은 압력으로 일정하게 유지된다.

(2) 압력이 일정하게 유지되면서 부피가 변하므로 이 과정은 등압 과정이다. 샤를 법칙에 따라 압력이 일정할 때 부피는 온도에 비례하므로 부피가 증가할 때 기체의 온도는 상승한다.

(3) 기체 분자의 평균 운동 에너지는 기체의 절대 온도에 비례한다. 기체의 온도가 상승하므로 기체 분자의 평균 운동 에너지도 증가한다.

①-2 압력이 일정할 때 기체가 한 일은 압력에 부피 변화를 곱한 $P\Delta V$ 이다. 따라서 기체의 압력 - 부피 그래프에서 기체가 외부에 한 일(W)은 그래프 아랫부분의 넓이와 같다.



$$W = P\Delta V = 1 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \times (1.084 - 1) \text{ m}^3 = 8400 \text{ J}$$

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

①-4 (1), (2) 기체가 팽창하면 외부에 일을 하는 것이고, 기체가 수축하면 외부로부터 일을 받은 것이다.

(3) 열역학 제1법칙에 따라 $Q = \Delta U + W$ 에서 내부 에너지 변화량 $\Delta U = Q - W$ 이므로 외부로부터 받은 열에서 외부에 한 일을 뺀 값과 같다.

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

→ $Q = \Delta U$

(나) 압력이 일정한 과정으로, 기체에 열을 가하면 부피가 팽창하면서 외부에 일을 하고, 온도가 상승하면서 내부 에너지가 증가한다. 따라서 기체가 받은 열은 내부 에너지 증가와 기체가 외부에 한 일에 사용된다. → $Q = \Delta U + W$

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

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

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

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

(2) (가)에서 기체가 받은 열량으로 내부 에너지가 증가하여 기체의 온도가 상승하므로 기체의 압력이 증가한다.

(3) (나)에서 기체의 내부 에너지가 증가하므로 온도가 상승한다.

나선 만점 문제

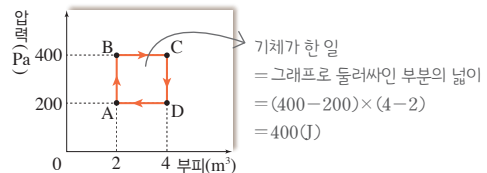
79쪽~81쪽

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

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

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

02 꼼꼼 문제 분석



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

03 ㄱ. 열을 흡수한 기체 분자들의 온도가 높아지므로 기체 분자들의 평균 운동 에너지가 증가한다.

ㄴ. 기체의 부피가 팽창하면서 피스톤이 가속도 운동을 하므로 피스톤 내부의 압력이 외부의 압력보다 높다. 즉, 실린더 내부 기체 분자들의 압력이 높아진다.

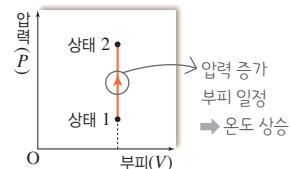
ㄷ. 기체의 부피가 팽창할 때 기체는 외부에 일을 한다.

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

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

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

06 꼼꼼 문제 분석



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

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 부피가 일정하므로 기체가 외부에 한 일은 0이다.
 ㄴ. 보일·샤를 법칙에 따라 $PV \propto T$ 이다. 부피가 일정할 때 압력은 온도에 비례하므로 압력이 증가하면 기체의 온도도 상승한다.

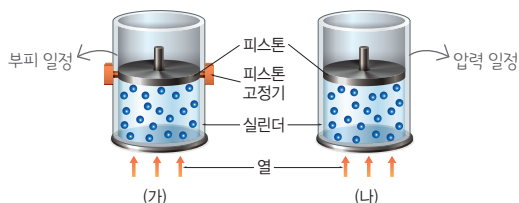
07 ㄱ, ㄴ. 부피가 팽창해도 일정한 압력을 유지하는 것은 기체 분자의 평균 속력이 빨라지기 때문인데, 평균 속력이 빨라지면 분자들의 평균 운동 에너지가 증가하며 온도가 높아진다.

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

08 기체가 한 일 W 는 압력-부피 그래프 아랫부분의 넓이와 같으므로, 한 일은 A가 B보다 크다.

기체의 온도는 압력과 부피에 각각 비례하므로 온도 변화 ΔT 는 압력과 부피의 변화가 더 큰 A가 B보다 크다. 따라서 내부 에너지의 변화량도 A가 B보다 크다.

09 **꼭꼭** 문제 분석



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

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

모범답안 (가), (가)의 기체는 부피가 변하지 않으므로 외부에 일을 하지 않는다. 따라서 실린더에 가한 열이 모두 내부 에너지 증가에 쓰이기 때문에 (나)보다 내부 에너지의 증가량이 더 크다.

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

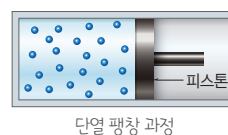
10 ㄴ. 보일 법칙에 따라 기체의 온도가 일정할 때, 기체의 압력과 부피는 반비례한다.

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

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

11 기체가 단열 압축될 때 기체의 부피가 감소하므로 외부에서 일을 받는다. 외부에서 일을 받을 때 $W<0$ 이므로, $\Delta U=-W$ 에서 $\Delta U>0$ 이다. 즉, 외부에서 받은 일만큼 내부 에너지가 증가하므로 기체의 내부 에너지는 $300\text{ J}+50\text{ J}=350\text{ J}$ 이다.

12 **꼭꼭** 문제 분석



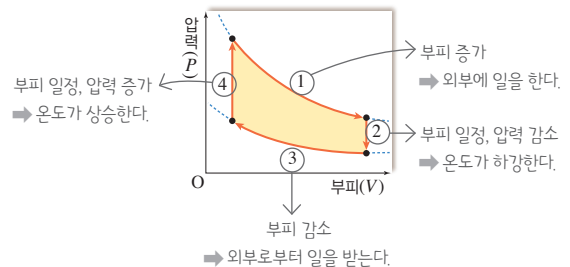
- ① 단열 과정이므로 $Q=0$ 이다.
- ② 기체의 부피가 증가하므로 외부에 일을 한다($W>0$)
- ③ 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에서 내부 에너지 ΔU 가 감소한다.
- ④ 온도가 하강한다.

ㄷ. 외부와의 열 출입이 없이 기체의 부피가 팽창하는 단열 과정에서 기체가 외부에 일을 하게 되고, 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소한다. ($Q=\Delta U+W \therefore W=-\Delta U$) 따라서 온도가 내려가고 내부 에너지가 감소하므로 기체 분자의 평균 속력은 감소한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $PV \propto T$ 에서 기체의 부피가 증가하고 기체의 온도가 하강하므로 기체의 압력은 감소한다.

ㄴ. 기체 분자의 평균 속력이 감소하면, 기체 분자의 운동 에너지의 총합인 내부 에너지도 감소한다.

13 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 과정 1에서 부피가 증가하므로 기체는 외부에 일을 한다.

ㄴ. 과정 2에서 부피는 일정하지만 압력이 감소하므로 온도가 하강한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 과정 1, 3은 온도가 일정한 등온 과정이다. 이때 기체 분자의 운동 에너지의 총합인 내부 에너지가 일정하므로 평균 속력은 일정하다.

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

ㄷ. 동해에서 온 공기 덩어리가 태백산맥을 넘으면서 단열 팽창하여 구름이 되었다가 동쪽 사면에 비를 뿌린 후 서쪽 사면을 따라 내려온다. 이때 단열 압축에 의해 온도가 높아져 고온 건조한 높새바람이 분다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 압력 밥솥은 밀폐되어 설정된 값까지 압력이 커져도 기체의 부피가 변하지 않으므로 등적 과정에 해당한다. 따라서 받은 열량이 모두 내부 에너지를 증가시켜 온도와 압력을 높이는데, 압력이 높아지면 높은 온도에서 물이 끓기 때문에 밥이 빨리 익는다.

15 ⑤ 탄산 음료 병의 뚜껑을 처음 열면 탄산 음료 병 안의 압축되어 있던 기체가 단열 팽창한다. 이때 내부 에너지가 감소하여 온도가 내려가므로, 수증기가 응결하여 김이 생긴다.

03 열역학 제2법칙

개념 확인 문제

85쪽

- ① 가역 ② 비가역 ③ 2 ④ 엔트로피 ⑤ 증가
⑥ 높은 ⑦ 열기관 ⑧ 열효율 ⑨ 카르노

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 ㄱ, ㄴ, ㄷ 3 ㉠ 1, ㉡ 2 4 (1) × (2) ○ (3) ○ 5 0.4 6 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○

1 (1) 골고루 퍼진 기체는 저절로 다시 처음 상태로 되돌아가지 못하므로 비가역 과정이다.

(2) 기체의 확산은 비가역 과정이므로 A의 상태에서 B의 상태로는 저절로 진행되지만 그 반대로는 저절로 진행되지 않는다.

(3) 기체의 확산은 비가역 과정이므로 처음의 상태로 스스로 되돌아가지 않지만 외부에서 에너지를 공급하면 B의 상태에서 A의 상태로 되돌릴 수 있다.

2 비가역 과정은 한쪽 방향으로만 변화가 일어나 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 없는 과정으로, 자연계에서 일어나는 대부분의 현상은 비가역 과정이다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ. 열의 이동, 기체의 확산, 잉크의 확산은 비가역 과정이다.

ㄹ. 공기 저항이 없을 때 진자의 운동은 가역 과정이다.

3 고온의 물체와 저온의 물체를 접촉시켰을 때 열이 저온의 물체에서 고온의 물체로 이동하여 저온의 물체가 더 차가워지고, 고온의 물체가 더 뜨거워지는 현상은 에너지 보존 법칙인 열역학 제①법칙에는 위배되지 않지만 열역학 제②법칙에 위배되므로 일어나지 않는다.

4 (1) 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다.

(2) 고온의 물체와 저온의 물체를 접촉시켰을 때 고온의 물체에서 저온의 물체로 열이 이동하여 온도가 같아진 상태를 열평형 상태라고 한다.

(3) 열평형 상태에서 두 물체가 다시 고온과 저온으로 나누어지는 일은 열역학 제2법칙에 위배되므로 저절로 일어날 수 없다.

5 열기관의 열효율은 공급한 열 중에서 유용한 일로 전환된 비율이므로 $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{1000 \text{ J} - 600 \text{ J}}{1000 \text{ J}} = 0.4$ 이다.

6 (1) 열역학 제2법칙에 따라 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하지만, 그 반대로의 열의 이동은 스스로 일어나지 않는다.

(2) 열기관 주위를 둘러싸고 있는 저열원으로 열이 저절로 흘러나가므로 저열원으로 방출되는 열이 0이 될 수 없다. 따라서 열효율 $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ 에서 열효율이 1(=100%)인 열기관은 존재하지 않는다.

(3) 일은 모두 열로 바꿀 수 있으나 열은 스스로 일을 할 수 없어 모두 열로 바꿀 수 없다. 따라서 열효율이 1인 열기관이 존재하지 않는다.

(4) 열역학 제2법칙에 따르면 자발적으로 일어나는 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다.

대표 자료 분석

86쪽

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

자료 ② 1 $\frac{W}{Q_1}$ 2 ㄱ 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

①-1 기체가 확산된 후 다시 한 곳으로 모이지 않는 까닭은 열역학 제②법칙에 의해 엔트로피가 낮아지는 방향으로서는 일어날 확률이 매우 낮기 때문이다.

①-2 기체의 확산은 비가역 과정의 예로, 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

ㄱ. 기체를 단열 압축하면 온도가 올라가는 현상은 열역학 제1법칙으로 설명할 수 있다.

ㄴ. 열역학 제2법칙에 의해 열을 전부 일로 바꿀 수 없기 때문에 열효율이 100 %인 열기관을 만들 수 없다.

ㄷ. 열역학 제2법칙은 열과 에너지의 이동 방향을 제시하는 것으로, 열은 항상 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동하며, 저온의 물체에서 고온의 물체로 스스로 이동하지 않는다.

ㄹ. 열역학 제2법칙에 의해 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다. 따라서 방 안의 공기가 저절로 한 구석으로 모이지 않는다.

①-3 (1) 기체가 확산된 후 다시 처음 상태로 스스로 되돌아가지 않기 때문에 기체의 확산은 비가역 과정이다.

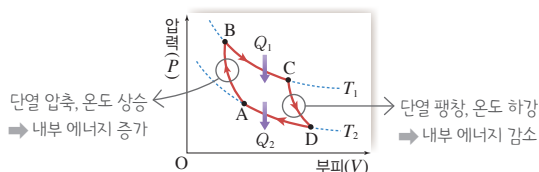
(2) 기체가 팽창하므로 압력은 감소한다.

(3) 기체가 진공 상태로 팽창하므로 일을 하지 않는다. 즉, 기체가 팽창할 때 외부에 힘을 가하지 않으므로 일을 하지 않는다.

(4) 자발적으로 일어나는 자연 현상은 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다.

②-1 이 열기관이 외부에 한 일의 양 $W=Q_1-Q_2$ 이다. 열기관의 열효율은 공급한 열 중에서 유용한 일로 전환된 비율이므로 $e=\frac{W}{Q_1}$ 이다.

②-2 공공 문제 분석



ㄱ. 기체의 온도가 높아지면 기체의 내부 에너지가 증가한다. A → B 과정은 단열 압축 과정이므로 기체가 외부에서 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.

ㄴ, ㄷ. B → C 과정, D → A 과정은 등온 과정으로, 내부 에너지가 일정하다.

ㄹ. C → D 과정은 단열 팽창 과정이므로 내부 에너지가 감소한다.

②-3 (1) $Q_1=W$ 인 열기관은 열효율이 100 %인 열기관이다. 열역학 제2법칙에 따라 열은 모두 일로 전환되지 않으므로 열효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.

(2) B → C 과정은 등온 팽창 과정, C → D 과정은 단열 팽창 과정, D → A 과정은 등온 압축 과정, A → B 과정은 단열 압축 과정이다. 네 과정 중에 열을 흡수하는 과정은 B → C 과정뿐이다. 따라서 B → C 과정에서 기체가 외부로부터 흡수한 열량은 Q_1 이다.

(3) C → D 과정은 단열 팽창 과정이므로 $Q=0$ 이고, $W>0$ 이다. 따라서 열역학 제1법칙에 의해 $W=-\Delta U$ 이므로 기체가 외부에 한 일만큼 내부 에너지가 감소한다.

(4) D → A 과정은 등온 압축 과정이므로 $\Delta U=0$ 이다. 따라서 $Q=\Delta U+W$ 에서 $Q=W$ 이므로 외부로부터 받은 일만큼 열을 방출한다. 이때 방출한 열량은 Q_2 이다.

내신 만점 문제

87쪽~89쪽

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

01 ㄱ. 멈추어 있던 진자가 스스로 처음 상태로 되돌아갈 수 않으므로 비가역 과정이다.

ㄴ. 진자가 움직이는 동안 진자와 충돌한 공기 분자의 평균 운동 에너지는 증가하고, 반대로 진자의 운동 에너지는 감소한다. 시간이 지난 후 진자가 처음에 가지고 있던 에너지가 모두 공기 분자에 전달되면 진자가 멈춘다.

ㄷ. 열역학 제2법칙에 따르면 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향으로 진행된다. 멈추었던 진자가 다시 움직이는 현상은 무질서도가 감소하는 현상으로 스스로 일어나지 않는다.

02 ㄱ. 자연 현상의 비가역성을 설명하는 것으로, 열역학 제2법칙으로 설명할 수 있다.

▮ **바로알기** ㄴ. 마찰이 있는 면에서 운동하는 물체의 에너지가 전환되더라도 에너지 보존 법칙에 따라 전체 에너지는 보존되므로 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)은 성립한다.

ㄷ. 열역학 제2법칙은 자연적으로 일어나는 현상에서의 방향성에 대한 설명으로, 외부에서 일을 해 주면 반대 방향으로의 현상도 일어날 수 있다.

03 ㄴ. 섞여 있는 상태인 (나)의 엔트로피가 섞여 있지 않은 상태인 (가)의 엔트로피보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 엔트로피는 무질서한 정도를 나타내는 것으로, 공이 골고루 섞여 있는 (나)의 엔트로피가 (가)보다 크다.

ㄷ. 자연 현상은 무질서도가 증가하는 방향, 즉 엔트로피가 커지는 방향으로 진행하므로, 엔트로피가 큰 (나)에서 엔트로피가 작은 (가)로 스스로 진행하지 않는다.

04 잉크가 한 곳에 모여 있는 것보다 골고루 퍼져 있는 것이 더 무질서한 상태이므로, 잉크를 물에 떨어뜨리면 열역학 제2법칙에 의해 잉크가 골고루 퍼져 나간다.

ㄱ. 찬물과 더운물을 섞으면 열역학 제2법칙에 의해 더운 물에서 찬물로 열이 이동하므로 미지근한 물이 된다.

ㄴ. 외부에서 흡수한 열을 전부 일로 바꾸는 것은 열역학 제2법칙에 위배되므로 이러한 열기관은 만들 수 없다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 외부에서 에너지를 공급받지 않고 계속 일을 하는 것은 열역학 제1법칙(에너지 보존 법칙)에 위배되므로 이러한 기관은 만들 수 없다.

05 ① 열은 스스로 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다.

② 마찰이 있는 면 위에서 물체를 운동시키면 물체의 운동 에너지는 마찰에 의해 물체나 바닥을 구성하는 분자의 열에너지로 전환되고, 시간이 지난 후 물체는 정지한다. 반면 열역학 제2법칙에 의해 물체를 구성하는 분자들의 열에너지가 물체의 운동 에너지로 전환되어 물체 스스로 운동하는 일은 일어나지 않는다.

③ 열기관이 일을 하는 과정에서 열은 주변에 존재하는 더 낮은 온도의 계로 저절로 흘러가므로 저열원으로 방출되는 열은 0이 될 수 없다. 따라서 효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.

④ 열역학 과정에 참여하는 모든 계를 함께 고려할 때 전체 엔트로피는 증가하는 방향으로 진행한다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ 고립계에서 자발적으로 일어나는 자연 현상은 무질서도가 증가하는 쪽으로만 진행된다.

06 ① 분자 1개의 평균 운동 에너지는 온도에 비례하므로 처음 상태에서 평균 운동 에너지는 온도가 높은 A 분자가 B 분자보다 크다.

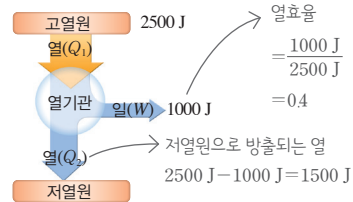
② 분자의 수와 부피가 같으므로 온도가 높은 A의 압력이 B보다 높다.

④, ⑤ 열역학 제2법칙에 의해 열은 항상 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하고, 그 반대로는 저절로 이동하지 않으므로 열의 이동은 비가역 과정이다. 따라서 A의 온도가 올라가고 B의 온도가 내려가는 현상은 일어날 수 없다.

▮ **바로알기** ▮ ③ 외부와 고립되어 열 출입이 없으므로 A, B의 전체 에너지는 항상 보존된다.

07 ④ 이 엔진이 한 일을 W 라고 하면 사용된 연료의 에너지는 $4W$ 이므로 열효율($\%$) = $\frac{W}{4W} \times 100 = 25 \%$ 가 된다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 열기관은 한 번의 순환 과정을 거치면서 원래의 상태로 되돌아온다. 따라서 열기관에서 기체의 내부 에너지는 변하지 않는다. ($\Delta U = 0$)

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 열기관은 고열원에서 흡수한 열에서 외부에 일하고 난 나머지 열을 저열원으로 방출한다. 따라서 저열원으로 방출한 열량은 $2500 \text{ J} - 1000 \text{ J} = 1500 \text{ J}$ 이므로, 고열원에서 흡수한 열이 더 많다.

ㄷ. 열기관의 열효율은 고열원에서 흡수한 열에 대해 열기관이 한 일의 비율이므로 $e = \frac{1000 \text{ J}}{2500 \text{ J}} = 0.4$ 이다.

09 열기관에서 저열원으로 빠져나가는 열이 0이 될 수 없어 열기관의 효율은 항상 1보다 작다.

모범답안 열역학 제2법칙에 의해 열은 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다. 따라서 열기관의 주위를 둘러싸고 있는 저열원으로 열이 저절로 흘러 나가는 것을 막을 수 없기 때문에 저열원으로 방출되는 열은 0이 될 수 없다. 따라서 열효율이 100 %인 열기관이 존재하지 않는다.

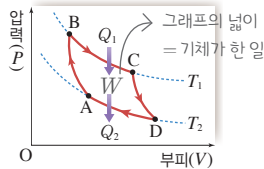
채점 기준	배점
열역학 제2법칙을 이용하여 열효율이 100 %인 열기관이 존재하지 않는 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
열역학 제2법칙에 의한 열에너지의 이동은 언급하지 않고, 열기관의 효율이 항상 1보다 작기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

10 ③ 절대 온도 = 섭씨온도 + 273이므로, 온도 127°C 는 $127 + 273 = 400(\text{K})$, 온도 27°C 는 $27 + 273 = 300(\text{K})$ 이다. 따라서 이상적인 열기관, 즉 카르노 기관의 열효율

$$e_{\text{카}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{400 \text{ K}} = 0.25 = 25 \% \text{이다.}$$

11 ② 카르노 기관의 열효율 $e_{\text{카}}(\%) = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100$ 이므로 열효율이 100 %가 되기 위해서는 저열원의 온도 $T_2 = 0$ 이거나 고열원의 온도 $T_1 = \infty$ 가 되어야 한다.

12 꼼꼼 문제 분석

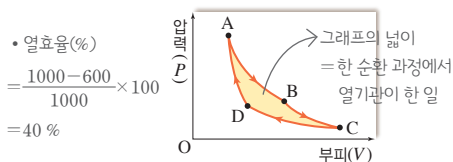


ㄴ. 한 번의 순환 과정, 즉 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 과정을 거치는 동안 기체의 온도는 처음과 같아지므로, 내부 에너지의 변화량은 0이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. Q_1 의 에너지를 흡수하여 W 의 일을 하고 Q_2 의 에너지를 방출하므로, $B \rightarrow C$ 과정에서 흡수한 열량 Q_1 은 $D \rightarrow A$ 과정에서 방출하는 열량 Q_2 보다 많다.

ㄷ. 한 번의 순환 과정, 즉 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 과정에서 기체가 한 일은 그래프에 둘러싸인 부분의 넓이와 같으므로 0이 아니다.

13 꼼꼼 문제 분석



ㄱ, ㄴ. $A \rightarrow B$ 과정은 등온 팽창 과정, $B \rightarrow C$ 과정은 단열 팽창 과정, $C \rightarrow D$ 과정은 등온 압축 과정, $D \rightarrow A$ 과정은 단열 압축 과정이다. 네 과정 중에 열을 흡수하는 과정은 $A \rightarrow B$ 과정, 열을 방출하는 구간은 $C \rightarrow D$ 과정이다. 따라서 $A \rightarrow B$ 과정에서 기체는 1000 kcal의 열을 흡수하고, $C \rightarrow D$ 과정에서 600 kcal의 열을 방출한다.

ㄷ. 열기관의 열효율(%)은 $e = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100 = 40\%$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 한 순환 과정에서 열기관이 한 일은 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 과정에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이에 해당한다. $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정에서 기체가 한 일은 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 과정 그래프 아랫부분의 넓이이므로 W 보다 크다.

14 ㄱ. A는 에너지 보존 법칙인 열역학 제1법칙에 어긋나기 때문에 만들 수 없다. A를 제1종 영구 기관이라고 한다.

ㄴ. B는 열을 전부 일로 바꿀 수 있어 열효율이 100 %인 열기관을 설명한 것이다. 이것은 열역학 제2법칙에 어긋나기 때문에 만들 수 없다. 이를 제2종 영구 기관이라고 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 열효율이 100 %인 영구 기관은 공급한 열이 모두 일로 전환되는 B이다.

중단원 핵심 정리

90쪽~91쪽

- ① 힘 ② $\frac{1}{2}mv^2$ ③ mgh ④ 역학적 ⑤ $\frac{1}{2}kx^2$ ⑥ 감소
 ⑦ 증가 ⑧ 열에너지 ⑨ 운동 ⑩ 한 일 ⑪ 내부 에너지
 ⑫ 등적 ⑬ 등압 ⑭ 등온 ⑮ 단열 ⑯ 가역 ⑰ 비가역
 ⑱ 증가 ⑲ 1 ⑳ 2

중단원 마무리 문제

92쪽~95쪽

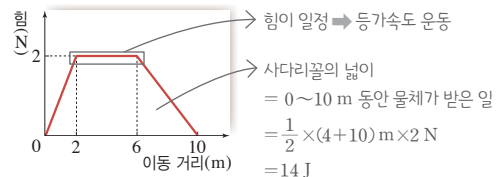
- 01 ⑤ 02 ④ 03 ② 04 ② 05 ③ 06 ②
 07 ① 08 ① 09 ② 10 ④ 11 ② 12 ②
 13 ⑤ 14 ⑤ 15 ③ 16 ④ 17 ⑤ 18 해설
 참조 19 해설 참조 20 해설 참조 21 해설 참조

01 ㄴ. 1 J은 물체에 1 N의 힘을 작용하여 힘의 방향으로 1 m 이동시켰을 때 한 일이다.

ㄷ. 물체에 힘을 작용하여 힘의 방향으로 물체를 이동시켰을 때 힘이 일을 하였다고 한다. 물체를 들고 가만히 서 있으면 물체가 이동한 거리가 0이므로 힘이 한 일이 0이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 에너지는 일을 할 수 있는 능력으로, 일을 한 만큼 물체의 에너지가 증가한다. 따라서 일과 에너지는 서로 전환될 수 있는 물리량이며 단위는 모두 J(줄)로 같다.

02 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 2 m~6 m 동안 힘이 일정하므로 물체는 등가속도 운동을 한다.

ㄴ. 힘 - 이동 거리 그래프 아랫부분의 넓이는 물체가 받은 일로, 14 J이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 물체가 받은 일만큼 물체의 운동 에너지가 증가하므로 $14 \text{ J} = \frac{1}{2} \times 4 \text{ kg} \times v^2$ 에서 $v = \sqrt{7} \text{ m/s}$ 이다.

03 공기 저항과 마찰을 무시하므로 A, B점에서 역학적 에너지가 같다. 즉, B점에서 물체의 속력을 v 라고 하면, $2 \times 10 \times 25 + \frac{1}{2} \times 2 \times 15^2 = 2 \times 10 \times 5 + \frac{1}{2} \times 2 \times v^2$ 에서 $v = 25 \text{ (m/s)}$ 이다.

04 ㄴ. A가 h 만큼 낙하하므로 A의 퍼텐셜 에너지 감소량은 $2mgh$ 이고, $2mgh$ 만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다. A와 B의 속력이 같으므로 A와 B의 운동 에너지는 질량에 비례한다. 따라서 B의 운동 에너지 증가량은 A의 퍼텐셜 에너지 감소량 $2mgh$ 의 $\frac{1}{3}$ 인 $\frac{2}{3}mgh$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A의 퍼텐셜 에너지가 감소한 만큼 A와 B의 운동 에너지가 증가한다.

ㄷ. A의 퍼텐셜 에너지가 $2mgh$ 만큼 감소하고, A와 B의 운동 에너지가 증가한다. 따라서 A의 역학적 에너지 감소량은 B의 운동 에너지 증가량과 같은 $\frac{2}{3}mgh$ 이다.

05 ㄷ. A점과 B점 사이의 각이 커질수록 추의 최대 퍼텐셜 에너지가 증가하므로 O점에서 추의 운동 에너지도 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A점에서 O점까지 운동하는 동안 높이가 감소하므로 추의 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가한다.

ㄴ. 진폭이 커질수록 추의 최대 퍼텐셜 에너지가 증가하므로 추의 역학적 에너지는 커진다.

06 ①, ③ 역학적 에너지는 물체의 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합으로, 역학적 에너지가 보존될 때 퍼텐셜 에너지가 증가하면 운동 에너지가 감소하고, 퍼텐셜 에너지가 감소하면 운동 에너지가 증가한다.

④, ⑤ 자유 낙하 하는 물체는 낙하 거리가 증가함에 따라 퍼텐셜 에너지는 감소하고 운동 에너지는 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ② 물체의 역학적 에너지는 마찰이나 공기 저항이 없을 때만 일정하게 보존된다. 마찰이나 공기 저항이 있으면 역학적 에너지의 일부가 마찰에 의해 열에너지로 전환되기 때문에 역학적 에너지가 보존되지 않는다. 그러나 열에너지를 포함한 전체 에너지는 보존된다.

07 ㄱ. 분자의 평균 운동 에너지는 평균 속력의 제곱에 비례하므로 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 절대 온도는 분자의 평균 운동 에너지에 비례하므로 절대 온도는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다. $PV \propto T$ 에서 기체의 압력은 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

ㄷ. 기체의 내부 에너지는 절대 온도에 비례하므로 내부 에너지는 (나)에서가 (가)에서의 4배이다.

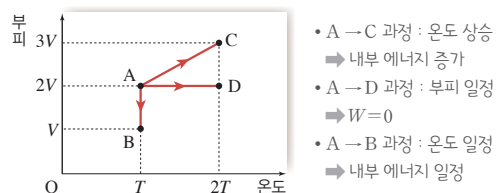
08 ① 단열 압축은 열 출입 없이 외부에서 물체에 일을 하는 과정이다. ($Q=0$, $W<0$) 따라서 $\Delta U=Q-W=-W>0$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ② 단열 팽창은 열 출입 없이 물체가 외부에 일을 하는 과정이다. ($Q=0$, $W>0$) 따라서 $\Delta U=Q-W=-W<0$ 이다.

③, ④ 내부 에너지는 온도에 비례한다. 등온 압축과 등온 팽창에서 기체의 온도는 변하지 않으므로 내부 에너지는 일정하다.

⑤ 등압 압축에서는 압력은 일정하고 부피는 감소하므로 온도가 하강하고 내부 에너지가 감소한다.

09 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. A → C 과정에서 온도가 상승하므로 내부 에너지는 증가한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A → B 과정에서 온도가 일정하므로 내부 에너지가 일정하다.

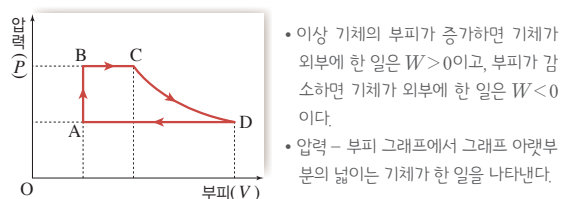
ㄷ. A → D 과정에서 부피가 일정하므로 기체가 한 일이 0이다. 따라서 기체가 흡수한 열은 모두 내부 에너지 증가로 나타난다.

10 ㄱ. 피스톤이 정지해 있을 때 이상 기체의 압력은 외부 압력(대기압)과 피스톤이 누르는 압력의 합과 같으므로 이상 기체의 압력은 (가), (나)에서 같다.

ㄴ. 압력 P 가 같을 때 부피가 클수록 온도가 높으므로, 온도는 (나)에서가 (가)에서보다 높다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 분자의 평균 속력은 온도가 높을수록 크므로 평균 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



① A → B 과정에서 기체의 부피가 변하지 않으므로 기체는 일을 하지 않는다.

③ C → D 과정에서 온도가 일정하므로 내부 에너지는 변하지 않는다. ($\Delta U=0$) 따라서 $\Delta U=Q-W=0$ 에서 $Q=W>0$ 이다. 즉, 기체가 흡수한 열은 기체가 한 일과 같다.

④ D → A 과정에서 압력은 일정하고 부피는 감소하므로 내부 에너지는 감소한다. ($\Delta U<0$) 또 부피가 감소하므로 외부에서 기체에 일을 한다. ($W<0$) 따라서 $Q=\Delta U+W<0$ 이므로 기체는 외부로 열을 방출한다.

⑤ $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 과정에서 처음 상태와 나중 상태는 A로 같으므로 내부 에너지의 변화량은 0이다. ($\Delta U=0$) 또한 $B \rightarrow C \rightarrow D$ 과정에서 기체가 외부에 한 일은 $D \rightarrow A$ 과정에서 기체가 외부로부터 받은 일보다 크기 때문에 전 과정에서 기체가 한 일은 0보다 크다. ($W>0$) 따라서 $\Delta U=Q-W$ 에서 $Q=W>0$ 이므로 기체는 외부로부터 열을 흡수한다.

■ **바로알기** ② $B \rightarrow C$ 과정에서 압력은 일정하고 부피는 증가하므로 내부 에너지가 증가한다. ($\Delta U>0$) 또 부피가 증가하므로 기체가 한 일은 0보다 크다. ($W>0$) 열역학 제1법칙에서 $\Delta U=Q-W>0$ 이므로 기체가 흡수한 열 Q 는 기체가 한 일 W 보다 크다.

12 ㄴ. 추의 무게에 의해 기체가 단열 압축되므로 외부에서 받은 일만큼 기체의 내부 에너지는 증가한다.

■ **바로알기** ㄱ, ㄷ. 기체의 내부 에너지가 증가하므로 온도가 상승하여 기체 분자의 평균 속력이 증가한다. 부피는 감소하고, 기체 분자의 평균 속력은 증가하므로 기체의 압력은 증가하게 된다.

13 ㄴ. 내부 기체가 외부에 한 일은 0이므로 외부에서 압력술 내부 기체에 가한 열은 모두 기체의 내부 에너지를 증가시키는 데 사용된다.

ㄷ. 압력술을 가열하는 동안 압력술 내부 기체의 부피가 변하지 않으므로 이 과정은 등적 과정이다.

■ **바로알기** ㄱ. 압력술 내부 기체의 부피 변화가 없으므로, 내부 기체가 외부에 한 일은 0이다.

14 ㄱ. A는 열(Q)을 공급받아 기체 B에 일(W)을 하였으므로 열역학 제1법칙에 의해 $Q=\Delta U_A+W$ 이다. B는 외부에서 열을 받지 않고 수축하는 단열 과정이므로 A로부터 받은 일 W 가 모두 내부 에너지 변화량이 되어 $W=\Delta U_B$ 가 된다. 따라서 열 $Q=\Delta U_A+\Delta U_B$ 이므로 A, B 기체의 내부 에너지 변화량의 합은 Q 가 된다.

ㄴ. $Q=\Delta U_A+W$ 에서 B의 기체가 받은 일 $W=Q-\Delta U_A$ 이므로 Q 보다 작다.

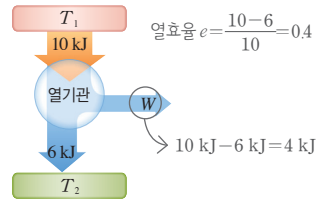
ㄷ. B는 A로부터 일을 받아 내부 에너지가 증가하였으므로 기체의 온도가 상승한다.

15 ㄱ. 물감이 한 곳에 모여 있는 것보다 골고루 퍼져 있는 것이 더 무질서한 상태이므로 물감을 물에 떨어뜨리면 열역학 제2법칙에 의해 물감이 골고루 퍼져 나간다.

ㄴ. 열역학 제2법칙은 자연 현상의 비가역적인 방향성을 나타내는 법칙으로, '고립된 계에서는 계의 총 엔트로피가 증가하는 쪽으로 변화가 진행된다.'는 열역학 제2법칙의 여러 가지 표현 중 하나이다.

■ **바로알기** ㄷ. 열역학 제2법칙에 의해 자연 현상은 확률이 증가하는 방향으로 진행된다.

16 **문제 분석**

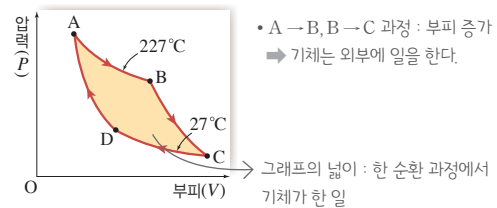


ㄱ. 열을 흡수하는 곳이 고열원이고, 일을 하고 남은 열을 방출하는 곳이 저열원이다. 따라서 $T_1>T_2$ 이다.

ㄴ. 열효율 $e=\frac{W}{Q_1}=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1}=\frac{10-6}{10}=0.4$ 이다.

■ **바로알기** ㄷ. 열역학 제2법칙에 의해 열을 모두 일로 바꿀 수 없으므로 열효율이 100 %인 열기관은 만들 수 없다.

17 **문제 분석**

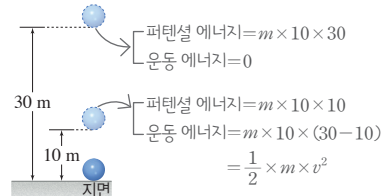


ㄱ. $A \rightarrow B, B \rightarrow C$ 과정은 부피가 증가하였으므로 기체는 외부에 일을 한다.

ㄴ. $C \rightarrow D$ 과정은 등온 과정에서 부피가 감소하였으므로, 기체는 외부로부터 일을 받았다.

ㄷ. 한 순환 과정에서 기체가 외부에 한 일은 압력 - 부피 그래프에서 그래프로 둘러싸인 부분의 넓이이므로 색칠한 부분과 같다.

18 **문제 분석**



역학적 에너지가 보존되므로 퍼텐셜 에너지의 감소량만큼 운동 에너지가 증가한다. 물체의 질량을 m 이라 하고, 10 m를 지날 때의 속력을 v 라고 하면, $m \times 10 \times (30 - 10) = \frac{1}{2} \times m \times v^2$ 에 의해 $v=20(\text{m/s})$ 이다.

모범답안 역학적 에너지는 보존되므로 퍼텐셜 에너지의 감소량만큼 운동 에너지가 증가한다. 따라서 $m \times 10 \times (30 - 10) = \frac{1}{2} \times m \times v^2$ 에서 $v = 20(\text{m/s})$ 이다.

채점 기준	배점
역학적 에너지 보존 법칙을 적용하여 풀이 과정과 답을 모두 옳게 구한 경우	100 %
역학적 에너지 보존에 대한 언급이 없이 식만 세워 답을 구한 경우	50 %

19 처음의 운동 에너지가 최고점에서 모두 퍼텐셜 에너지로 전환된다. $\frac{1}{2} \times m \times 30^2 = m \times 10 \times h$ 에서 $h = 45(\text{m})$ 이다.

모범답안 $\frac{1}{2} \times m \times 30^2 = m \times 10 \times h$ 에서 $h = 45(\text{m})$ 이다.

채점 기준	배점
식과 결과, 단위까지 모두 옳게 쓴 경우	100 %
식과 결과가 맞지만 단위를 쓰지 않은 경우	80 %

20 등압 팽창 과정은 압력이 일정한 상태로 부피가 증가하는 열역학 과정이다. 압력이 일정할 때 부피는 온도에 비례하므로 등압 팽창 과정에서 기체의 온도가 상승하고 내부 에너지가 증가한다. 또 팽창하면서 외부에 $P\Delta V$ 만큼의 일을 한다. 이 과정에서 기체는 외부에 하는 일과 내부 에너지 증가량을 합한 만큼의 열을 흡수한다.

모범답안 기체가 흡수한 열은 기체의 내부 에너지 증가와 외부에 일을 하는 데 사용된다. 부피가 증가하는데도 압력이 일정한 것은 기체의 분자 운동이 활발해진 것이므로 온도가 상승한 것이고, 따라서 내부 에너지가 증가한 것이다.

채점 기준	배점
세 가지 변화를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
두 가지 변화만 옳게 서술한 경우	50 %
한 가지 변화만 옳게 서술한 경우	30 %

21 열역학 제2법칙은 자연 현상의 비가역적인 방향성을 나타내는 법칙으로 여러 가지로 표현할 수 있다.

모범답안 • 열은 고온의 물체에서 저온의 물체로 이동한다. • 열효율이 1(=100 %)인 열기관은 만들 수 없다. • 자발적으로 일어나는 비가역 현상에는 방향성이 있다. • 자발적으로 일어나는 자연 현상은 항상 엔트로피가 증가하는 방향으로 진행된다. • 자발적으로 일어나는 자연 현상은 항상 확률이 높은 방향으로 진행된다. 등

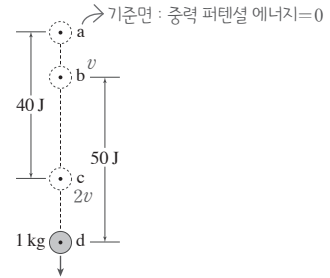
채점 기준	배점
두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

수능 실전 문제

97쪽~99쪽

1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ④ 5 ③ 6 ② 7 ① 8 ②
9 ① 10 ④ 11 ⑤ 12 ②

1 문제 분석



구분	퍼텐셜 에너지(J)	운동 에너지(J)	역학적 에너지(J)
a	0(기준면)	0	0
b	-10	$\frac{1}{2}mv^2 = 10$	0
c	-40	$\frac{1}{2}m(2v)^2 = 40$	0
d	-60	60	0

선택지 분석

- ✗ a, b 사이의 거리는 1.5 m이다. 1 m
- ✗ c, d 사이에서 중력이 물체에 한 일은 18 J이다. 20 J
- d에서 물체의 속력은 $2\sqrt{30}$ m/s이다.

전략적 풀이 ① 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 각 점에서의 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지를 파악한다.

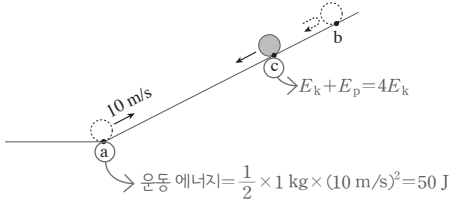
- a점을 기준면으로 중력 퍼텐셜 에너지를 0이라고 하면, a점에서 운동 에너지가 0이므로 역학적 에너지도 0이다.
- c점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 -40 J이고, 역학적 에너지가 보존되므로 운동 에너지는 40 J이다.
- c점에서의 속력은 b점에서의 2배이므로 c점에서 운동 에너지는 b점에서의 2^2 배=4배이다. 따라서 b점에서의 운동 에너지는 10 J이고, 역학적 에너지가 보존되므로 중력 퍼텐셜 에너지는 -10 J이다.
- d점에서 중력 퍼텐셜 에너지는 -10 J - 50 J = -60 J이고, 역학적 에너지가 보존되므로 운동 에너지는 60 J이다.
- ∴ d점에서 운동 에너지는 60 J이므로 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2 = 60 \text{ J}$ 에 의해 물체의 속력 $v = 2\sqrt{30}$ m/s이다.

② a점과 b점의 퍼텐셜 에너지 차이를 이용하여 a점과 b점 사이의 거리를 구한다.

∴ a점과 b점의 중력 퍼텐셜 에너지 차이 $mg\Delta h$ 가 10 J이므로 $1 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 \times \Delta h = 10 \text{ J}$ 에서 a와 b 사이의 거리 Δh 는 1 m이다.

- ③ 일·운동 에너지 정리를 이용하여 중력이 물체에 한 일을 구한다.
 일·운동 에너지 정리에 따라 증가한 물체의 운동 에너지는 중력이 물체에 한 일과 같다.
 ∴ c점에서 d점까지 운동 에너지가 20 J만큼 증가하였으므로 중력이 물체에 한 일은 20 J이다.

2 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ c에서 물체의 속력은 5 m/s이다.
 ㉡ b에서 물체의 가속도의 크기는 5 m/s²이다.
 ✕ a, c 사이의 거리는 7 m이다. 7.5 m

▶ 전략적 풀이 ① 역학적 에너지 보존 법칙을 이용하여 c점에서의 속력을 구한다.

ㄱ. a에서 물체의 운동 에너지는 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times (10 \text{ m/s})^2 = 50 \text{ J}$, 중력 퍼텐셜 에너지는 0이므로 역학적 에너지는 50 J이다. c에서 중력 퍼텐셜 에너지는 운동 에너지의 3배이므로 역학적 에너지 보존 법칙에 의해 c에서 $E_k + E_p = 4E_k = 4 \times \left(\frac{1}{2} \times 1 \text{ kg} \times v^2\right) = 50 \text{ J}$ 이 된다. 따라서 c에서 물체의 속력 $v = 5 \text{ m/s}$ 이다.

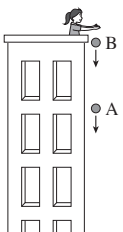
② 등가속도 운동 식을 활용하여 물체의 가속도와 거리를 구한다.

ㄴ. 물체는 빗면에서 등가속도 직선 운동을 하므로 $v = v_0 + at$ 에서 $-5 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s} + a \times 3 \text{ s}$ 에서 $a = -5 \text{ m/s}^2$ 이다. 따라서 가속도의 크기는 5 m/s²이다.

ㄷ. a, c 사이의 거리는 $2as = v^2 - v_0^2$ 에서

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{(-5 \text{ m/s})^2 - (10 \text{ m/s})^2}{2 \times (-5 \text{ m/s}^2)} = 7.5 \text{ m}$$

3 **꼼꼼** 문제 분석



t초 후 물리량	A	B
속력	$v_A = v_0 + gt$	$v_B = gt$
운동 에너지	$E_A = \frac{1}{2}mv_A^2$	$E_B = \frac{1}{2}mv_B^2$
이동 거리	$s_A = v_0t + \frac{1}{2}gt^2$	$s_B = \frac{1}{2}gt^2$

선택지 분석

- ㉠ A, B의 속력 차는 일정하다.
 ✕ A, B의 운동 에너지 차는 일정하다. 증가한다
 ㉡ A, B 사이의 거리는 증가한다.

▶ 전략적 풀이 ① 자유 낙하 하는 물체의 운동을 파악한다.

A, B는 중력에 의해 등가속도 운동을 하므로 A, B의 가속도는 중력 가속도 g 이다.

② 등가속도 운동 식을 이용하여 두 물체 A, B의 속력과 운동 에너지를 구한다.

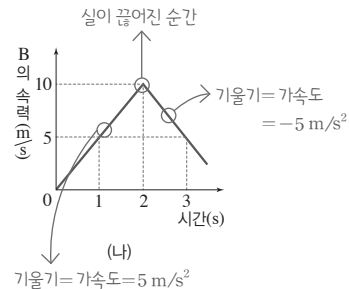
ㄱ. A의 속도가 v_0 이 되었을 때 B를 놓고, B를 놓은 후 시간이 t 만큼 지났을 때 등가속도 운동 식 $v = v_0 + at$ 에서 A, B의 속력은 각각 $v_A = v_0 + gt$, $v_B = gt$ 가 된다. 따라서 A, B의 속력 차는 $v_A - v_B = (v_0 + gt) - gt = v_0$ 으로 일정하다.

ㄴ. A, B의 질량을 m 이라고 할 때 A, B의 운동 에너지는 각각 $E_A = \frac{1}{2}mv_A^2$, $E_B = \frac{1}{2}mv_B^2$ 이다. 따라서 A, B의 운동 에너지 차는 $E_A - E_B = \frac{1}{2}m(v_A^2 - v_B^2) = \frac{1}{2}m(v_0^2 + 2v_0gt)$ 가 되므로 시간이 지남에 따라 증가한다.

③ 등가속도 운동 식을 이용하여 두 물체 A, B 사이의 거리를 파악한다.

ㄷ. 등가속도 운동 식 $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 에서 시간이 t 만큼 지났을 때 A, B의 이동 거리는 각각 $s_A = v_0t + \frac{1}{2}gt^2$, $s_B = \frac{1}{2}gt^2$ 이 된다. 따라서 A, B 사이의 거리는 $s_A - s_B = (v_0t + \frac{1}{2}gt^2) - \frac{1}{2}gt^2 = v_0t$ 가 되므로 시간에 따라 증가한다.

4 **꼼꼼** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ C의 질량은 m 이다.
 ㉡ A의 질량은 B의 4배이다.
 ✕ 2초 이후 C의 역학적 에너지는 일정하다. 증가한다

❶ 전략적 풀이 ❶ 속력 - 시간 그래프에서 가속도를 구한다.

속력 - 시간 그래프의 기울기는 물체의 가속도와 같다. 따라서 0 ~ 2초 동안 물체의 가속도는 5 m/s^2 이고, 2초 이후 물체의 가속도는 -5 m/s^2 이다.

❷ 실이 끊어지기 전과 후 물체의 운동을 파악하고, A, B, C의 질량 관계를 구한다.

ㄱ. 실이 끊어진 2초 후 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다. 실이 끊어진 후 물체 B와 C는 함께 운동한다. C의 질량을 m_C 라고 할 때 B와 C에 작용하는 알짜힘은 C에 작용하는 중력의 크기인 $10m_C$ 와 같다. 따라서 $10m_C = (m + m_C) \times 5$ 에서 $m_C = m$ 이다.

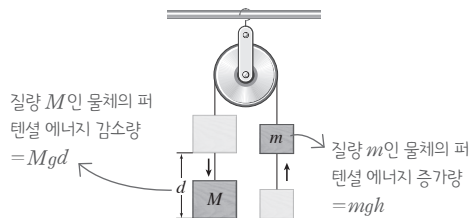
ㄴ. 실이 끊어지기 전 물체 A, B, C에 작용하는 알짜힘의 크기는 $10m_A - 10m_C$ 이고, 가속도의 크기는 5 m/s^2 이다. A의 질량을 m_A 라고 하여 운동 방정식을 세워보면,

$10m_A - 10m_C = (m_A + m + m_C) \times 5$ 가 된다. $m_C = m$ 이므로 $m_A = 4m$ 이 된다.

❸ 마찰이나 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지가 보존됨을 이해하고, C의 역학적 에너지를 구한다.

ㄷ. 모든 마찰과 공기 저항을 무시하므로 2초 이후 B와 C의 역학적 에너지가 보존된다. 2초 이후 C의 퍼텐셜 에너지 증가량만큼 B와 C의 운동 에너지가 감소한다. 즉, C의 퍼텐셜 에너지 증가량보다 C의 운동 에너지 감소량이 작으므로 2초 이후 C의 역학적 에너지는 증가한다.

5 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 두 물체의 역학적 에너지는 보존된다.
- ✕ 질량 M 인 물체의 퍼텐셜 에너지 감소량은 질량 m 인 물체의 운동 에너지 증가량과 같다.
퍼텐셜 에너지 증가량과 두 물체의 운동 에너지 증가량의 합
- ㉡ 거리 d 만큼 움직이는 순간 두 물체의 운동 에너지는 $(M - m)gd$ 이다.

❶ 전략적 풀이 ❶ 역학적 에너지가 보존되기 위한 조건을 파악한다.

마찰이나 공기 저항이 없을 때 역학적 에너지는 일정하게 보존된다.

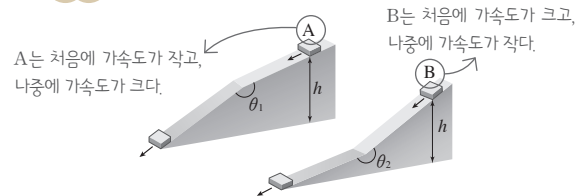
ㄱ. 마찰이나 공기 저항이 없으므로 거리 d 만큼 움직이는 동안 두 물체의 역학적 에너지는 보존된다.

❷ 역학적 에너지가 보존될 때 물체의 운동 에너지 변화량과 퍼텐셜 에너지 변화량의 관계를 파악한다.

ㄴ. 거리 d 만큼 움직이는 동안 질량 M 인 물체의 퍼텐셜 에너지 감소량은 질량 m 인 물체의 퍼텐셜 에너지 증가량과 두 물체의 운동 에너지 증가량의 합과 같다.

ㄷ. 두 물체의 역학적 에너지가 보존되므로 두 물체가 거리 d 만큼 움직이는 순간 두 물체의 운동 에너지는 두 물체의 퍼텐셜 에너지 변화량과 크기가 같다. 두 물체의 퍼텐셜 에너지 변화량의 크기는 $(M - m)gd$ 이다.

6 문제 분석

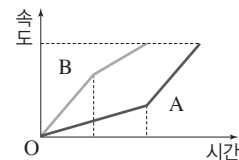


선택지 분석

- ㉠ B가 A보다 먼저 수평면에 도달한다.
- ㉡ 중력이 물체에 한 일은 A, B가 서로 같다.
- ✕ 수평면에 도달한 순간의 운동 에너지는 B가 A보다 크다. A, B가 같다

❶ 전략적 풀이 ❶ A, B가 수평면에 도달할 때까지 속도의 크기를 비교한다.

ㄱ. A와 B가 수평면에 도달할 때까지 속도 변화를 시간에 따라 개략적으로 나타내면 아래 그래프와 같다.



A는 처음 가속도가 작고, 경사면을 지난 후 나중 가속도가 크다. B는 처음 가속도가 크고, 경사면을 지난 후 나중 가속도가 작다. 따라서 B가 A보다 먼저 수평면에 도달한다.

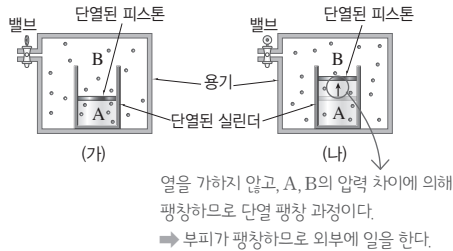
❷ 중력이 물체에 한 일의 크기를 비교한다.

ㄴ. 높이가 h 로 서로 같으므로 수평면에 도달할 때까지 중력이 물체에 한 일은 A, B가 서로 같다.

❸ 수평면에 도달했을 때 물체의 속도를 파악하고 A, B에서 운동 에너지의 크기를 비교한다.

ㄷ. 수평면에 도달할 때까지 중력이 두 물체에 한 일이 같으므로 수평면에 도달한 순간의 운동 에너지가 같고 속력이 같다.

7 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ 등압 과정에 해당한다. 단열 팽창 과정
- ☒ 외부에 일을 한다.
- ☒ 내부 에너지가 증가한다. 감소

전략적 풀이 ① (가)에서 (나)로 변하는 동안 기체의 열역학 과정을 파악한다.

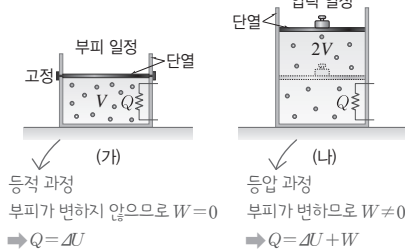
ㄱ. 기체에 열을 가하지 않고 A, B의 압력 차이에 의해 팽창하였으므로 단열 팽창 과정에 해당한다.

② 열역학 제1법칙을 이해하고, 열역학 과정에서 기체가 한 일, 내부 에너지, 열량의 관계를 파악한다.

ㄴ. 기체 A의 부피가 팽창하였으므로 기체는 외부에 일을 한 것이다.

ㄷ. 단열 팽창 과정은 외부와 열 출입 없이 외부에 일을 하는 과정이다. ($Q=0, W>0$) 따라서 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에서 내부 에너지 $\Delta U=Q-W=-W<0$ 이므로 외부에 일을 한 만큼 내부 에너지가 감소한다.

8 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ 기체의 압력은 (가) > (나)이다.
- ☒ 기체의 내부 에너지는 (가) > (나)이다.
- ☒ (나)에서 기체의 내부 에너지 증가량은 $\frac{P}{V}$ 이다.

전략적 풀이 ① 열역학 제1법칙을 이해하고 (가), (나)에서 기체의 열역학 과정을 파악한다.

열역학 제1법칙은 물체에 전달된 열이 내부 에너지의 증가량과 외부에 한 일의 합과 같다($Q=\Delta U+W$)는 것으로, 열에너지와 역학적 에너지를 포함한 에너지 보존 법칙이다.

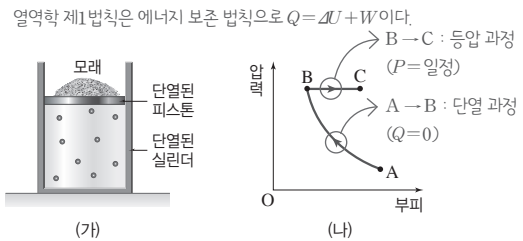
ㄴ. (가)는 등적 과정이므로 받은 열 Q 가 모두 내부 에너지 증가에 쓰이지만 (나)에서는 받은 열 중 일부는 일을 하는 데 쓰이고 일부는 내부 에너지 증가로 나타난다. 따라서 가열 후 기체의 내부 에너지는 (가)에서 (나)에서보다 크다.

ㄷ. (나)에서 가열 후 기체의 내부 에너지 증가량은 열역학 제1법칙 $Q=\Delta U+W$ 에서 $\Delta U=Q-W$ 이므로 받은 열량에서 외부에 한 일을 뺀 $Q-PV$ 이다.

② 등적 과정과 등압 과정에서 기체의 압력 변화를 파악한다.

ㄱ. (가)는 등적 과정이므로 외부에 일을 하지 않는다. 받은 열량 Q 가 모두 내부 에너지 증가에 사용된다. 따라서 기체의 온도가 높아지고 압력이 증가한다. (나)는 등압 과정이므로 가열 후 기체의 압력은 가열 전과 같다.

9 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ A → B 과정에서 모래의 양을 감소시켰다. 증가
- ☒ A → B 과정에서 기체의 내부 에너지는 증가한다.
- ☒ B → C 과정에서 흡수한 열은 내부 에너지 증가량과 외부에 한 일과 내부 에너지 증가량의 합

전략적 풀이 ① 온도가 일정한 과정에서 압력과 부피의 관계를 파악한다.

보일 법칙에 따라 온도가 일정할 때 기체의 압력과 부피는 반비례한다.

ㄱ. A → B 과정에서 부피가 감소하고 압력이 증가하였으므로 모래의 양을 증가시켰다.

② 열역학 제1법칙을 이용하여 열역학 과정에서 기체의 내부 에너지 변화를 파악한다.

ㄴ. A → B 과정은 단열 압축 과정이므로 기체가 외부에서 받은 일만큼 기체의 내부 에너지가 증가한다.

ㄷ. B → C 과정에서 흡수한 열은 일부 외부에 일을 하는 데 사용되고 나머지가 내부 에너지 증가에 사용된다.

10 **문제 분석**



- 열역학 제1법칙 : 기체에 가한 열량은 기체의 내부 에너지 변화량과 기체가 한 일의 합과 같다. $\Rightarrow Q = \Delta U + W$
- 열역학 제2법칙 : 열은 고온에서 저온으로 이동한다.
 $\Rightarrow$ 손바닥의 열이 페트병 안의 공기로 이동

선택지 분석

- 영희 : 손에서 페트병 안의 공기로 열이 이동했어.
- 민수 : 페트병 안의 공기의 내부 에너지는 감소했어. **증가**
- 철수 : 페트병 안의 공기는 동전에 역학적 에너지를 공급해.

전략적 풀이 ① 열역학 제2법칙을 이용하여 손으로 페트병을 감췄을 때 열의 이동 방향을 파악한다.

열역학 제2법칙에 따라 열은 고온에서 저온으로 이동하므로 손에서 페트병 안의 공기로 열이 이동한다.

- 영희 : 열은 온도가 높은 손에서 온도가 낮은 페트병 안의 공기로 이동한다.

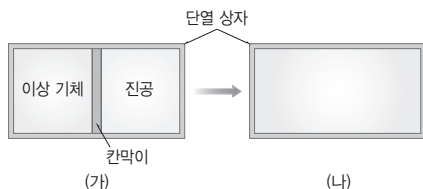
② 열역학 제1법칙을 이용하여 기체에 열을 가했을 때 기체가 하는 일과 내부 에너지 변화를 파악한다.

열역학 제1법칙에 의해 $Q = \Delta U + W$ 에서 페트병 안의 공기에 열 Q 를 가하면 페트병 안의 공기의 내부 에너지 ΔU 가 증가하고, 기체는 외부에 일 W 를 한다.

- 민수 : 열을 얻은 페트병 안의 공기의 온도가 상승하므로 공기의 내부 에너지는 증가한다.
- 철수 : 페트병 내부의 공기가 팽창하면서 동전을 미는 일을 하므로 동전이 툭툭 튀게 된다. 즉, 페트병 안의 공기는 동전에 역학적 에너지를 공급한다.

11 **문제 분석**

- 이상 기체가 팽창하면서 외부 물체를 밀어낼 때는 기체가 외부에 일을 하지만, 외부 물체를 밀어내지 않으면 기체는 외부에 일을 하지 않는다.
- 평균 속력이 같을 때 기체가 좁은 곳에 모여 있을수록 엔트로피는 감소한다.



선택지 분석

- (가) 기체의 내부 에너지는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
- (나) (가)에서 (나)로의 변화는 비가역 과정이다.
- (다) (가)에서 (나)로 변하는 동안 기체는 일을 하지 않는다.

전략적 풀이 ① 기체의 부피 변화를 파악하고, 내부 에너지의 변화를 이해한다.

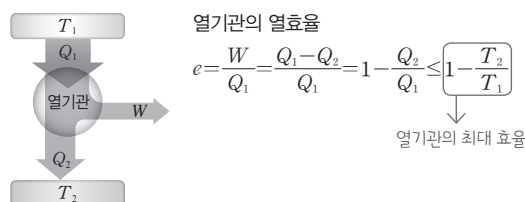
ㄱ. 이상 기체가 진공 속으로 퍼져 나가는 동안 일을 하지 않고, 외부로부터 열을 흡수하거나 방출하지도 않으므로 내부 에너지는 변하지 않는다.

ㄴ. 이상 기체가 팽창하면서 외부 물체를 밀어낼 때는 기체가 외부에 일을 하지만, 진공 속으로 퍼져 나가는 동안에는 밀어내는 대상이 없어 일을 하지 않는다.

② 열역학 제2법칙에서 비가역 현상의 방향성을 이해한다.

ㄴ. (가)에서 (나)로 변하는 과정은 엔트로피가 증가하는 과정이다. 열역학 제2법칙에 의해 (가)에서 (나)로의 변화는 스스로 일어날 수 있지만, (나)에서 (가)로는 스스로 일어날 수 없기 때문에 (가)에서 (나)로의 변화 과정은 비가역 과정이다.

12 **문제 분석**



선택지 분석

- 열기관은 열역학 제1법칙에 위배된다. **을 만족한다**
- Q_1 이 일정할 때 Q_2 가 작을수록 열기관의 효율이 **낮아진다**. **높아진다**
- (다) T_1 과 T_2 의 온도 차가 클수록 열효율이 높아진다.

전략적 풀이 ① 열역학 제1법칙을 파악한다.

열역학 제1법칙은 에너지 보존 법칙으로, 기체에 가한 열은 기체가 외부에 한 일과 저열원으로 빠져나가는 열의 합과 같다는 에너지 보존 법칙이다.

ㄱ. 열기관에서 $Q_1 = W + Q_2$ 이므로 열역학 제1법칙을 만족한다.

② 열기관의 작동 원리를 이해하고, 열효율을 구한다.

열기관은 반복되는 순환 과정을 거쳐 열에너지를 역학적 에너지로 바꾸는 장치이다. 순환 과정에서 열기관이 외부로부터 흡수한 열량을 Q_1 , 외부로 방출한 열량을 Q_2 라고 하면, 순환 과정 동안 열기관이 외부에 한 일 $W = Q_1 - Q_2$ 이고, 열기관의 효율 e 는 열기관에 공급한 열에 대해 열기관이 한 일의 비율이므로

$$e = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{이다.}$$

ㄴ. 저열원으로 방출되는 열량 Q_2 가 작아질수록 열기관의 효율이 높아진다.

ㄴ. 고열원과 저열원의 온도 차를 크게 하면 열기관의 최대 효율이 높아진다.

3

시간과 공간



01 특수 상대성 이론

개념 확인 문제

104쪽

- 1 상대 속도 2 관찰자 3 에테르 4 상대성
5 광속 불변 원리 6 특수 상대성 이론

- 1 (1) 서쪽으로 17 m/s (2) 동쪽으로 17 m/s 2 (1) ○ (2) ×
(3) ○ (4) ○ 3 상대성 원리, 광속 불변 원리 4 관성 좌표계
5 (1) 오른쪽으로 일정한 속도 v 로 운동 (2) 뒤로 일정한 속도 v 로 운동
6 (1) c (2) c

1 동쪽을 (+), 서쪽을 (-)로 정한다.

- (1) A에 대한 B의 상대 속도 $v_{AB} = v_B - v_A = (-7 \text{ m/s}) - 10 \text{ m/s} = -17 \text{ m/s}$ 이므로 서쪽으로 17 m/s이다.
(2) B에 대한 A의 상대 속도 $v_{BA} = v_A - v_B = 10 \text{ m/s} - (-7 \text{ m/s}) = 17 \text{ m/s}$ 이므로 동쪽으로 17 m/s이다.

- 2 (1) 마이컬슨과 몰리의 빛이 에테르를 통해 전달되면 에테르 바람의 방향이 빛의 전달에 영향을 미칠 것이라고 생각하였다.
(2) 마이컬슨·몰리 실험 결과 에테르가 존재하지 않는다는 결론을 얻었다.
(3), (4) 아인슈타인은 빛은 매질이 없이도 전파되며, 빛의 속력이 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다는 것을 알게 되었다.

3 아인슈타인이 특수 상대성 이론을 펼칠 수 있었던 근거는 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다는 상대성 원리와 모든 관성 좌표계에서 보았을 때 진공 중에서 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다는 광속 불변 원리이다.

4 정지해 있거나 등속도로 움직이는 공간을 기준으로 한 좌표계를 관성 좌표계라고 한다.

- 5 (1) S를 기준으로 하면 S'은 오른쪽으로 일정한 속도 v 로 운동한다.
(2) S'을 기준으로 하면 S는 뒤로 일정한 속도 v 로 운동한다.

6 (1), (2) 관성 좌표계에서는 광원이나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 빛의 속력은 c 로 일정하다.

개념 확인 문제

108쪽

- 1 동시성의 상대성 2 고유 시간 3 시간 지연 4 느리게
5 고유 길이 6 길이 수축 7 운동

- 1 (1) 동시에 (2) B 2 (1) ○ (2) ○ (3) × 3 (1) × (2) ○
(3) ○ 4 (1) 짧다 (2) 크다 (3) 짧다

- 1 (1) 어느 방향으로나 빛의 속력이 같고, 지구에서 두 검출기까지의 거리가 같으므로 빛은 A, B에 동시에 도달한다. 즉, 두 사건은 동시에 일어난다.
(2) 우주선 밖에 있는 관찰자에게도 빛의 속력은 어느 방향으로나 같은데 빛이 이동하는 동안 우주선도 오른쪽으로 이동하므로 빛이 B에 먼저 도달한다. 즉, 사건 B가 먼저 일어난다.

- 2 (1) 자신의 좌표계에 있는 시계로 측정한 시간이 고유 시간이다.
(2) 자신의 좌표계에 있는 물체의 길이를 측정한 값이 물체의 고유 길이이다.
(3) 다른 관성 좌표계에서 상대방의 물체의 길이를 측정하면 고유 길이보다 짧다.

- 3 (1) 한 좌표계에서 동시에 일어난 사건도 다른 좌표계에서는 동시가 아닐 수 있다.
(2) 두 관성 좌표계 사이에서 서로 상대방의 시간이 천천히 흐르는 것으로 관측된다.
(3) 상대 속도 v 가 클수록 상대방에 있는 물체의 길이 수축 정도가 커진다.

- 4 (1) 민수는 다른 관성 좌표계에 있으므로 민수가 측정한 지구에서 별까지의 거리는 고유 길이보다 짧다.
(2) 지구는 우주선과 다른 관성 좌표계이므로 우주선이 지구에서 별까지 가는 데 걸린 시간을 지구에서 관찰하면 고유 시간보다 크다.
(3) 우주선과 다른 관성계인 지구에서 관찰하면 우주선의 길이는 민수가 측정한 고유 길이보다 짧게 관측된다.

109쪽

완자샘

비법 특강

Q1 고유 길이

Q2 길이

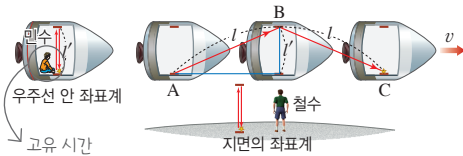
Q1 고유 길이는 관찰자가 측정했을 때 정지 상태에 있는 물체의 길이 또는 한 관성 좌표계에 대해 고정된 두 지점 사이의 길이이다.

Q2 길이 수축은 운동 방향으로만 일어나므로 기차의 길이가 줄어든다. 운동 방향에 수직인 기차의 높이는 줄어들지 않는다.

자료 1 1 두 경우 모두 c 이다. 2 우주선 안에 있는 빛 시계 3 더 커진다. 4 (1) ○ (2) ○ (3) ×

자료 2 1 $L = v \Delta t_{\text{고유}}$ 2 $L_{\text{고유}} = v \Delta t$ 3 $\Delta t > \Delta t_{\text{고유}}$, $L < L_{\text{고유}}$ 4 (1) × (2) × (3) ○ (4) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



	민수가 보았을 때	철수가 보았을 때
빛의 속도	c	c
빛의 이동 거리	$2l'$	$2l$
빛의 주기	$T' = \frac{2l'}{c}$	$T = \frac{2l}{c}$
결론	$l > l'$ 이므로 $T > T'$	

모든 관성 좌표계에서 빛의 속력은 c 로 일정하다.

1-2 철수가 관찰할 때 빛이 빛 거울 사이를 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 우주선 안에 있는 시계가 더 천천히 간다.

1-3 시간의 차이는 우주선의 속도가 빠를수록 더 커진다.

1-4 (1) 민수와 철수의 좌표계는 상대적으로 움직이는 다른 관성 좌표계이다.

(2) 자신의 좌표계에 있는 시계로 측정한 시간은 고유 시간이다.

(3) 고유 시간보다 다른 좌표계의 시간이 더 느리게 간다.

2-1 철수가 계산한 지구에서 목성까지의 거리 L 은 자신의 속도인 우주선의 속도 v 에 자신이 측정한 시간을 곱한 값이므로 $L = v \Delta t_{\text{고유}}$ 가 된다.

2-2 영희가 계산한 지구에서 목성까지 거리 $L_{\text{고유}}$ 는 우주선의 속도에 자신이 측정한 시간을 곱한 값인 $L_{\text{고유}} = v \Delta t$ 이다.

2-3 Δt 는 고유 시간 $\Delta t_{\text{고유}}$ 보다 크다. $L = v \Delta t_{\text{고유}}$ 이고 $L_{\text{고유}} = v \Delta t$ 인데 $\Delta t > \Delta t_{\text{고유}}$ 이므로 $L < L_{\text{고유}}$ 가 된다. 즉, 다른 좌표계에서 측정한 거리 L 은 고유 길이 $L_{\text{고유}}$ 보다 짧다.

2-4 (1) 철수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이므로 영희가 측정한 우주선의 길이보다 길다.

(2) 철수가 측정한 지구에서 목성까지 거리는 우주선의 속도가 빠를수록 짧아진다.

(3) 영희가 측정한 우주선의 길이는 우주선의 속도가 빠를수록 짧아진다.

(4) 영희가 우주선을 관측하면 운동 방향과 같은 방향인 우주선의 길이만 짧아진다.

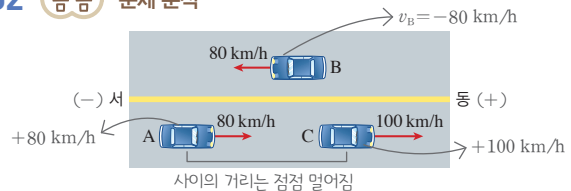
내신 만점 문제

111쪽~115쪽

01 ②	02 ①	03 35초	04 ③	05 ④
06 해설 참조	07 ③	08 ③, ⑤	09 ②	10 ⑤
11 ③	12 ③	13 ⑤	14 ③	15 ③
16 ⑤	17 ③	18 ③	19 ③	20 해설 참조
21 ②	22 ⑤			

01 A와 B는 같은 방향으로 운동하므로 A에서 본 B의 상대 속도의 크기는 두 속도의 크기의 차이이다. 따라서 B의 속도 - A의 속도 = 25 m/s - 10 m/s = 15 m/s이다.

02 꼼꼼 문제 분석



동쪽을 (+)방향으로 정하면, 서쪽은 (-)방향이다. 이때 자동차 A의 속도 $v_A = +80$ km/h, 자동차 B의 속도 $v_B = -80$ km/h, 자동차 C의 속도 $v_C = +100$ km/h가 된다.

ㄱ. A에 대한 B의 상대 속도는 $v_{AB} = v_B - v_A = -80 - 80 = -160$ (km/h)이므로 서쪽으로 160 km/h이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. A에 대한 C의 상대 속도는 $v_{AC} = v_C - v_A = 100 - 80 = 20$ (km/h)이므로 동쪽으로 20 km/h이다.

ㄷ. 앞서가는 C의 속도가 A보다 빠르므로 A와 C 사이의 거리는 점점 멀어진다.

03 흐르는 강물 위에서 배가 움직이면 지면에 대한 배의 속도는 강물의 속도에 배의 속도를 더한 값이 된다. 내려가는 방향을 (+)로 하면 지면에 대한 배의 속도는 다음과 같다.

• 내려갈 때 : 7 m/s + 3 m/s = 10 m/s

• 올라갈 때 : -7 m/s + 3 m/s = -4 m/s

따라서 배가 왕복하는 데 걸리는 시간은 내려가는 시간 + 올라가는 시간

는 시간 = $\frac{100 \text{ m}}{10 \text{ m/s}} + \frac{100 \text{ m}}{4 \text{ m/s}} = 35 \text{ s}$ 이다.

04 ㄱ. 상대성 원리에 의하면 관성 좌표계에 따라 물리량은 다르게 관찰되지만 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

ㄴ. 광속 불변 원리에 의하면 진공 중에서 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 관성 좌표계에서 자신이 정지해 있는지 등속도로 운동하는지 알 수 없다. 다른 관성계와의 상대 속도를 측정할 수 있을 뿐이다.

05 광속 불변 원리에 따라 광원이나 관찰자의 속력에 관계없이 빛의 속력은 항상 일정하다.

06 **모범답안** • 상대성 원리 : 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

• 광속 불변 원리 : 모든 관성 좌표계에서 보았을 때, 진공 중에서 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다.

채점 기준	배점
상대성 원리와 광속 불변 원리를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
상대성 원리와 광속 불변 원리라고만 쓴 경우	50 %

07 철수 : 마이컬슨과 물리는 빛의 매개 물질로 알려진 에테르의 존재를 확인하기 위한 실험을 하였다.

민수 : 마이컬슨·몰리 실험 결과 에테르의 존재를 확인할 수 없었고, 이러한 실험 결과를 통해 아인슈타인은 광속이 관찰자나 광원의 상대 속도에 관계없이 일정하다는 광속 불변 원리를 알게 되었다.

▮ **바로알기** ▮ 영화 : 실험 결과 빛을 매개하는 에테르가 존재한다는 것을 확인할 수가 없었다.

08 ① 마이컬슨·몰리 실험에서는 지구 표면의 에테르 바람 속에서 빛의 진행 방향에 따라 빛의 속력에 차이가 있을 것이라고 생각하였다.

②, ④ 광원을 나온 빛이 반거울을 통해 수직으로 나뉘어 진행한 후 빛 검출기에 동시에 도착한다. 따라서 빛의 속력은 일정하고, 에테르는 존재하지 않음을 알 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ③ 빛의 속력은 방향에 따라 다르지 않고 일정하다.

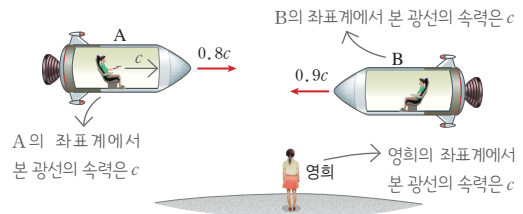
⑤ 에테르는 존재하지 않으며, 빛은 매질 없이 전달된다.

09 ㄱ. (가)에서는 트럭이 일정한 속도로 움직이고, (나)에서는 사람이 지면에 정지해 있으므로 (가)와 (나) 모두 관성 좌표계이다.

ㄴ. (가)와 (나)에서 공에 작용하는 힘은 중력뿐이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. (가)와 (나) 모두 공의 질량 m 이 같고, 공의 가속도가 중력 가속도 g 로 같으므로 식 $F=mg$ 로 공의 운동을 설명할 수 있다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ, ㄴ, ㄷ. 모든 관성 좌표계에서 빛의 속력은 일정하게 측정된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄹ. 물체의 속력은 빛의 속력보다 빠를 수 없다. 속력이 빛의 속력에 비해 매우 느릴 때에는 상대방의 속도에서 자신의 속도를 뺀 상대 속도의 개념이 성립되지만 빛의 속력에 근접한 속도에서는 단순한 상대 속도의 개념이 성립하지 않는다.

11 ㄱ. 우리 주변에서 볼 수 있는 물체의 속도는 빛의 속력에 비해 아주 작기 때문에 속도의 덧셈이 이루어진다. 따라서 관찰자가 본 화살의 속도는 기차의 속도+기차에 대한 화살의 속도 $=100 \text{ km/h} + 100 \text{ km/h} = 200 \text{ km/h}$ 이다.

ㄷ. 빛은 광원의 속도나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 속력이 일정하다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)에서는 관찰자에게도 빛의 속력은 30만 km/s 로 관측된다.

12 • 기차 안에 있는 철수가 보면 레이저 빛은 A, B까지 같은 거리를 진행하므로 A, B에 레이저 빛이 동시에 도착한다.

• 기차 밖에 있는 영화가 보면 빛의 속력은 30만 km/s 로 일정한데 기차가 오른쪽으로 진행하므로 A는 처음 레이저 빛이 출발한 지점으로 접근하고, B는 멀어진다. 따라서 A에 레이저 빛이 먼저 도착한다.

13 ㄱ. 상대성 원리에 해당한다.

ㄴ. 광속 불변 원리에 해당한다.

ㄷ. 동시성의 상대성에 해당한다.

14 ㄱ. 우주선 안에 있는 철수의 좌표계에서는 전구에서 A, B까지의 거리가 같고, 빛의 속력이 일정하므로 빛은 A, B에 동시에 도착한다.

ㄴ. 우주선의 운동 방향이 바뀔 때 영화가 관찰하면 빛이 이동하는 동안 우주선이 왼쪽으로 이동하여 전구에서 B까지의 거리보다 A까지의 거리보다 짧아진다. 따라서 빛은 B에 먼저 도착한다.

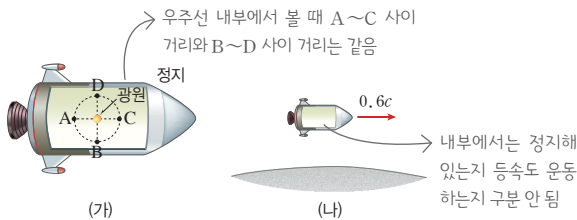
▮ **바로알기** ▮ ㄷ. A, B에 빛이 도달하는 사건이 철수에게는 동시에 일어나는 사건이지만 철수와 다른 좌표계에 있는 영화에게는 동시에 일어나는 사건이 아니다.

15 ㄷ. 우주선에 타고 있는 철수에게는 우주선이 정지해 있으므로 철수가 측정한 우주선의 길이가 고유 길이이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 영희가 보았을 때 A, B는 정지해 있으므로 A, B 사이의 고유 길이는 같은 좌표계에 있는 영희가 측정한 값이다.
ㄴ. 철수는 우주선 내부에 있는 시계로 측정하므로 우주선이 A에서 B까지 가는 데 걸린 고유 시간은 우주선에 타고 있는 철수가 측정한 값이다.

16 **꼭꼭** 문제 분석

아무리 빠른 속력이라도 일정한 속도로 운동하는 관성 좌표계 내부에서는 자신이 정지해 있는 것인지 등속도 운동하는지 구분할 수 없다. 따라서 정지해 있을 때와 모든 물리량이 똑같이 측정된다.



ㄱ. 광원에서 A로 진행하는 빛과 C로 진행하는 빛의 속력은 c 로 같다.
ㄴ. 광원에서 동시에 방출된 빛은 같은 거리에 있는 A, C에 동시에 도달한다.
ㄷ. 우주선에 타고 있는 사람에게는 우주선이 정지해 있는 것처럼 보이므로 A, C 사이의 거리는 B, D 사이의 거리와 같다.

17 ㄷ. 우주선에 타고 있는 철수가 측정한 빛의 왕복 시간이 고유 시간이고, 다른 좌표계에 있는 민수가 측정한 시간은 고유 시간보다 길다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 빛의 속력은 모든 관성 좌표계에서 똑같이 측정된다.
ㄴ. 철수가 측정한 우주선의 길이가 고유 길이이다. 민수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧다.

18 ㄱ. 지구, 목성, 달은 상대적으로 정지해 있고 같은 좌표계에 속하므로 달에 있는 민수가 측정한 지구와 목성 사이의 거리가 고유 거리가 된다. 따라서 상대적으로 움직이는 철수가 측정한 지구와 목성 사이의 거리는 길이 수축에 의해 민수가 측정하는 거리보다 짧다.

ㄷ. 길이 수축은 우주선이 운동하는 방향으로만 일어난다.
▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 우주선과 함께 움직이는 철수가 측정한 우주선의 길이가 고유 길이이며, 이때 길이 수축에 의해 민수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧다.

19 ㄱ. 빛의 속력은 모든 관성 좌표계에서 동일하게 측정되므로 $c_1 = c_2$ 이다.

ㄷ. 다른 좌표계에서 측정한 시간은 고유 시간보다 길다. 철수의 측정값이 다른 좌표계에서 측정한 시간이고, 영희의 측정값이 고유 시간이므로 $T_1 > T_2$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 다른 좌표계에서 측정한 길이는 고유 길이보다 짧다. 영희의 측정값이 다른 좌표계에서 측정한 길이이고, 철수의 측정값이 고유 길이이므로 $L_1 > L_2$ 이다.

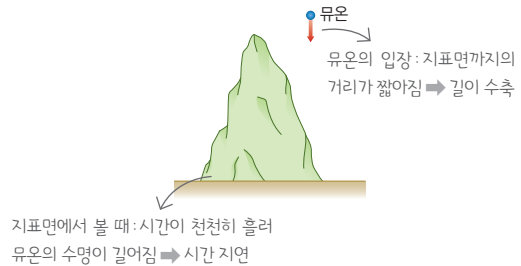
20 특수 상대성 이론의 길이 수축에 의해 정지한 영희가 본 상대적으로 빠르게 움직이는 우주선의 길이는 고유 길이보다 짧아 보인다.

▮ **모범답안** $L_0 > L_B > L_A$, 영희가 볼 때 빠르게 움직이는 두 우주선의 길이는 고유 길이 L_0 보다 짧아 보인다. 이때 속도가 빠를수록 길이 수축이 크기 때문에 $L_B > L_A$ 이다.

채점 기준	배점
우주선의 길이를 비교하고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
우주선의 길이만 옳게 비교한 경우	50 %

21 많은 뮤온이 지표면에서 발견되는 것은, 지표면에서 볼 때 광속의 99 % 정도로 빠르게 움직이는 뮤온의 시간이 ㉠느리게 가서 실제 수명보다 더 ㉡오래 살아남기 때문이고, 뮤온의 입장에서 보면 지표면까지의 거리가 ㉢길이 수축으로 ㉣짧아지기 때문으로 해석할 수 있다.

22 **꼭꼭** 문제 분석



ㄴ. 뮤온의 입장에서 상대적으론 지구가 움직인다. 따라서 지표면까지의 거리가 수축되어 짧아졌기 때문에 뮤온이 지표면에 도달할 수 있다.

ㄷ. 지표면에서 보았을 때는 뮤온이 움직인다. 따라서 뮤온의 시간이 천천히 흘러 수명이 길어지기 때문에 뮤온이 지표면에 도달할 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 뮤온의 입장에서는 시간 지연이 일어나지 않는다. 시간 지연은 빠르게 움직이는 물체를 외부의 관성 좌표계에서 보았을 때 물체의 시간이 천천히 흘러가는 것이다.

2 질량과 에너지

개념 확인 문제

118쪽

- 1 질량 에너지 동등성 2 정지 3 커진다 4 질량 결손
5 Δmc^2 6 핵분열 7 연쇄 8 핵융합

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × 2 질량 결손 3 $E = \Delta mc^2$
4 L, D 5 (1) × (2) × (3) ○ 6 ㉠ 수소, ㉡ 헬륨,
㉢ 삼중수소

- 1 (1) 똑같은 물체라도 정지해 있을 때보다 운동할 때의 질량이 더 크다. 다만 속력이 느릴 때는 질량 변화가 매우 작기 때문에 사람이 느끼기는 힘들고, 물체의 속도가 빛의 속력에 가까워질수록 질량 증가가 커진다.
(2) 질량 에너지 동등성에 의해 질량이 에너지로, 에너지가 질량으로 전환될 수 있다.
(3) 에너지도 질량으로 전환될 수 있다.
(4), (5) 핵분열 반응뿐만 아니라 핵융합 반응에서도 질량 결손이 발생하고, 이때 감소한 질량이 에너지로 방출된다.

- 2 핵반응 후의 총질량이 핵반응 전의 총질량보다 줄어들고 줄어든 질량은 에너지로 변하는데, 이때 줄어든 질량을 질량 결손이라고 한다.

- 3 핵반응 과정에서 생기는 질량 결손 Δm 은 아인슈타인의 질량 에너지 동등성에 따라 에너지 E 로 전환된다.

$$E = \Delta mc^2 \quad (c : \text{빛의 속도})$$

- 4 ㄱ. 핵반응이 일어나면 질량 결손이 발생하여 질량은 보존되지 않는다
ㄴ, ㄷ. 핵반응 전후에 전하량과 질량수는 보존된다.

- 5 (1) $^{235}_{92}\text{U}$ 는 저속 중성자를 흡수한 후 크립톤, 바륨, 스트론튬, 제논 등과 같은 가벼운 원자핵으로 분열한다.
(2), (3) 핵분열 후 질량 결손에 의해 총질량이 줄어들고 에너지가 발생한다.

- 6 • 태양 중심부에서는 ㉠수소 원자핵들이 융합하여 ㉡헬륨 원자핵으로 변한다.
• 핵융합로에서는 중수소 원자핵과 ㉢삼중수소 원자핵을 충돌시켜 헬륨 원자핵으로 융합한다.

대표 자료 분석

119쪽

- 자료 1 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 ^1_0n 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

- 자료 2 1 질량 결손 2 (1) ○ (2) × (3) × 3 (1) × (2) ○ (3) ○

- ①-1 (1) $^{235}_{92}\text{U}$ 는 속도가 느린 중성자를 흡수하여 핵분열한 후 고속 중성자를 방출한다.
(2) 핵분열할 때 방출되는 2개~3개의 중성자가 다른 우라늄에 계속 흡수되어 연쇄 반응이 일어난다.
(3) 핵반응에서 발생하는 에너지는 아인슈타인의 질량 에너지 동등성에 의해 질량 결손이 에너지로 전환된 것이다.

- ①-2 $^{235}_{92}\text{U}$ 는 중성자를 흡수하여 2개의 원자핵으로 분열하므로 ㉠에 들어갈 입자는 중성자 (^1_0n)이다.

- ①-3 (1) 핵분열 반응에서 반응 전보다 반응 후의 총질량이 작아지는 질량 결손이 발생한다.
(2) 핵반응에서 발생한 질량 결손은 $E = \Delta mc^2$ 에 의한 에너지로 전환된다.
(3) $^{235}_{92}\text{U}$ 는 고속의 중성자보다 저속의 중성자를 흡수하였을 때 핵분열을 잘 일으킨다.
(4) $^{235}_{92}\text{U}$ 의 핵분열이 일어날 때 고속의 중성자가 방출되므로 연쇄 반응이 일어나게 하려면 고속의 중성자의 속도를 느리게 하는 감속재가 필요하다.

- ②-1 핵반응 전 질량의 합보다 핵반응 후 질량의 합이 줄어드는 질량 결손 때문에 17.6 MeV의 에너지가 발생한다.

- ②-2 (1) 가벼운 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 무거운 헬륨 원자핵이 되는 핵융합 반응이다.
(2) 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵과 중성자가 되므로 ㉠은 중성자이다.
(3) 질량 결손에 의해 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어든다.

- ②-3 (1) 핵융합 반응은 가벼운 원자핵들이 융합하여 무거운 원자핵으로 변하는 반응이다.
(2) 태양에서는 수소 원자핵들이 융합하여 여러 단계를 거친 후 최종적으로 헬륨 원자핵이 생성되면서 이때 발생하는 질량 결손에 의한 에너지가 방출된다.
(3) 태양 에너지의 근원은 핵융합 반응에서 발생하는 질량 결손에 의한 것이다.

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

01 ㄱ. 운동할 때의 질량이 정지 상태일 때보다 크므로 $m > m_0$ 이다.

ㄴ. 물체의 질량은 속도 v 가 클수록 커진다.

ㄷ. 물체와 같은 관성 좌표계에 있는 관찰자에게는 물체의 속도가 0이므로 물체의 질량은 정지 질량으로 측정된다.

02 ㄱ. 질량과 에너지는 서로 전환될 수 있으며 이를 질량 에너지 동등성이라고 한다.

▣ **바로알기** ㄴ. 빛의 속력은 관찰자의 속력에 관계없이 일정하다.

ㄷ. 빠르게 움직이는 물체의 길이는 정지해 있을 때보다 짧게 관측된다.

03 ㄱ. 질량 에너지 동등성은 질량과 에너지가 $E = mc^2$ 의 관계로 상호 전환될 수 있다는 것이다. 쌍생성 현상은 에너지가 질량으로 전환되는 예이다.

ㄴ. 핵반응이 일어날 때 반응 후의 질량의 합이 반응 전보다 줄어든다. 이는 줄어든 질량이 에너지로 전환되기 때문이다.

ㄷ. 특수 상대성 이론에 따르면 물체가 움직일 때는 정지해 있을 때보다 질량이 커지고, 질량 증가는 물체의 속도가 빠를수록 크다.

04 ㄱ. 영화가 측정한 우주선의 길이가 고유 길이 L_0 이다. 철수는 길이 수축에 의해 L_0 보다 짧게 관측한다.

ㄴ. 철수는 시간 지연에 의해 영화의 시간이 자신의 시간보다 느리게 가는 것으로 관측한다.

ㄷ. 영화는 일정한 속도로 운동하는 우주선에 타고 있기 때문에 영화의 입장에서 우주선이 정지해 있는 것으로 관측된다. 따라서 영화가 관측한 우주선의 질량은 정지 질량과 같다.

05 질량 결손이 m 일 때 방출되는 에너지는 $E = mc^2$ 이다.

06 질량과 에너지는 $E = mc^2$ 의 관계로 전환된다.

▣ **모범답안** 질량 결손에 의한 에너지는 $E = \Delta mc^2 = 2.58 \times 10^{-29} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 = 2.322 \times 10^{-12} \text{ J}$ 이다.

채점 기준	배점
풀이 과정과 답이 모두 옳은 경우	100 %
답만 맞은 경우	50 %

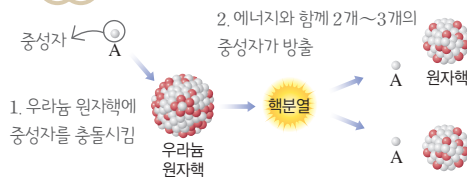
07 ㄷ. 처음 질량의 크기에 관계없이 입자의 속력이 빛의 속력에 가까워질수록 질량이 무한대에 접근한다.

▣ **바로알기** ㄱ. 정지해 있는 물체의 에너지는 정지 질량(m_0)에 의한 에너지 $E = m_0 c^2$ 을 갖는다.

ㄴ. 핵반응에서 질량 보존 법칙은 성립하지 않는다.

08 핵분열과 핵융합 과정에서 반응 전의 총질량이 반응 후의 총질량보다 크다.

09 **문제 분석**



ㄱ. 우라늄($^{235}_{92}\text{U}$) 원자핵에 충돌하여 핵분열을 일으키는 입자는 중성자이다.

ㄷ. 핵분열 전 질량의 합보다 핵분열 후 질량의 합이 줄어들어 질량 결손이 발생한다.

▣ **바로알기** ㄴ. 태양 중심부와 같이 수십 억 도의 초고온 상태에서 일어나는 것은 핵융합 반응이다.

10 A : 핵분열은 입자의 충돌로 불안정해진 큰 원자핵이 2개 이상의 다른 작은 원자핵으로 나누어지는 반응이다.

B : 핵분열이 일어나면 질량 결손이 발생하므로, 핵분열로 생성된 원자핵들의 질량 합은 분열 전 원자핵의 질량 합보다 작다.

C : 핵분열 과정에서 감소한 질량이 에너지로 전환되므로, 많은 양의 에너지가 방출된다.

11 ㄱ. 질량 결손에 의해 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어든다.

ㄴ. 핵분열은 원자핵이 2개 이상의 가벼운 원자핵으로 나누어지는 반응이므로, 핵반응 후 생긴 원자핵은 반응 전 원자핵보다 가볍다.

ㄷ. 핵반응에서 방출되는 에너지는 아인슈타인의 질량 에너지 동등성에 의해 핵반응 후에 감소하는 질량이 에너지로 전환된 것이다.

12 ㄴ. (가)에서는 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵과 중성자가 되고, (나)에서는 우라늄이 중성자를 흡수하여 2개의 원자핵으로 분열하면서 고속 중성자를 방출한다.

ㄷ. 핵융합과 핵분열 과정은 모두 질량 결손에 의해 에너지를 방출한다.

▣ **바로알기** ㄱ. (가)는 핵융합 반응, (나)는 핵분열 반응을 나타낸 것이다.

13 ㄴ. 수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵으로 변하는 과정에서 질량 결손이 발생하고 질량 결손에 의한 에너지는 태양 에너지의 근원이 된다.

|| **바로알기** || ㄱ. 핵융합 반응은 초고온 상태에서 일어난다.

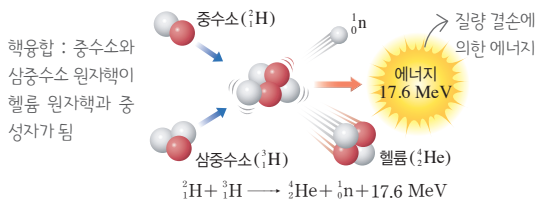
ㄷ. 수소 원자핵 4개의 질량의 합이 헬륨 원자핵 1개의 질량보다 크다. 즉, 반응 과정에서 질량 결손이 발생하고 이 질량이 에너지로 방출된다.

14 ㄴ. (+)전하를 띤 두 원자핵들이 전기적인 반발력을 이기고 접근하여 핵융합 반응을 일으키기 위해서는 서로 고속으로 충돌해야 하므로 큰 운동 에너지를 가져야 한다. 이러한 에너지를 갖기 위해 1억 °C가 넘는 초고온의 플라스마 상태에서 중수소와 삼중수소를 융합시켜야 한다.

ㄷ. 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어들게 되고, 이때 줄어든 질량만큼 에너지로 전환되므로 질량 결손에 의해 많은 양의 에너지를 얻는다.

|| **바로알기** || ㄱ. 핵융합로에서는 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 충돌하여 헬륨(${}^4_2\text{He}$) 원자핵이 생성된다.

15 **꼼꼼** 문제 분석



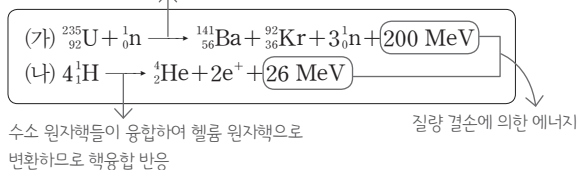
ㄱ. 가벼운 원자핵들이 충돌하여 더 무거운 원자핵으로 변환되므로 핵융합 반응이다.

ㄴ. 핵융합 반응에서 발생한 에너지는 질량 결손에 의한 것이다.

|| **바로알기** || ㄷ. 핵반응 전의 질량의 합이 반응 후의 질량의 합보다 크다.

16 **꼼꼼** 문제 분석

우라늄이 중성자를 흡수하여 2개의 원자핵으로 나누어지므로 핵분열 반응



ㄱ. (가)는 중성자와 충돌하여 불안정해진 무거운 원자핵이 2개 이상의 다른 원자핵으로 나누어지는 핵분열 반응이고, (나)는 가벼운 원자핵들이 융합하여 무거운 원자핵으로 변하는 핵융합 반응이다.

ㄷ. (나)에서 양(+)전하를 띤 두 수소 원자핵들이 전기적인 반발력을 이기고 접근하여 핵융합 반응을 일으키기 위해서는 서로 고속(약 $1.1 \times 10^{14} \text{ J}$ 의 운동 에너지를 갖는 속력)으로 충돌해야 한다. 이러한 에너지를 갖게 하려면 초고온 상태로 만들어야 한다.

|| **바로알기** || ㄴ. 수많은 별에서 빛과 열을 만드는 에너지원이 되는 반응은 (나)와 같은 핵융합 반응이다.

17 핵융합이나 핵분열 반응에서 반응 전 질량의 합보다 반응 후 질량의 합이 줄어드는 질량 결손(Δm)이 발생하고, 이 질량 결손이 $E = \Delta mc^2$ 에 의하여 에너지로 방출된다.

모범답안 반응 후 질량이 줄어드는 질량 결손이 발생하고, 줄어든 질량이 $E = \Delta mc^2$ 에 의하여 에너지로 방출된다.

채점 기준	배점
질량 차이와 전환 과정을 옳게 서술한 경우	100 %
질량 결손이 발생 또는 질량이 에너지로 전환된다고만 서술한 경우	50 %

18 ㄱ. 핵반응 후에 헬륨 원자핵과 중성자가 만들어진다.

ㄴ. 핵융합 반응에서 발생하는 질량 결손이 에너지로 방출된다.

ㄷ. 질량수는 '양성자수 + 중성자수'이다. 핵반응에서 반응 전후 질량은 보존되지 않지만 질량수는 보존된다.

19 ㄱ. 핵분열 반응과 핵융합 반응에서 공통으로 나타나는 X는 중성자(${}^1_0\text{n}$)이다.

ㄴ. (나)의 핵융합 반응에서는 중성자와 헬륨 원자핵이 생성되는데, X가 중성자(${}^1_0\text{n}$)이므로 Y는 헬륨 원자핵(${}^4_2\text{He}$)이다.

|| **바로알기** || ㄷ. (나)는 핵융합로에서 일어나는 핵반응식이다. 태양 중심부에서는 수소 원자핵들이 융합하여 헬륨 원자핵이 된다.

중단원 핵심 정리

124쪽~125쪽

- ① 상대 ② 에테르 ③ 상대성 ④ 정지 ⑤ 일정 ⑥ 동시성
⑦ B ⑧ 느리게 ⑨ c ⑩ > ⑪ 수축 ⑫ 고유 길이 ⑬ <
⑭ 수축 ⑮ 질량 에너지 동등성 ⑯ 질량 결손 ⑰ 에너지
⑱ 에너지 ⑲ 태양 ⑳ 헬륨

중단원 마무리 문제

126쪽~129쪽

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

01 동쪽을 (+)방향으로 하고 기차의 속도를 $v_{\text{기차}}=60 \text{ km/h}$, 자동차의 속도를 $v_{\text{자동차}}$ 라고 하면, 기차에 타고 있던 태희가 본 자동차의 속도가 서쪽으로 140 km/h 이므로 $v_{\text{자동차}} - v_{\text{기차}} = v_{\text{자동차}} - 60 \text{ km/h} = -140 \text{ km/h}$ 이다. 따라서 $v_{\text{자동차}} = -80 \text{ km/h}$ 이므로 지면에 대한 자동차의 속도는 서쪽으로 80 km/h 이다.

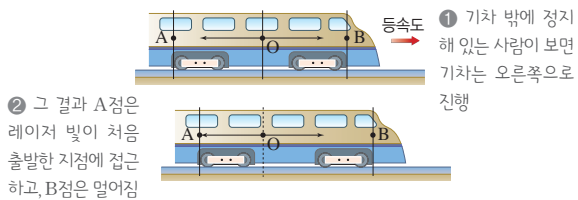
02 ㄱ. 마이컬슨과 몰리의 실험은 에테르의 존재를 확인하기 위한 실험이었지만 실험 결과 에테르의 존재를 확인할 수 없었다.
 ㄴ. 아인슈타인은 마이컬슨과 몰리의 실험 결과를 해석하여 광속 불변 원리를 알게 되었다.

▮ **바로알기** ㄴ. 마이컬슨과 몰리의 실험에서 빛의 속력이 관찰자의 속도에 따라 상대적으로 차이가 없음을 알게 되었다.

03 ㄱ, ㄴ. 모든 관성 좌표계에서 보았을 때 빛의 속력은 관찰자나 광원의 속도에 관계없이 일정하다. 따라서 등속도 운동하는 버스 안이나 밖에서 빛의 속력은 30만 km/s 로 관찰된다.

▮ **바로알기** ㄴ. 광원의 속도에 관계없이 등속도 운동하는 관성 좌표계에서 빛의 속력은 30만 km/s 로 일정하다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 기차 안에서 보면 레이저 빛의 속력은 어느 방향으로나 같고, O점에서 A점과 B점까지의 거리가 같으므로 레이저 빛은 A점과 B점에 동시에 도착한다.

▮ **바로알기** ㄴ. 기차 밖에 정지해 있는 사람이 보았을 때도 레이저 빛의 속력은 어느 방향으로나 같지만, 기차가 오른쪽으로 움직이므로 A점은 처음 레이저 빛이 출발한 지점에 가까워지고 B점은 멀어진다. 따라서 B점에 비해 더 가까운 A점에 레이저 빛이 먼저 도착하는 것으로 보인다.

ㄴ. 관성 좌표계에서 레이저 빛의 속력은 광원이나 관찰자의 운동 상태에 관계없이 항상 같다.

05 특수 상대성 이론의 가정은 상대성 원리와 광속 불변 원리이다.

ㄴ. 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙은 동일하게 성립한다는 것은 상대성 원리이다.

ㄴ. 진공에서 빛의 속력은 모든 관성 좌표계에서 광원이나 관찰자의 속도에 관계없이 일정하다는 것은 광속 불변 원리이다.

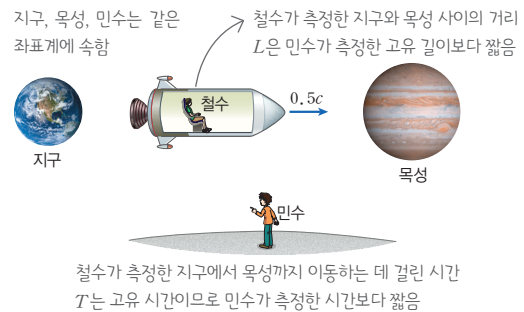
▮ **바로알기** ㄱ. 서로 다른 관성 좌표계 사이에서 시간은 관찰자에 따라 다르게 흐른다. 다른 관성 좌표계의 시간이 관찰자의 관성 좌표계의 시간보다 천천히 흐른다.

06 ㄱ. 철수는 자신의 운동 방향과 반대 방향으로 영희가 속력 v 로 운동하는 것으로 관측한다. 철수는 자신이 정지해 있는지 등속도 운동하는지 구별할 수 없다.

▮ **바로알기** ㄴ. 모든 관성 좌표계에서 빛의 속력은 동일하게 관측된다.

ㄴ. 철수의 좌표계에서 관찰할 때 영희가 왼쪽으로 운동하므로 처음 광원 위치에 대해 A는 멀어지고 B는 가까워진다. 따라서 철수는 광원에서 발생한 빛이 A보다 B에 먼저 도달하는 것으로 관측한다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 철수는 지구가 자신의 운동 반대 방향으로 $0.5c$ 의 속력으로 멀어지는 것으로 관측한다.

ㄴ. 민수가 측정한 지구와 목성 사이의 거리는 고유 길이이므로 다른 관성 좌표계의 철수가 측정한 L 보다 크다.

▮ **바로알기** ㄴ. 민수가 측정한 우주선이 지구에서 목성까지 가는 데 걸린 시간은 고유 시간 T 보다 길다.

08 길이 수축은 진행 방향에 나란한 방향으로 일어나고, 진행 방향에 수직인 방향으로 일어나지 않는다.

ㄴ. 우주선이 진행하는 방향으로 길이가 짧아 보이므로 몸의 폭이 짧아진다. 따라서 날씬해 보인다.

▮ **바로알기** ㄱ. 키는 진행 방향에 수직이므로 변하지 않는다.

ㄴ. 우주인의 키는 그대로이고 몸의 폭만 짧아진다.

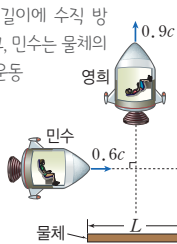
09 ㄱ. 철수가 관찰한 A에서 B까지의 거리는 영희가 관측한 고유 길이보다 짧다.

ㄴ. A에서 B까지 이동하는 데 걸린 시간은 철수가 측정한 값이 고유 시간이므로 다른 관성 좌표계의 영희가 측정한 시간보다 짧다.

▮ **바로알기** ㄴ. 철수가 측정한 우주선의 길이는 고유 길이이므로 다른 관성 좌표계의 영희가 측정한 우주선의 길이가 더 짧다.

10 꼼꼼 문제 분석

영희는 물체의 길이에 수직 방향으로 운동하고, 민수는 물체의 길이 방향으로 운동



철수가 관측할 때 영희의 우주선이 민수의 우주선보다 빠름

다른 관성 좌표계의 시간은 느리게 가고, 다른 관성 좌표계의 물체의 길이는 운동 방향으로 수축

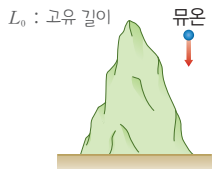
ㄱ. 영희는 물체의 길이 방향에 수직으로 운동하므로 길이 수축을 관측할 수 없다. 따라서 영희가 측정한 물체의 길이는 고유 길이와 같은 L 이다.

ㄴ. 상대 속도가 빠를수록 시간 지연이 크게 일어나므로 철수가 측정할 때 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

❗ **바로알기** ㄴ. 물체의 길이 방향과 나란하게 운동하는 민수가 측정한 물체의 길이는 고유 길이인 L 보다 짧다.

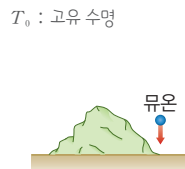
11 꼼꼼 문제 분석

영희의 좌표계에서 볼 때



산의 높이는 변하지 않음
➡ 뮤온의 시간이 지연

뮤온의 좌표계에서 볼 때



산의 높이 수축
➡ 뮤온의 수명은 변하지 않음

ㄱ. 영희의 좌표계에서 본 뮤온의 수명 T 는 시간 지연에 의해 고유 수명 T_0 보다 길다. 따라서 $T > T_0$ 이다.

❗ **바로알기** ㄴ. 영희와 산은 같은 좌표계에 속하므로 영희가 관측한 산의 높이 L_0 이 고유 길이이다. 뮤온의 좌표계에서 관측한 산의 높이 L 은 길이 수축에 의해 수축되어 보이므로 $L < L_0$ 이다.

ㄴ. 뮤온이 지면에 도달하였으므로 뮤온의 속도에 뮤온의 고유 수명을 곱한 값은 뮤온이 관측한 산의 높이와 같다. 따라서 $0.99c \times T_0 = L$ 이 된다.

12 ① 관찰자에 대해 운동하는 물체의 속력이 빠를수록 질량이 크게 측정된다.

② 등속 운동하는 관성 좌표계에서는 관성 법칙이 성립한다.

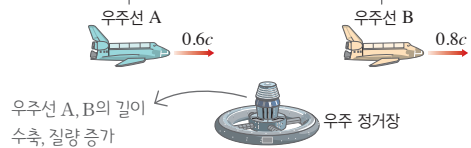
③ 상대성 원리는 모든 관성 좌표계에서 물리 법칙이 동일하게 성립한다는 것이다.

④ 쌍생성 현상은 에너지가 질량으로 전환된 예이고, 핵반응은 질량이 에너지로 전환되는 예이다.

❗ **바로알기** ⑤ 한 기준계에서 두 사건이 동시에 일어났다고 하더라도 다른 좌표계에서는 동시에 일어나지 않을 수 있다.

13 꼼꼼 문제 분석

각각의 우주선에서 측정한 길이는 고유 길이 L_0 , 정지 질량 m_0



우주선 A, B의 길이 수축, 질량 증가

ㄴ. 상대적으로 움직이고 있는 두 관성 좌표계가 있을 때 서로 상대방의 운동 방향으로의 길이가 수축되어 보인다. 따라서 우주 정거장에서 본 우주선 A의 길이는 고유 길이인 L_0 보다 짧게 관측된다.

ㄴ. 우주 정거장에서 관측했을 때 빠르게 움직이는 우주선 A, B의 질량은 증가한다. 속력이 빠를수록 질량이 커지므로 속력이 A보다 빠른 B의 질량이 A의 질량보다 크게 관측된다.

❗ **바로알기** ㄱ. 우주선 A와 B는 속도가 다르므로 서로 다른 관성 좌표계이다. 따라서 A에서 관측한 B의 길이는 고유 길이인 L_0 보다 짧다.

14 ㄱ. 중수소 원자핵과 삼중수소 원자핵이 융합하여 헬륨 원자핵과 중성자가 되므로 ㉠은 전하를 띠지 않는 중성자이다.

ㄴ. 발생하는 에너지는 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어들게 되는 질량 결손에 의한 것이다.

❗ **바로알기** ㄴ. 핵발전은 우라늄 원자핵이 핵분열할 때 발생하는 에너지를 이용한다.

15 특수 상대성 이론에 의한 현상으로는 시간 지연, 길이 수축 등이 있다.

모범답안 시간 지연은 정지한 관찰자가 빠르게 운동하는 관찰자를 보면 상대방의 시간이 느리게 가는 것이고, 길이 수축은 한 관성 좌표계의 관찰자가 상대적으로 운동하는 물체를 보면 길이가 수축되어 보이는 것이다.

채점 기준	배점
두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

16 특수 상대성 이론에 따르면 정지한 철수가 우주선과 함께 운동하는 영희를 관찰했을 때 운동하는 영희의 시간이 느리게 간다. 영희가 볼 때 물체는 빠르게 뒤쪽으로 운동한다. 그러므로 물체의 길이는 고유 길이보다 짧다.

모범답안 영희가 측정한 물체의 길이는 L_0 보다 짧고, 철수가 측정할 때 영희의 시간이 철수보다 느리게 간다.

채점 기준	배점
두 가지 모두 옳게 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

17 뮤온과 함께 움직이는 좌표계에서는 산의 높이가 낮아진다. 지표면의 좌표계에서는 뮤온의 수명이 길어진다.

모범답안 (가)에서는 산의 높이가 낮아지고, (나)에서는 뮤온의 수명이 길어진다.

채점 기준	배점
두 가지를 모두 옳게 비교하여 서술한 경우	100 %
한 가지만 옳게 비교하여 서술한 경우	50 %

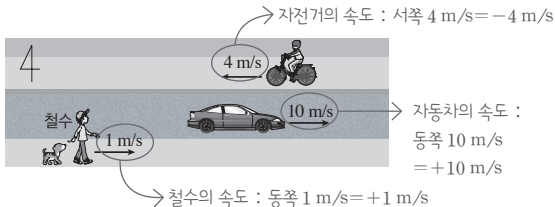
수능 실전 문제

131쪽~133쪽

- 1 ① 2 ⑤ 3 ① 4 ⑤ 5 ② 6 ② 7 ①
8 ④ 9 ② 10 ③ 11 ① 12 ②

1 꼼꼼 문제 분석

동쪽을 (+)방향으로 두면, 서쪽은 (-)방향이 된다



선택지 분석

- ① 철수가 본 자동차의 속도는 동쪽으로 9 m/s이다.
~~✗~~ 자전거에서 본 자동차의 속도는 동쪽으로 6 m/s이다. 14 m/s
~~✗~~ 자동차에서 보면 걸어가는 철수가 자전거보다 빠르게 보인다.

전략적 풀이 ① 방향의 부호를 정하고, 상대 속도 식을 이용하여 상대 속도를 계산한다.

ㄱ. 상대 속도는 상대방의 속도에서 관찰자의 속도를 뺀 값이다. 동쪽을 (+)방향으로 하면 철수가 관찰한 자동차의 속도 = 자동차의 속도 - 철수의 속도 = 10 m/s - 1 m/s = 9 m/s가 된다.

ㄴ. 동쪽을 (+)방향으로 하면 자전거에서 관찰한 자동차의 속도 = 자동차의 속도 - 자전거의 속도 = 10 m/s - (-4 m/s) = 14 m/s이므로 동쪽으로 14 m/s가 된다.

② 상대 속도의 크기를 비교해서 빠르게 보이는 것을 찾는다.

ㄷ. 자동차에서 관찰한 철수의 상대 속도 = 철수의 속도 - 자동차의 속도 = 1 m/s - 10 m/s = -9 m/s이다. 자동차에서 관찰한 자전거의 상대 속도 = 자전거의 속도 - 자동차의 속도 = -4 m/s - 10 m/s = -14 m/s이다. 따라서 상대 속도의 크기는 자전거의 경우가 더 크므로 자동차에서 봤을 때 더 빠르게 보이는 것은 자전거이다.

2 꼼꼼 문제 분석

각각의 관성 좌표계 → 물리 법칙 동일하게 성립



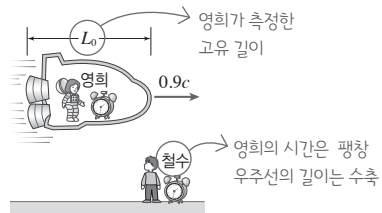
선택지 분석

- ① 두 실험실에서 각각 들고 있던 물체를 가만히 놓으면 똑바로 아래로 떨어진다.
 ② 두 실험실에서 똑같은 진자를 같은 진폭으로 진동시키면 주기가 같다.
 ③ 두 실험실에서 각각 똑같은 빛의 굴절 실험을 하였을 때, 굴절 법칙이 동일하게 성립한다.
 ④ 두 실험실에서 각각 동일한 코일과 자석으로 똑같은 전자기 유도 실험을 할 때, 결과가 동일하게 나온다.
~~✗~~ ⑤ 두 실험실에서 외부에 있는 다른 물체의 속도를 측정하면 동일한 속도로 측정된다. 다른 결과가 나올 수 있다.

전략적 풀이 ① 관성 좌표계에서는 모든 물리 법칙이 동일하게 성립한다는 것을 안다.

- ①, ②, ③, ④ 정지해 있거나 등속도로 운동하는 관성 좌표계에서는 모든 물리 법칙이 동일하게 성립한다.
 ② 서로 다른 관성 좌표계에서 외부의 물리량을 측정했을 때 결과는 어떻게 되는지 파악한다.
 ⑤ 서로 다른 관성 좌표계에서 외부의 물리량을 측정하면 다른 결과가 나올 수 있다. 그러나 물리량 사이의 관계, 즉 물리 법칙은 동일하게 성립한다.

3 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ① 철수가 관측한 영희가 탄 우주선의 길이는 L_0 보다 짧다.
~~✗~~ 철수는 영희의 시간이 자신의 시간보다 빠르게 가는 것으로 관측한다.
~~✗~~ 영희가 우주선의 운동 방향으로 보낸 빛의 속도를 철수가 관측하면 c 보다 빠르다. 이다.

❗ **전략적 풀이** ❗ ① 길이 수축 현상을 이해하고 우주선의 길이를 고유 길이와 비교한다.

ㄱ. 특수 상대성 이론의 길이 수축 현상에 의해 정지한 철수가 움직이는 우주선의 길이를 관측하면 고유 길이 L_0 보다 짧아 보인다.

② 시간 지연 현상을 이해하고 상대방의 시간을 비교한다.

ㄴ. 특수 상대성 이론의 시간 지연 현상에 의해 정지한 철수가 움직이는 영희를 보면, 영희의 시간이 자신의 시간보다 느리게 가는 것으로 관측한다.

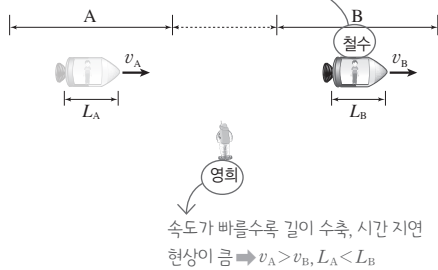
③ 광속 불변 원리를 파악하고 빛의 속력을 비교한다.

ㄷ. 특수 상대성 이론의 광속 불변 원리에 의하면 빛의 속력은 일정하다. 따라서 관성 좌표계에 있는 영희와 철수가 관측하는 빛의 속력은 모두 c 로 같다.

4 **문제 분석**

철수가 본 영희의 상대 속도는 A에서 B에서보다 큼

➡ 속도가 빠를수록 영희의 시간이 더 느리게 감



선택지 분석

- ㉠ $v_A > v_B$ 이다.
- ㉡ $L_A < L_B$ 이다.
- ㉢ 철수가 측정할 때, 영희의 시간은 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 느리게 간다.

❗ **전략적 풀이** ❗ ① 시간 지연과 길이 수축 현상을 파악하고, 시간과 길이를 비교한다.

ㄱ. 영희가 측정할 때 속도가 빠를수록 시간이 느리게 가므로 $v_A > v_B$ 이다.

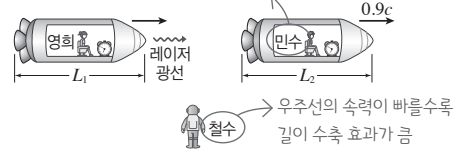
ㄴ. 영희가 측정할 때 속도가 빠를수록 길이가 많이 수축되므로 $L_A < L_B$ 이다.

② 철수가 본 영희의 상대 속도를 비교한다.

ㄷ. 철수가 본 영희의 상대 속도는 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 빠르다. 따라서 철수가 측정할 때 영희의 시간은 상대 속도가 더 빠른 A에서 측정할 때가 B에서 측정할 때보다 느리게 간다.

5 **문제 분석**

영희가 점점 가까워지므로 영희의 속력이 더 빠름



선택지 분석

- ㉠ 민수가 측정할 레이저 광선의 속력은 영희가 측정할 레이저 광선의 속력보다 빠르다.
- ㉡ 철수가 측정할 때 $L_1 = L_2$ 이다. $L_1 < L_2$
- ㉢ 철수가 측정할 때 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

❗ **전략적 풀이** ❗ ① 광속 불변 원리를 파악하고 빛의 속력을 비교한다.

ㄱ. 특수 상대성 이론의 광속 불변 원리에 의해 관성 좌표계에 있는 민수와 영희가 측정할 레이저 광선의 속력은 똑같이 c 이다.

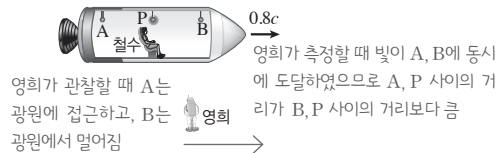
② 철수가 볼 때 영희와 민수의 상대 속도를 비교한다.

ㄴ. 철수가 우주선의 길이를 측정할 때 우주선의 속력이 빠를수록 길이가 더 수축되므로 $L_1 < L_2$ 이다.

③ 영희와 민수의 속력을 비교하고 속력이 빠를수록 시간이 느리게 간다는 것을 파악한다.

ㄷ. 민수가 볼 때 영희가 점점 자신에게 가까워지고 있으므로 영희의 속력은 민수의 속력 $0.9c$ 보다 빠르다. 속력이 빠를수록 시간이 더 느리게 가므로, 철수가 측정할 때 영희의 시간이 민수의 시간보다 느리게 간다.

6 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ 영희가 측정할 때, 철수의 시간은 영희의 시간보다 느리게 간다.
- ㉡ 철수가 측정할 때 P에서 발생한 빛은 A보다 B에 먼저 도달한다.
- ㉢ 영희가 측정할 때, P에서 A까지의 거리는 P에서 B까지의 거리와 같다.

❗ **전략적 풀이** ❗ ❶ 시간 지연 현상을 파악하고, 영화와 철수의 시간을 비교한다.

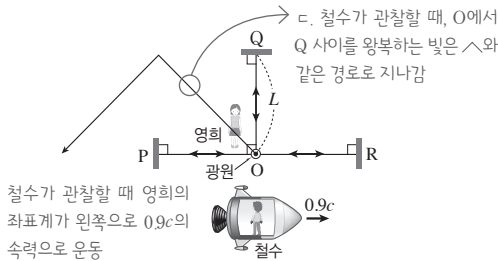
ㄱ. 서로 다른 관성 좌표계 사이에서 서로 상대방의 시간이 느리게 가는 것으로 관측된다. 따라서 영화가 측정할 때, 철수의 시간은 영화의 시간보다 느리게 간다.

❷ 철수와 영화가 관찰할 때 빛이 도달한 시간을 비교한다.

ㄴ. 영화가 측정할 때 오른쪽으로 운동하는 우주선의 P에서 발생한 빛이 A와 B에 동시에 도달하는 것은 A와 P 사이의 거리가 B와 P 사이의 거리보다 크기 때문이다. 따라서 우주선에 타고 있는 철수가 측정할 때 P에서 발생한 빛은 A보다 B에 먼저 도달한다.

ㄷ. 영화가 측정할 때, P에서 A까지의 거리는 P에서 B까지의 거리보다 크다.

7 꼬꼬 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ P와 R 사이의 거리는 $2L$ 보다 짧다.
- ✕ O에서 P와 R를 향해 동시에 출발한 빛은 R보다 P에 먼저 도달한다.
- ✕ O와 Q 사이를 한 번 왕복하는 데 걸린 시간은 $\frac{2L}{c}$ 이다. 보다 크다.

❗ **전략적 풀이** ❗ ❶ 철수가 측정할 때 고유 길이를 파악한다.

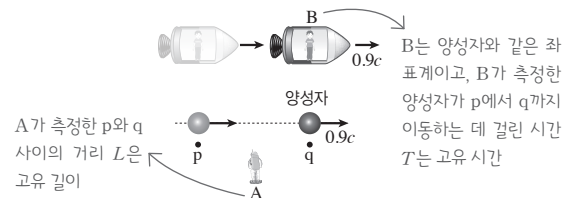
ㄱ. 철수가 측정할 때, P와 R 사이의 거리는 고유 길이인 $2L$ 보다 짧다.

❷ 철수가 측정할 때 빛의 경로와 걸린 시간을 파악하고 비교한다.

ㄴ. 철수가 측정할 때, P는 광원에서 멀어지고 R는 광원에 접근하므로 O에서 P와 R를 향해 동시에 출발한 빛은 P보다 R에 먼저 도달한다.

ㄷ. 철수가 측정할 때 O와 Q 사이를 한 번 왕복하는 빛의 경로는 $2L$ 보다 길다. 따라서 왕복하는 데 걸린 시간은 영화가 측정할 고유 시간인 $\frac{2L}{c}$ 보다 크다.

8 꼬꼬 문제 분석



선택지 분석

- ✕ $L = 0.9cT$ 이다. >
- ㉠ A가 측정한 p에서 q까지 양성자가 이동하는 데 걸린 시간은 T 보다 크다.
- ㉡ B가 측정한 양성자의 에너지는 A가 측정한 양성자의 에너지보다 작다.

❗ **전략적 풀이** ❗ ❶ A와 양성자가 측정한 고유 시간과 고유 길이를 파악하고, 시간 지연과 길이 수축 현상을 파악한다.

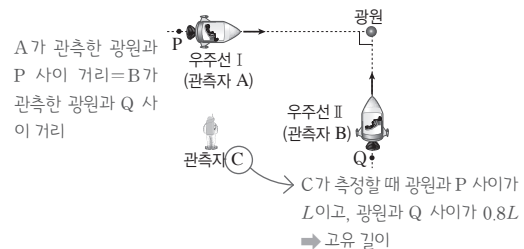
ㄱ. A가 측정한 양성자가 p에서 q까지 이동하는 데 걸린 시간을 T' 이라고 하면 $T' > T$ 이다. 따라서 고유 길이는 $L = 0.9cT'$ 이고 $L > 0.9cT$ 이다.

ㄴ. 양성자와 다른 좌표계에 있는 A가 측정한 p에서 q까지 양성자가 이동하는 데 걸린 시간은 고유 시간인 T 보다 크다.

❷ 속도가 클수록 에너지가 커진다는 것을 파악한다.

ㄷ. B가 측정한 양성자의 속도는 0이므로 B가 측정한 양성자의 에너지는 정지 질량에 의한 에너지이다. 반면 A가 측정한 양성자의 속도는 $0.9c$ 이므로 A가 측정한 양성자의 에너지는 정지 에너지보다 크다. 따라서 B가 측정한 양성자의 에너지는 A가 측정한 양성자의 에너지보다 작다.

9 꼬꼬 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 광원에서 나온 빛의 속력은 세 관측자 A, B, C에게 똑같이 측정된다.
- ㉡ A가 측정할 때, 광원과 P 사이의 거리는 L 보다 짧다.
- ✕ C가 측정할 때, A의 시간은 B의 시간보다 빠르게 간다. 느리게

❶ 전락적 풀이 ❶ 광속 불변 원리를 파악하고, 빛의 속력을 비교한다.

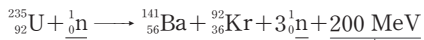
ㄱ. 빛의 속력은 모든 관성 좌표계에서 동일하게 관측되므로 세 관측자에게 똑같이 측정된다.

❷ 고유 길이를 비교하고, 길이 수축 현상과 시간 지연 현상을 파악한다.

ㄴ. 운동하는 A가 측정할 때, 광원과 P 사이의 거리는 고유 길이인 L 보다 짧다.

ㄷ. 고유 길이가 L 인 P와 광원 사이의 거리를 A가 측정한 거리와 고유 길이가 $0.8L$ 인 Q와 광원 사이의 거리를 B가 측정한 거리가 같다는 것은 B보다 A에게 길이 수축이 크게 일어난 것이다. 속력이 빠를수록 길이 수축이 크게 일어나므로 B의 속력보다 A의 속력이 더 빠르다. 따라서 C가 측정할 때, A의 시간은 B의 시간보다 느리게 간다.

10 문제 분석



저속 중성자

고속 중성자

질량 결손에 의한 에너지

→ 질량은 보존되지 않음

선택지 분석

✗ 우리늄(${}_{92}^{235}\text{U}$) 원자핵의 질량만큼에 해당하는 에너지가 발생한다. 질량 결손에 해당하는 만큼

✗ ㉠의 속도는 ㉡의 속도보다 빠르다. 느리다

㉢ 핵분열 후 입자들의 질량의 합은 핵분열 전보다 줄어든다.

❶ 전락적 풀이 ❶ 질량 에너지 동등성을 파악하고 핵반응 후 질량의 합이 보존되지 않는다는 것을 파악한다.

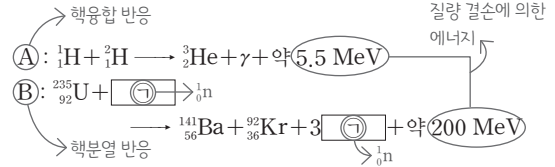
ㄱ. 핵반응 후 줄어든 질량의 합에 해당하는 만큼의 에너지가 발생한다.

ㄷ. 핵분열 반응에서 방출되는 에너지 200 MeV의 근원은 질량 결손에 의한 것이다. 따라서 핵분열 후 입자들의 질량의 합은 핵분열 전보다 줄어든다.

❷ 핵분열 과정을 이해하고, 그 과정에서 흡수하고 방출하는 중성자의 속도를 비교한다.

ㄴ. ${}_{92}^{235}\text{U}$ 는 속도가 느린 중성자를 잘 흡수하여 2개의 다른 원자핵으로 분열하면서 2개~3개의 고속 중성자를 발생시키므로, 핵분열이 연쇄적으로 일어나게 하려면 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 가 핵분열한 후 방출되는 고속 중성자의 속도를 느리게 하는 감속재를 사용해야 한다. 따라서 ㉠의 속도는 ㉡의 속도보다 느리다.

11 문제 분석



선택지 분석

✗ A에서는 질량 결손이 일어나지 않는다. 일어난다

㉢ B는 원자력 발전소에서 일어나는 반응이다.

✗ ㉠에 해당하는 입자는 헬륨(${}_2^4\text{He}$)이다. 중성자(${}_0^1\text{n}$)

❶ 전락적 풀이 ❶ 핵융합과 핵분열 과정을 반응식을 보고 구분하고, 그 과정에서 반응하는 입자를 유추해 낸다.

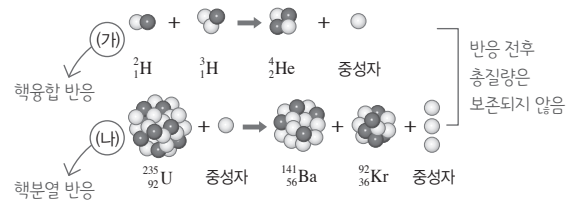
ㄴ. A는 가벼운 원자핵이 반응하여 더 무거운 원자핵으로 변하는 핵융합 반응으로 태양에서 일어나며, B는 입자의 충돌로 불안정해진 원자핵이 2개 이상의 가벼운 원자핵으로 변하는 핵분열 반응으로 원자력 발전소에서 일어난다.

ㄷ. ㉠에 해당하는 입자는 중성자(${}_0^1\text{n}$)이다.

❷ 핵반응 과정에서 질량 결손에 의한 에너지가 발생한다는 것을 파악한다.

ㄱ. A의 핵융합과 B의 핵분열에서 모두 핵반응 후 질량의 합이 핵반응 전보다 줄어드는 질량 결손이 일어난다.

12 문제 분석



선택지 분석

㉢ (가)는 핵융합 반응, (나)는 핵분열 반응이다.

㉢ (가)에서 핵반응 전후 질량수의 합은 같다.

✗ (나)에서 핵반응 전후 총질량은 같다. 같지 않다

❶ 전락적 풀이 ❶ 핵융합과 핵분열 과정을 반응식이나 그림을 보고 구분한다.

ㄱ. (가)는 질량수가 작은 원자핵이 질량수가 큰 원자핵으로 융합하는 핵융합 반응이고, (나)는 핵분열 반응이다.

❷ 핵반응 전후에서 보존되는 양과 보존되지 않는 양을 파악한다.

ㄴ, ㄷ. 핵반응 전후에 질량수는 보존되지만 질량은 보존되지 않는다.



II. 물질과 전자기장

1

물질의 전기적 특성



1 원자와 전기력

개념 확인 문제

140쪽

- ① 전자 ② 알파 입자 ③ (+) ④ Ze ⑤ 원자핵
⑥ 척력 ⑦ 인력 ⑧ 비례 ⑨ 반비례 ⑩ 인력

- 1 (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ 2 ㉠ 음극선, ㉢ (-), ㉡ 전자
3 (1) ㉠ (2) $\times$ (3) $\times$ 4 $9F$ 5 (1) ㉠ (2) $\times$ (3) ㉠

- 1 (1) 톰슨 원자 모형은 (+)전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포하고 있다.
(2) 러더퍼드 원자 모형은 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 원운동한다.
(3) 보어 원자 모형은 전자가 원자핵을 중심으로 특정한 궤도에서 원운동한다.

- 2 진공 상태에 가까운 유리관 안에 두 전극을 설치하고 두 전극 사이에 높은 전압을 걸어 주면 밝은 선이 방출되는데 이 선을 ㉠음극선이라고 한다. 이 실험을 통해 음극선은 ㉢(-)전하를 띤 입자의 흐름이라는 것이 밝혀졌다. 이 입자를 ㉡전자라고 한다.

- 3 (1) 알파 입자 산란 실험에서 알파 입자는 대부분 직진한다. 이것은 원자 내부 공간이 대부분 비어 있다는 것을 의미한다.
(2) 원자 질량의 대부분은 원자핵의 질량이다.
(3) 알파 입자는 (+)전하를 띠고 원자핵도 (+)전하를 띠므로 알파 입자가 원자핵에 접근하면 전기적인 척력이 작용한다.

- 4 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리 제곱에 반비례한다. 따라서 거리가 $\frac{1}{3}$ 배가 되면 전기력의 크기는 9배가 된다.

- 5 (1) 원자핵은 (+)전하를 띠고, 전자는 (-)전하를 띠므로 전기적인 인력이 작용한다.
(2) 전자는 원자핵에 가까울수록 에너지가 작아져 안정하다.
(3) 전자는 원자핵에 가까울수록 큰 전기력을 받으므로 원자핵으로부터 분리하기 어렵다.

대표 자료 분석

141쪽

- 자료 1 1 (1) $\times$ (2) ㉠ (3) ㉠ 2 알파 입자(헬륨 원자핵)
3 (1) ㉠ (2) ㉠ (3) $\times$ (4) ㉠ (5) $\times$
자료 2 1 (1) ㉠ (2) $\times$ (3) ㉠ 2 $A > B > C$ 3 (1) $\times$ (2) ㉠
(3) $\times$ (4) $\times$ (5) ㉠

- ①-1 (1) (가)는 전자가 원자핵을 중심으로 임의의 궤도에서 돌고 있으므로 러더퍼드 원자 모형, (나)는 톰슨 원자 모형이다.
(2) (-)전하를 띤 전자가 원운동을 할 수 있는 까닭은 (+)전하를 띤 원자핵이 전기적 인력을 작용하기 때문이다.
(3) 같은 종류의 전하 사이에는 서로 밀어내는 전기적인 척력이 작용한다.

- ①-2 러더퍼드 원자 모형의 원자핵은 알파 입자 산란 실험을 통해 제안되었다.

- ①-3 (1), (2) (가)에서 전자의 궤도는 양자화되어 있지 않으며, 원자핵을 제외하면 원자 대부분의 공간은 비어 있다.
(3) (가)에서 전자의 질량은 원자핵에 비하면 무시할 수 있을 정도로 작다.
(4) (나)에서 전자는 (-)전하를 띠며, 음극선 실험을 통해 알아내었다.
(5) (나)에서 원자 내부는 (+)전하를 띤 물질로 가득 차 있다.

- ②-1 (1) 전자들은 원자핵과의 전기적 인력에 의해 속박되어 있다.
(2) 중성인 원자에 (-)전하를 띤 전자가 3개이므로 (+)전하를 띤 양성자도 3개이다.
(3) 전하량이 일정하고 원자핵으로부터 거리가 일정하므로 A에 작용하는 전기력의 크기는 일정하다.

- ②-2 전자가 받는 전기력의 크기는 원자핵으로부터의 거리 제곱에 반비례한다.

- ②-3 (1) 전자에 작용하는 전기력의 방향이 계속 바뀌므로 전자는 가속도의 방향이 일정하지 않다.
(2) 양성자 1개의 전하량은 전자 1개의 전하량과 같다. 원자가 중성이므로 원자핵의 전하량은 양성자 3개의 전하량과 같다.
(3) 전자의 역학적 에너지는 원자핵으로부터 멀수록 크다.
(4) B, C 각각에 작용하는 전기력의 크기는 A에 작용하는 전기력의 크기보다 작으므로 A, B, C에 작용하는 전기력의 크기의 합은 A에 작용하는 전기력의 크기의 3배보다 작다.
(5) 원자핵으로부터 멀어질수록 전자의 역학적 에너지가 크다.

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

01 (가)는 보어 원자 모형, (나)는 톰슨 원자 모형, (다)는 러더퍼드 원자 모형이다. 원자 모형이 제안된 순서는 (나) → (다) → (가) 순이다.

02 ㄱ, ㄷ. 세 가지 원자 모형에서 전자는 모두 (-)전하를 띠는 입자로 설명하며, 원자는 전기적으로 중성이다.

▮ **바로알기** ▮ 나. (가), (다)는 원자 중심에 원자핵이 존재하는 것으로 설명하지만 (나)에서는 (+)전하인 원자의 바다로 설명하므로 원자핵 개념이 없다.

03 ① 전자는 톰슨이 음극선 실험을 통해 발견하였다.

② 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있다.

③ 전자의 질량은 양성자보다 작다.

⑤ 전자는 전하를 띠므로 다른 전하에 의해 전기력을 받는다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 전자는 원자핵과 함께 원자를 구성하는 입자로, 원자핵 속에 들어 있지 않다. 원자핵은 양성자와 중성자로 구성되어 있다.

04 나. 음극선은 전기장에 의해 전기력을 받고 자기장에 의해 자기력을 받는다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ, ㄷ. 음극선은 (-)전하를 띤 입자의 흐름으로, (+)극 쪽으로 전기력을 받아 휘어진다.

05 ① 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있으며, 양성자에 의해 (+)전하를 띤다.

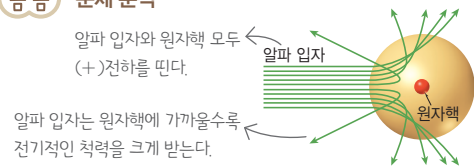
② 소수의 알파 입자가 큰 각도로 휘어지거나 거의 정반대 방향으로 되돌아 나오므로, (+)전하를 띤 입자가 원자의 중심에 존재한다는 것을 알 수 있다.

③ 대부분의 알파 입자는 산란되지 않고 직진한다. 따라서 원자 내부 공간은 원자핵을 제외하면 대부분 비어 있다는 것을 알 수 있다.

④ 원자핵의 지름이 원자의 지름에 비해 매우 작지만 원자핵의 질량은 전자에 비해 매우 커서 원자의 질량은 대부분 원자핵의 질량이다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ 알파 입자 산란 실험으로 원자핵과 전자의 전하량을 비교할 수는 없다. 알파 입자 산란 실험을 통해 알파 입자가 대부분 직진하므로 전자의 질량이 매우 작다는 것을 알 수 있다.

06 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 알파 입자는 원자핵에 가까워질수록 전기적인 척력을 크게 받아 산란각이 커진다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 알파 입자는 헬륨 원자핵이다. 원자핵은 양성자에 의해 모두 (+)전하를 띤다.

ㄷ. 알파 입자가 원자핵과 충돌하여 산란되므로 알파 입자는 원자핵에 비해 질량이 작다.

07 알파 입자는 전자에 비해 매우 무겁기 때문에 전자와 충돌해도 운동 경로가 변하지 않으며, 원자 내부 공간이 거의 비어 있기 때문에 원자에 입사된 대부분의 알파 입자는 직진한다.

모범답안 (1) 전자의 질량이 알파 입자에 비해 매우 작기 때문이다.

(2) 원자핵을 제외하면 원자 내부의 공간이 거의 비어 있기 때문이다.

채점 기준		배점
(1)	전자의 질량을 알파 입자와 비교하여 매우 작다고 서술한 경우	50 %
	전자의 질량이 작다고만 서술한 경우	20 %
(2)	원자 내부 공간이 거의 비어 있다고 서술한 경우	50 %
	원자핵이 매우 작다고 서술한 경우	20 %

08 ① 원자핵은 러더퍼드가 알파 입자 산란 실험을 통해 발견하였다.

②, ③ 원자는 원자핵과 전자로 구성되어 있고, 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있다.

⑤ 원자핵이 (+)전하를 띤 까닭은 양성자 때문이다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 양성자의 전하량은 e 이고 원자 번호가 Z 인 원자핵에는 양성자가 Z 개 들어 있으므로 전하량은 Ze 이다.

09 ㄱ. 러더퍼드 원자 모형은 행성이 태양 주위를 도는 것처럼 전자가 원자핵을 돌고 있어서 행성 모형이라고도 부른다.

ㄷ. 러더퍼드 원자 모형은 알파 입자 산란 실험으로 원자핵을 발견하면서 제시되었다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 알파 입자 산란 실험은 중성자의 발견과는 직접적인 관계가 없다. 중성자는 1932년 채드윅에 의해 발견되었다.

10 ㄱ. A, B는 전하의 종류가 서로 다르므로 서로 당기는 전기력이 작용한다.

ㄷ. 전기력의 크기는 두 전하 사이의 거리 제곱에 반비례한다.

▮ **바로알기** ▮ 나. A, B가 주고받는 전기력은 작용 반작용 법칙에 따라 크기가 같고 방향은 반대이다.

11 ㄱ. (-)전하로 대전된 A가 B에 의해 척력을 받아 회전하므로 B는 (-)전하를 띤다.

ㄷ. 전기력의 크기는 거리 제곱에 반비례하므로 거리를 2배로 하면 회전각은 $\frac{1}{4}$ 배가 된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하므로 B의 전하량을 2배로 하면 회전각이 2배가 되어 눈금이 32를 가리킨다.

12 $F = k \frac{3Q^2}{r^2}$ 이다. 두 도체구를 접촉시키면 전체 전하량은 $+2Q$ 가 되므로 각각의 전하량은 $+Q$ 이고, 거리를 $2r$ 로 하면 전기력의 크기는 $k \frac{Q^2}{(2r)^2} = \frac{F}{12}$ 가 된다.

☞ **모범답안** A의 전하량 : Q , B의 전하량 : Q , 전기력의 크기 : $\frac{1}{12}F$

채점 기준	배점
세 가지를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
세 가지 중 두 가지만 옳게 쓴 경우	50 %
세 가지 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	20 %

13 전기력의 방향이 오른쪽일 때를 (+), 왼쪽일 때를 (-)로 하고 점전하 간격을 d 라고 하면 F_A, F_B, F_C 는 다음과 같다.

$$F_A = \left| \frac{2kQ^2}{d^2} + \frac{kQ^2}{4d^2} \right| = \frac{9kQ^2}{4d^2},$$

$$F_B = \left| -\frac{2kQ^2}{d^2} - \frac{2kQ^2}{d^2} \right| = \frac{4kQ^2}{d^2},$$

$$F_C = \left| -\frac{kQ^2}{4d^2} + \frac{2kQ^2}{d^2} \right| = \frac{7kQ^2}{4d^2} \text{이므로 } F_B > F_A > F_C \text{이다.}$$

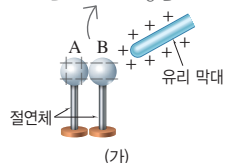
14 ㄱ. B는 A로부터 척력을 받아 움직이므로 B는 A와 같이 (+)전하를 띤다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. B가 받는 전기력의 크기는 거리 제곱에 반비례한다. 따라서 가속도의 크기도 거리 제곱에 반비례하므로 B는 가속도의 크기가 점점 감소하는 가속도 운동을 한다.

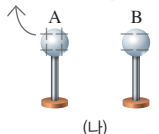
ㄷ. A, B의 전하량을 q, Q 라고 할 때 p에서의 전기력은 $k \frac{qQ}{(2d)^2}$, q에서의 전기력은 $k \frac{qQ}{(3d)^2}$ 이므로 p에서가 q에서의 $\frac{9}{4}$ 배이다.

15 **꼼꼼** 문제 분석

A의 전자가 B로 이동한다.



A는 (+)전하를 띠고 B는 (-)전하를 띤다.



ㄱ, ㄷ. (가)에서 A의 전자가 B로 이동하므로 A는 (+)전하를 띠고 B는 (-)전하를 띤다. 따라서 (가)에서 B와 유리 막대 사이에는 인력이 작용하고, (나)에서 A와 B 사이에도 인력이 작용한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 금속공 A, B가 전하를 띤 상태에서 A, B를 분리하면 전하를 띤 상태가 그대로 유지된다. 따라서 분리된 후 금속공 A는 (+)전하를 띤다.

16 ㄱ. 전기적으로 중성인 원자에 전자가 2개이므로 원자핵 내부의 양성자 수도 2개이다.

ㄴ. 원자핵과 전자는 전하의 종류가 다르므로 원자핵과 전자 사이에 인력이 작용한다.

ㄷ. 전기력의 크기는 거리 제곱에 반비례하므로 원자핵에 가까운 전자일수록 전기력을 크게 받는다.

17 ☞ **모범답안** 원자핵과 전자 사이에 작용하는 중력의 크기는 전기력의 크기에 비해 매우 작기 때문이다.

채점 기준	배점
중력의 크기를 전기력의 크기와 비교하여 매우 작다고 서술한 경우	100 %
중력의 크기가 매우 작다고만 서술한 경우	70 %

18 ㄴ. 원자핵으로부터 멀어질수록 전자의 역학적 에너지가 커지므로 원자핵으로부터 벗어나기가 쉽다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 전자의 전하량은 고유한 값으로, 원자핵으로부터의 거리와 관계없이 일정하다.

ㄷ. 원자핵으로부터 멀어질수록 전기력의 크기가 작아지므로 가속도의 크기도 작아진다.

19 ㄱ. 전기력의 크기는 전하량의 곱에 비례하고 거리 제곱에 반비례한다. 대전체로부터 전자까지의 거리는 (가), (나)에서 같고, 대전체의 전하량은 (나)에서가 (가)에서의 2배이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 대전체를 제거하면 전자에 작용하는 힘이 없으므로 전자는 등속 직선 운동한다.

ㄷ. 전자에 작용하는 전기력이 클수록 전자를 대전체로부터 분리시키는 데 큰 에너지가 필요하다.

20 ㄴ. 중력과 전기력은 자연에 존재하는 힘으로, 두 물체가 접촉해 있을 때와 접촉하지 않을 때 모두 작용한다.

ㄷ. 중력과 전기력의 크기는 두 물체 사이의 거리 제곱에 반비례한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 중력은 서로 당기는 힘으로만 나타나고, 전기력은 전하의 종류가 다를 때는 서로 당기는 힘으로, 전하의 종류가 같을 때는 서로 미는 힘으로 나타난다.



02 원자의 스펙트럼

개념 확인 문제

149쪽

- ① 연속 ② 방출 ③ 흡수 ④ 양자화 ⑤ 에너지 준위
⑥ 전이 ⑦ 진동수 ⑧ 라이먼 ⑨ 발머

- 1 (가) 연속 스펙트럼, (나) 방출 스펙트럼, (다) 흡수 스펙트럼
2 ㉠ 안정성, ㉡ 선 스펙트럼 3 (1) ○ (2) ○ (3) × 4 $\frac{E_1}{4}$, $\frac{E_1}{9}$ 5 (1) ㉠ 흡수, ㉡ 방출, ㉢ 흡수 (2) $E_1 = E_2 < E_3$
6 (1) 커진다 (2) ㉠ 3, ㉡ 2

1 (가)는 백색광이 프리즘을 통과했을 때 나타나는 연속 스펙트럼, (나)는 기체 방전관에서 방출되는 방출 스펙트럼, (다)는 빛이 저온의 기체를 통과한 흡수 스펙트럼이다.

2 전자가 단순히 원자핵 주위를 도는 러더퍼드 원자 모형은 전자가 원자핵 주위에서 안정하게 존재해야 한다는 원자의 ㉠안정성을 설명하지 못한다. 또한 전자가 원자핵으로 끌려 들어가면 반지름이 감소하면서 연속 스펙트럼을 방출해야 하므로 실제 기체에서 관찰되는 ㉡선 스펙트럼을 설명하지 못한다.

3 (1) 보어 원자 모형에서 전자는 특정한 궤도에서 원운동하므로 전자의 궤도는 불연속적으로 띄엄띄엄하게 존재한다.
(2) 전자의 에너지는 양자화되어 있고 양자수가 클수록 에너지가 크다.
(3) 전자는 정해진 에너지만 흡수할 수 있으며, 정해진 궤도 외에는 존재할 수 없다.

4 수소 원자의 에너지 준위는 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV이다. 따라서 $E_1 = -13.6$ eV이고, $E_2 = \frac{E_1}{4}$, $E_3 = \frac{E_1}{9}$ 이다.

5 (1) 전자는 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이할 때 에너지를 방출하고, 양자수가 작은 궤도에서 큰 궤도로 전이할 때 에너지를 흡수한다. 따라서 ㉠, ㉢에서는 에너지를 흡수하고, ㉡에서는 에너지를 방출한다.
(2) 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다. ㉠, ㉡은 $n=1$ 과 $n=2$ 사이에서 일어나는 전이이므로 이때 흡수하거나 방출하는 에너지는 같다. 즉 $E_1 = E_2$ 이다. ㉢에서는 $n=1$ 에서 $n=3$ 으로 전자가 전이하면서 에너지를 흡수하므로 E_3 은 E_1 과 E_2 보다 크다.

6 (1) 빛의 파장이 짧을수록 진동수가 크고, 에너지가 크다. 빨간색에서 파란색으로 갈수록 파장이 짧아지므로 진동수는 커진다.
(2) 가시광선 영역은 발머 계열이다. 발머 계열에서 파장이 가장 긴 빨간색은 에너지 준위 차이가 가장 작을 때, 즉 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된다.

대표 자료 분석

150쪽~151쪽

- 자료 1 1 (1) A (2) C (3) B 2 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○
3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×
자료 2 1 ㉠ 흡수, ㉡ 방출, ㉢ 방출 2 ㉠ $E_3 - E_2$,
㉡ $E_3 - E_1$, ㉢ $E_2 - E_1$ 3 ㉠ $\frac{E_3 - E_2}{h}$, ㉡ $\frac{E_3 - E_1}{h}$,
㉢ $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×
자료 3 1 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ 2 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때, $n=3$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때 3 (1) ○ (2) × (3) ○
자료 4 1 (1) 발머 계열 (2) 라이먼 계열 (3) 파셴 계열 2 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) × (5) ○

①-1 (1) 백열등에서 나오는 빛의 스펙트럼은 연속 스펙트럼이므로 A이다.
(2) 수소 기체 방전관에서 나오는 빛의 스펙트럼은 방출 스펙트럼이므로 C이다.
(3) 저온 기체관을 통과한 백열등 빛의 스펙트럼은 흡수 스펙트럼이므로 B이다.

①-2 (1) B는 흡수 스펙트럼이다.
(2) 수소 원자의 스펙트럼이 방출 스펙트럼인 것은 수소 원자의 에너지 준위가 불연속적이라는 것을 의미한다.
(3) B, C의 선의 위치가 같으므로 저온 기체관에는 수소가 들어 있음을 알 수 있다.
(4) 햇빛의 스펙트럼은 연속 스펙트럼이므로 A이다.

①-3 (1) A에서 빨간색 쪽으로 갈수록 빛의 파장이 길다.
(2) A에서 빨간색 쪽으로 갈수록 빛의 진동수가 작다.
(3) 기체의 종류에 따라 스펙트럼의 선의 위치가 다르므로 흡수 스펙트럼에서 선의 위치를 알면 기체의 종류를 알 수 있다.
(4) 방출 스펙트럼에서 선의 위치는 기체의 종류에 따라 고유하게 정해져 있으므로 기체의 종류가 달라지면 선의 위치가 달라진다.

②-1 ㉠에서는 전자가 양자수가 작은 궤도에서 큰 궤도로 전이하므로 에너지를 흡수하고, ㉡, ㉢에서는 전자가 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전이하므로 에너지를 방출한다.

②-2 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같으므로 ㉠에서 흡수하는 광자의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이고, ㉡, ㉢에서 방출하는 광자의 에너지는 각각 $E_3 - E_1$, $E_2 - E_1$ 이다.

②-3 에너지가 E 인 광자의 진동수 $f = \frac{E}{h}$ 이므로 ㉠에서 흡수하는 광자의 진동수는 $\frac{E_3 - E_2}{h}$ 이고, ㉡, ㉢에서 방출하는 광자의 진동수는 각각 $\frac{E_3 - E_1}{h}$, $\frac{E_2 - E_1}{h}$ 이다.

②-4 (1) 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크므로 $E_1 < E_2 < E_3$ 이다.
 (2) 양자수가 작을수록 전자가 원자핵에 가까이 있으므로 원자핵과 전자 사이에 작용하는 전기력이 커진다.
 (3) 보어 원자 모형에서 전자의 에너지는 양자화되어 있으며, 정해진 에너지 외에 다른 에너지는 가질 수 없다.
 (4) 광자의 에너지는 진동수에 비례하고, 파장에 반비례한다. 따라서 전자가 전이할 때 에너지 차이가 클수록 파장이 짧은 빛을 흡수하거나 방출한다.
 (5) 방출하는 빛의 진동수는 ㉡에서가 ㉢에서보다 크다.

③-1 (1) 양자수가 커질수록 에너지 준위의 간격이 좁아진다.
 (2) 방출되는 광자의 에너지는 에너지 준위의 차이와 같다.
 (3) 에너지 준위의 차이는 C에서가 B에서보다 크므로 방출되는 광자의 진동수도 C에서가 B에서보다 크다.
 (4) 에너지 준위의 차이는 C에서가 D에서보다 작다. 에너지 준위의 차이가 작을수록 방출되는 광자의 파장이 길다.

③-2 광자를 방출할 수 있는 경우는 양자수가 큰 궤도에서 작은 궤도로 전자가 전이하는 경우이므로 제시된 것 외에 추가로 찾으면 $n=4$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때와 $n=3$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때이다.

③-3 (1) 수소 원자의 에너지 준위는 양자화되어 있으므로 불연속적이다.
 (2) $E_2 = \frac{1}{4} E_1$ 이다.
 (3) A에서 방출되는 광자의 진동수는 $E_4 - E_1$ 이고, B, C, D에서 방출되는 광자의 진동수의 합은 $(E_4 - E_3) + (E_2 - E_1) + (E_4 - E_1) = E_4 - E_1$ 이므로 두 값은 같다.

④-1 라이먼 계열은 자외선, 발머 계열은 가시광선, 파셴 계열은 적외선 영역에 해당한다.

④-2 라이먼 계열은 전자가 $n \geq 2$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 나타난다. 이때 파장이 가장 긴 경우는 에너지 준위 차이가 가장 작아야 하므로 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때이다.

④-3 (1) 수소 원자는 전자를 1개만 가지고 있다.
 (2) 빛의 진동수는 파장에 반비례한다. 따라서 진동수는 라이먼 계열이 발머 계열보다 크다.
 (3) 라이먼 계열 중 광자의 진동수가 가장 작은 경우는 전자가 $n=2$ 에서 $n=1$ 로 전이할 때이다.
 (4) 라이먼 계열 중 가장 긴 파장은 발머 계열 중 가장 짧은 파장보다 짧다.
 (5) 그림에서 알 수 있듯이 파셴 계열 중 가장 짧은 파장은 발머 계열 중 가장 긴 파장보다 길다.

내신 만점 문제

152쪽~155쪽

01 ㉠	02 ㉡	03 ㉠	04 ㉠	05 ㉠	06 ㉠
07 해설 참조	08 (1) $E_A + E_B$ (2) 해설 참조	09 ㉠			
10 ㉠	11 ㉠	12 ㉠	13 ㉠	14 해설 참조	
15 ㉠	16 135 : 7	17 ㉠	18 ㉠	19 해설 참조	
20 ㉠	21 ㉠	22 해설 참조			

01 ㄱ. A는 백열등에서 나온 빛이므로 프리즘을 통과하면 연속 스펙트럼이 나타난다.
 ㄴ. B는 백열등에서 나온 빛이 저온의 기체 X를 통과한 빛이므로 흡수 스펙트럼이 나타난다.
 ㄷ. X가 고온일 때와 저온일 때 기체의 종류는 변하지 않으므로 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 선의 위치가 같다.

02 품 품 문제 분석

빨간색 쪽으로 갈수록 파장이 길다.

(가) 연속 스펙트럼

(나) 방출 스펙트럼

(나)에서는 특정한 파장의 빛만 방출되었다.

ㄷ. (나)의 스펙트럼은 선 스펙트럼이므로 선의 위치를 분석하면 광원의 구성 원소를 알 수 있다.

■ 바로알기 ㄱ. (가)에서 오른쪽 끝이 빨간색이므로 오른쪽으로 갈수록 파장이 길다.

ㄴ. (나)는 특정한 파장의 빛만 보이므로 방출 스펙트럼이다.

03 ② 선 스펙트럼이 나타나는 까닭은 원자의 에너지 준위가 양자화되어 있기 때문이다.

③, ④ 진동수가 클수록 파장은 짧고, 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크다.

⑤ 헬륨 기체가 고온일 때 방출하는 빛과 저온일 때 흡수하는 빛의 파장은 같다. 따라서 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼에서 선의 위치는 동일하게 나타난다.

▮ **바로알기** ▮ ① 기체의 선 스펙트럼은 러더퍼드 원자 모형으로는 설명할 수 없고, 보어 원자 모형으로 설명할 수 있다.

04 ㄱ. (가)는 전자의 궤도가 양자화되어 있으므로 보어 원자 모형이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)는 러더퍼드 원자 모형으로 전자의 궤도가 유지되지 못하므로 원자의 안정성을 설명할 수 없다.

ㄷ. (나)에서 전자가 원자핵에 끌려 원자핵 쪽으로 이동하면 전자기파를 방출하므로 에너지가 작아진다.

05 ①, ②, ③ 보어 원자 모형에서 전자의 궤도와 에너지 준위는 양자화되어 있으며, 이러한 궤도에서 원운동할 때 전자는 전자기파를 방출하지 않는다.

⑤ 전자의 에너지 준위가 양자화되어 있으므로 에너지 준위의 차이도 양자화되어 있다. 따라서 전자가 전이할 때 방출하거나 흡수하는 광자의 에너지는 불연속적으로 나타난다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 전자는 원자핵에 가까울수록 에너지 준위가 작고 안정하다.

06 ㄱ. 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크므로 $E_1 < E_2 < E_3$ 이다.

ㄴ. 양자수가 작을수록 전자의 궤도는 원자핵에 가깝고 전자가 받는 전기력의 크기는 원자핵에 가까울수록 크다.

ㄷ. 전자가 전이할 때 흡수하는 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다.

07 광자의 에너지는 $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 이고, 전자가 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위의 차이와 같다.

☞ **모범답안** 방출하는 광자의 에너지는 $E = \frac{hc}{\lambda} = E_3 - E_2$ 이므로 파장은

$$\lambda = \frac{hc}{E_3 - E_2} \text{이다.}$$

채점 기준	배점
빛의 파장을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
빛의 파장만 옳게 쓴 경우	50 %

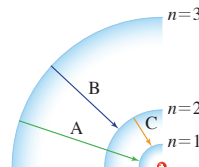
08 $n=1, n=2, n=3$ 인 궤도에서 에너지 준위를 각각 E_1, E_2, E_3 이라고 하면, $E_A = E_2 - E_1, E_B = E_3 - E_2$ 이다. 따라서 $n=3$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 광자의 에너지는 $E_3 - E_1 = E_B + E_2 - (E_2 - E_A) = E_A + E_B$ 이다.

☞ **모범답안** (1) $E_A + E_B$

(2) 두 궤도의 에너지 차이보다 작으므로 전자는 전이하지 못한다.

채점 기준	배점
(1) 방출하는 광자의 에너지를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) 두 궤도의 에너지 차이와 비교하여 전자가 전이하지 못한다고 서술한 경우	50 %
전자가 전이하지 못한다고만 서술한 경우	30 %

09 **문제 분석**



양자수 n 에 따른 에너지 준위를 E_n 이라고 하면,
 $E_A = hf_A = E_3 - E_1,$
 $E_B = hf_B = E_3 - E_2,$
 $E_C = hf_C = E_2 - E_1$ 이다.

ㄴ. $E_B + E_C = E_3 - E_2 + E_2 - E_1 = E_3 - E_1 = E_A$ 이다.

ㄷ. 광자의 에너지는 $E = hf$ 이므로 $\frac{E}{f} = h$ 이다. 따라서 각각의 전이에서 광자의 에너지와 진동수의 비는 모두 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 광자의 에너지는 진동수에 비례하므로 $f_A = f_B + f_C$ 이다.

10 ①, ④ 양자수에 따라 전자가 특정한 에너지만 가질 수 있으므로 에너지 준위는 불연속적이며, 양자수가 클수록 에너지 준위의 간격은 좁아진다.

② $n=1$ 인 상태는 전자의 에너지가 가장 작아 가장 안정하므로 바닥상태라고 한다.

⑤ 양자수가 클수록 전자의 에너지가 커지므로 $n=\infty$ 일 때 에너지가 가장 크다.

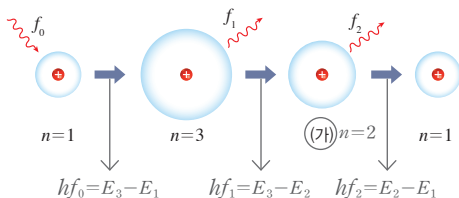
▮ **바로알기** ▮ ③ 양자수가 클수록 전자의 에너지가 크고 원자핵으로부터의 거리가 멀어 전기력이 작아지므로 전자를 원자핵으로부터 분리시키기가 쉽다.

11 ㄱ. $hf_A = E_4 - E_2$ 이므로 $f_A = \frac{E_4 - E_2}{h}$ 이다.

ㄷ. $n=3$ 인 상태의 전자가 $n=4$ 인 상태로 전이할 때 흡수하는 광자의 진동수는 $n=4$ 에서 $n=3$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 광자의 진동수와 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 양자수가 커질수록 에너지 준위의 차이가 작아지므로 $E_3 - E_2$ 는 $E_4 - E_3$ 보다 크다.

12 **문제 분석**



ㄴ. (가)는 $n=2$ 인 상태이다. $hf_0 = hf_1 + hf_2$ 이므로 $f_0 = f_1 + f_2$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $E_3 - E_2 < E_2 - E_1$ 이므로 $f_1 < f_2$ 이다.

ㄷ. 진동수가 f_1 인 광자의 에너지는 $E_2 - E_1$ 보다 작으므로 $n=1$ 인 상태의 수소 원자는 진동수가 f_1 인 빛을 흡수할 수 없다.

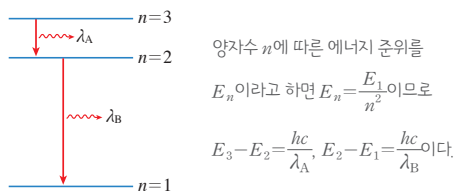
13 ①, ② 전자가 궤도를 전이할 때 양자수 차이가 클수록 에너지 차이가 크므로 $f_{31} > f_{32}$ 이고 $f_{31} > f_{21}$ 이다.

③ $n=3$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 광자의 진동수는 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 광자의 진동수와 $n=2$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 광자의 진동수의 합과 같다.

⑤ 빛의 속력은 일정하므로 $c = f\lambda$ 에서 파장은 진동수에 반비례한다. 따라서 $f_{31} = f_{32} + f_{21}$ 이므로 $\frac{1}{\lambda_{31}} = \frac{1}{\lambda_{32}} + \frac{1}{\lambda_{21}}$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ④ $n = \infty$ 에서 $n=1$ 인 상태로 전이할 때가 $n = \infty$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때보다 방출하는 광자의 에너지가 크므로 파장은 더 짧다.

14 **문제 분석**



모범답안 $\lambda_A = \frac{hc}{|E_3 - E_2|} = \frac{hc}{\left| \frac{E_1}{9} - \frac{E_1}{4} \right|} = \frac{36hc}{5E_1}$ 이고,

$\lambda_B = \frac{hc}{|E_2 - E_1|} = \frac{hc}{\left| \frac{E_1}{4} - E_1 \right|} = \frac{4hc}{3E_1}$ 이므로

$\lambda_A : \lambda_B = 27 : 50$ 이다.

채점 기준	배점
파장의 비를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
파장의 비만 옳게 쓴 경우	50 %

15 ㄱ. (가)에서 정확히 두 궤도의 에너지 준위 차이만큼의 에너지를 갖는 광자를 흡수하였으므로 전자는 $n=2$ 인 상태로 전이한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 에너지 준위가 -8.0 eV 인 상태는 존재하지 않는다. 따라서 5.6 eV 의 에너지를 갖는 광자를 흡수해도 전자는 다른 궤도로 전이할 수 없다.

ㄷ. 광자의 에너지가 클수록 광자의 진동수가 크다.

16 $E = hf$ 이므로 $f_{(7)} = \frac{E_4 - E_1}{h}$ 이고 $f_{(4)} = \frac{E_4 - E_3}{h}$ 이다.

$E_4 - E_1 = \frac{E_1}{16} - E_1 = -\frac{15E_1}{16},$

$E_4 - E_3 = \frac{E_1}{16} - \frac{E_1}{9} = -\frac{7E_1}{144}$

따라서 $f_{(7)} : f_{(4)} = (E_4 - E_1) : (E_4 - E_3) = 135 : 7$ 이다.

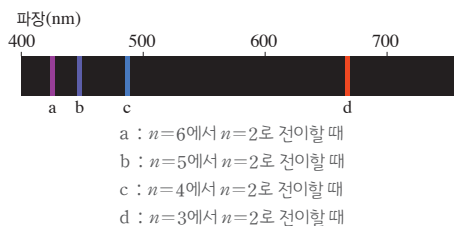
17 • A : 전자가 들뜬상태에서 $n=1$ 인 상태로 전이하는 라이먼 계열에서는 자외선이 방출된다.

• B : 전자가 들뜬상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이하는 발머 계열에서는 가시광선이 방출된다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ 적외선은 전자가 들뜬상태에서 $n=3$ 인 상태로 전이하는 파셴 계열에서 방출된다.

18 **문제 분석**

발머 계열은 전자가 들뜬상태에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된다.



ㄱ. 광자 1개의 에너지는 파장이 짧을수록 크다.

ㄴ. c는 발머 계열에서 파장이 세 번째 긴 빛으로 전자가 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된 빛이다.

ㄷ. 진동수 차는 에너지 차에 비례한다. b의 에너지는 $E_5 - E_2$, c의 에너지는 $E_4 - E_2$, d의 에너지는 $E_3 - E_2$ 이다. 따라서 b와 c의 에너지 차는 $E_5 - E_4$ 이고 c와 d의 에너지 차는 $E_4 - E_3$ 이다. 양자수가 커질수록 에너지 준위 간격이 좁아지므로 $E_5 - E_4 < E_4 - E_3$ 이다.

19 **모범답안** a. 광자의 에너지는 빛의 파장에 반비례하는데 a의 파장이 가장 짧기 때문이다.

채점 기준	배점
광자의 에너지와 파장의 관계를 이용하여 a의 파장이 가장 짧기 때문이라고 서술한 경우	100 %
a의 파장이 가장 짧기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

20 ①, ② 라이먼 계열은 자외선 영역, 발머 계열은 가시광선 영역, 파셴 계열은 적외선 영역에 해당하며, 빛의 파장은 자외선이 가시광선보다 짧다.

③, ④ 라이먼 계열은 $n \geq 2$ 에서 $n=1$ 인 궤도로, 발머 계열은 $n \geq 3$ 에서 $n=2$ 인 궤도로, 파셴 계열은 $n \geq 4$ 에서 $n=3$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된다.

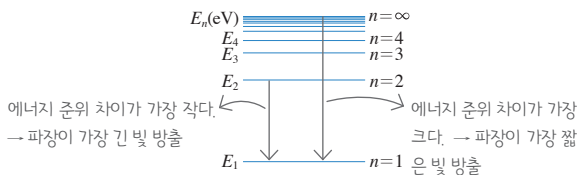
▮ **바로알기** ▮ ⑤ 발머 계열에서 가장 짧은 파장의 빛은 광자의 에너지가 가장 크므로 전이할 때의 에너지 준위 차이가 가장 커야 한다. 따라서 $n=\infty$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때이다. $n=3$ 에서 $n=2$ 로 전이할 때는 에너지 준위 차이가 가장 작으므로 파장이 가장 긴 빛이 방출된다.

21 ㄱ. A~C 중 파장이 가장 긴 빛이 방출되는 전이는 에너지 준위 차이가 가장 작은 A이다.

ㄴ. B는 바닥상태로 전이하는 것이므로 라이먼 계열에 해당한다. 따라서 자외선 영역의 빛이 방출된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. A, C는 발머 계열의 전이에 해당하므로 가시광선 영역의 빛이 방출된다.

22 **꼭꼭** 문제 분석



라이먼 계열에서 파장이 가장 긴 빛은 전자가 $n=2$ 에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출되고, 파장이 가장 짧은 빛은 $n=\infty$ 에서 $n=1$ 인 궤도로 전이할 때 방출된다.

또한 $\lambda = \frac{hc}{|E_n - E_m|}$ 이고, $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 에서 $E_\infty = 0$ 이다.

모범답안 $\lambda_1 = \frac{hc}{|E_2 - E_1|} = \frac{4hc}{3E_1}$, $\lambda_2 = \frac{hc}{|E_\infty - E_1|} = \frac{hc}{E_1}$ 이므로

$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{|E_\infty - E_1|}{|E_2 - E_1|} = \frac{4}{3}$ 이다.

채점 기준	배점
파장의 비를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
파장의 비만 옳게 쓴 경우	50 %

03 에너지띠와 반도체

개념 확인 문제

159쪽

- ① 같다 ② 에너지띠 ③ 높은 ④ 전도띠 ⑤ 띠 간격
⑥ 없다 ⑦ 양공 ⑧ (+) ⑨ 넓고 ⑩ 좁다 ⑪ 전기 전도도 ⑫ 비저항

- 1 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ 2 (1) A : 전도띠, B : 띠 간격, C : 원자가 띠 (2) B가 넓을(좁을)수록 전기 전도성이 작(크)다.
3 ㉠ 띠 간격, ㉡ (+) 4 (가) 도체, (나) 반도체, (다) 절연체
5 (1) ㄱ (2) ㄴ, ㄷ (3) ㄴ 6 (1) $\times$ (2) $\bigcirc$ (3) $\times$

1 (1) 에너지띠는 고체에서 나타난다. 기체는 원자 간격이 멀어서 서로 영향을 주기 어려우므로 원자들마다 독립적인 에너지 준위를 갖는다.

(2) 띠 간격은 2개의 허용된 띠 사이에 해당하는 에너지 간격으로, 전자는 이 영역의 에너지는 가질 수 없다.

(3) 고체에는 원자의 수가 매우 많으므로 에너지띠 내에서는 에너지 준위가 연속적이라고 할 수 있다.

2 (1) 전자가 채워진 가장 높은 에너지 상태의 띠를 원자가 띠, 원자가 띠 위에 전자가 채워지지 않은 띠를 전도띠라고 한다.

(2) 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기가 쉬울수록 전기 전도성이 크다. 따라서 띠 간격이 좁을수록 전기 전도성이 크고, 띠 간격이 넓을수록 전기 전도성이 작다.

3 원자가 띠에 있던 전자가 원자가 띠와 전도띠의 에너지 준위 차이에 해당하는 ㉠ 띠 간격 이상의 에너지를 흡수하여 전도띠로 전이하면 자유 전자가 되어 고체 내에서 움직일 수 있게 된다. 전자의 전이로 인해 생긴 양공은 이웃한 전자가 채워지면서 움직일 수 있으며 전자가 빠져나간 자리이므로 ㉡ (+) 전하를 띤 입자와 같은 역할을 한다.

4 (가)는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 도체이고, (나)는 띠 간격이 (가)보다 넓고 (다)보다 좁으므로 반도체, (다)는 띠 간격이 가장 넓으므로 절연체이다.

5 (1) 원자가 띠가 완전히 채워지지 않아서 띠 간격이 없는 고체는 도체이다.

(2) 띠 간격이 없는 도체와 달리 원자가 띠가 완전히 채워져 있어서 띠 간격이 있는 고체는 절연체와 반도체이다.

(3) 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 가장 큰 고체는 절연체이다.

- 6 (1) 전기 전도도는 고체에 전압을 걸었을 때 전자가 자유롭게 이동할 수 있는 정도를 의미한다.
 (2) 자유 전자가 많은 도체는 자유 전자가 거의 없는 절연체보다 전기 전도도가 크다.
 (3) 비저항이 클수록 물질의 전기 저항이 커서 전류가 잘 흐르지 못한다.

개념 확인 문제

162쪽

- ① 공유 ② 도핑 ③ 3 ④ 양공 ⑤ 5 ⑥ 전자
 ⑦ 순방향 ⑧ 순방향 ⑨ 역방향 ⑩ 정류 ⑪ 발광

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 ㉠ 3, ㉡ 원자가, ㉢ 위 3 (1)
 (가) n형 반도체, (나) p형 반도체 (2) X : 5개, Y : 3개 4 ㉠
 (+)극, ㉡ (-)극 5 (1) × (2) ○ (3) ○ 6 (1) ㉢ (2) ㉠ (3) ㉡

- 1 (1), (2) 고유 반도체를 이루는 원자의 원자가 전자는 4개로, 각 원자의 가장 바깥쪽 껍질에 전자 8개가 배치되도록 이웃 원자들과 공유 결합을 한다.
 (3) 고유 반도체는 실온에서 열에너지에 의해 원자가 띠에 있던 일부 전자가 전도띠로 전이한다.

2 p형 반도체는 원자가 전자가 4개인 고유 반도체에 원자가 전자가 ③개인 원소를 도핑한 반도체로, 불순물에 의해 양공이 생성되어 ㉠원자가 띠 바로 ㉡위에 새로운 에너지 준위가 만들어진 것으로 볼 수 있다.

- 3 (1) (가)는 남는 전자가, (나)는 양공이 전하 운반체 역할을 하므로 (가)는 n형 반도체이고, (나)는 p형 반도체이다.
 (2) (가)에서는 공유 결합하고 남는 전자가 1개 있으므로 X의 원자가 전자는 5개이고 (나)에서는 3개의 전자만 공유 결합하여 양공이 1개 생성되므로 Y의 원자가 전자는 3개이다.

4 다이오드에 전류가 흐르기 위해서는 순방향 전압이 걸려야 한다. 즉, p형 반도체는 (+)극에, n형 반도체는 (-)극에 연결되어야 한다. 따라서 ㉠에 (+)극을 ㉡에 (-)극을 연결해야 한다.

- 5 (1) 순방향 바이어스는 전원의 (+)극을 p형 반도체에, (-)극을 n형 반도체에 연결하는 것이다.
 (2) 다이오드는 순방향 바이어스가 걸릴 때 전류가 흐르고 역방향 바이어스가 걸릴 때 전류가 흐르지 않는다.
 (3) 순방향 바이어스를 걸면 p형 반도체의 양공은 n형 반도체 쪽으로 이동하고 n형 반도체의 전자는 p형 반도체 쪽으로 이동하여 접합면에서 전자와 양공이 결합한다.

- 6 (1) p-n 접합 다이오드는 전류를 한쪽 방향으로만 흐르게 하는 정류 작용을 한다.
 (2) 발광 다이오드는 전류가 흐르면 띠 간격에 해당하는 만큼의 에너지를 갖는 광자가 방출된다.
 (3) 광 다이오드는 빛을 받으면 전류가 흐르는 특성이 있다.

완자샘

비법 특강

Q1 두꺼워진다.

163쪽

Q1 역방향 전압을 걸면 불순물만 남아 있는 접합면이 더 두꺼워진다. 따라서 전류가 흐르지 않게 된다.

대표 자료 분석

164쪽~165쪽

- 자료 1 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 파울리 배타 원리 3 (1) ○
 (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×
 자료 2 1 (가) > (나) > (다) 2 (가) ㉠, (나) ㉡, (다) ㉢
 3 (1) × (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ○ (6) ×
 자료 3 1 저마늄 : 4개, 붕소 : 3개 2 p형 반도체 3 Y > X
 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×
 자료 4 1 전류가 흐르지 않는다. 2 ㉠ → 전구 → ㉡
 3 정류 작용 4 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ○

①-1 (1) (가)의 에너지 준위는 불연속적으로 양자화되어 있다.
 (2) 고체에서는 인접한 원자가 매우 많으므로 허용된 띠 내에서 에너지 준위는 연속적이라고 볼 수 있다.
 || 바로알기 || (3) b는 띠 간격이다. 전자는 띠 간격에 해당하는 에너지 준위는 가질 수 없다.

①-2 하나의 양자 상태에 동일한 전자 2개가 있을 수 없다. 이를 파울리 배타 원리라고 한다.

①-3 (1) 원자핵에 속박된 전자의 에너지는 원자핵으로부터 멀수록 크다.
 (2) 에너지띠에 전자가 채워질 때는 에너지 준위가 낮은 아래에서부터 채워진다.

(3) (가)에서와 마찬가지로 고체의 에너지띠도 에너지 준위가 높을수록 띠 간격이 좁아진다.

(4) 원자가 띠 바로 위의 에너지띠가 전도띠이다. 만일 하나의 에너지띠가 채워지지 않으면 채워진 부분이 원자가 띠이고 채워지지 않은 부분이 전도띠가 된다.

(5) 에너지띠에 전자가 완전히 채워지면 전자가 이동할 자리가 없으므로 전자가 자유롭게 움직이지 못한다.

2-1 전기 전도성은 띠 간격이 좁을수록 크다. 따라서 도체가 가장 크고 절연체가 가장 작다.

2-2 규소는 반도체, 수정은 절연체, 구리는 도체에 해당한다.

2-3 (1) 원자가 띠 내에서 위로 올라갈수록 전자의 에너지 준위가 높아진다.

(2) 에너지 준위는 전도띠가 원자가 띠보다 높으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하려면 에너지를 흡수해야 한다.

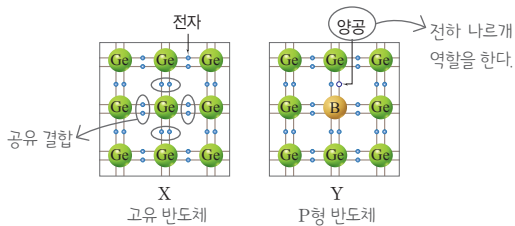
(3) (가)에서는 에너지띠에 전자가 완전히 채워지지 않아 원자가 띠와 전도띠 사이에 띠 간격이 없다.

(4) 반도체에서는 온도가 높을수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이하는 전자가 많아지므로 원자가 띠에 양공이 많아진다.

(5) 전도띠는 전자가 채워져 있지 않으므로 전도띠로 전이한 전자들은 자유롭게 움직일 수 있다.

(6) 띠 간격이 좁을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 쉽다.

3-1 **꼼꼼** 문제 분석



저마늄은 원자가 전자가 4개이고 이웃한 원자와 공유 결합을 한다. 붕소(B)를 도핑했을 때 이웃한 저마늄과 공유 결합을 하지 못하여 생긴 양공이 1개 있으므로 붕소의 원자가 전자는 3개이다.

3-2 Y는 공유 결합 후 생긴 양공이 전류를 흐르게 하므로 p형 반도체이다.

3-3 순수한 반도체 X에 비해 불순물을 도핑한 반도체 Y가 전기 전도성이 더 크다.

3-4 (1), (3) 붕소는 원자가 전자가 3개인 13족 원소 중 하나이며, 전기적으로 중성이다. 따라서 붕소가 전자를 얻으면 음이온이 된다.

(2) p형 반도체에는 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자, 즉 자유 전자가 존재한다.

(4) p형 반도체에서는 도핑에 의해 발생한 양공과 전자가 전도띠로 전이하면서 생긴 양공이 있다. 따라서 p형 반도체에는 양공이 전자보다 많으므로 주로 양공이 전하 나르게 역할을 한다.

(5) p형 반도체에는 불순물에 의해 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 존재하게 된다.

4-1 S를 a에 연결하면 p형 반도체에 (-)극이 연결되어 역방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르지 않는다.

4-2 S를 b에 연결하면 순방향 전압이 걸린다. 전류는 전지의 (+)극에서 나와 P형 반도체에서 n형 반도체 쪽으로 흐르므로 전류의 방향은 ㉠ → 전구 → ㉡이다.

4-3 다이오드에 순방향 전압이 걸리면 전류가 흐르고, 역방향 전압이 걸리면 전류가 흐르지 않는다. 이를 정류 작용이라고 하며, 교류를 직류로 바꾸는 데 이용된다.

4-4 (1) S를 a에 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다. (2) S를 a에 연결하면 전류가 흐르지 않는데 그 까닭은 다이오드에 역방향 전압이 걸려 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면에서 서로 멀어지기 때문이다.

(3) S를 a에 연결하면 전원의 (-)극에서 전자가 계속 공급되지 못하기 때문에 전류가 흐르지 않는다.

(4), (6) S를 b에 연결하면 전류가 흐르는데 그 까닭은 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면으로 이동하여 결합하기 때문이다. 접합면에서 양공과 전자가 결합하면 p형 반도체에는 양공이 계속 발생하면서 전류가 계속 흐르게 된다.

(5) 다이오드에 전류가 흐를 때 전자의 이동 방향은 전류의 방향과 반대이다.

내신 만점 문제

166쪽~169쪽

- | | | | | |
|------|------|----------|-------------------------|------|
| 01 ③ | 02 ⑤ | 03 해설 참조 | 04 ② | 05 ⑤ |
| 06 ④ | 07 ③ | 08 ① | 09 ④ | 10 ① |
| 11 ⑤ | 12 ④ | 13 ③ | 14 해설 참조 | 15 ② |
| 16 ⑤ | 17 ⑤ | 18 ③ | 19 (1) n형 반도체 (2) 해설 참조 | 20 ② |
| 21 ③ | | | | |

01 ㄱ. 에너지 준위는 원자핵에 가까울수록 낮고 원자핵에서 멀수록 높다.

ㄴ. 하나의 양자 상태에는 1개의 전자만 있을 수 있고, 전자는 에너지 준위가 낮은 곳부터 채워진다.

▣ **바로알기** ▣ ㄷ. 원자의 수가 매우 많아지면 a, b 각각의 에너지 준위가 미세하게 갈라지지만 a, b 사이의 에너지 준위가 연속적이 되는 것은 아니다.

02 ⑤ 0 K의 온도에서 전자는 허용된 띠의 에너지가 가장 낮은 부분부터 차례대로 채워진다.

▣ **바로알기** ▣ ①, ② 전도띠는 원자가 띠 바로 위의 에너지띠로 전자가 채워지지 않은 띠이다.

③ 원자가 띠는 전자가 채워진 에너지띠 중 가장 위에 있는 띠이다.

④ 고체에서는 인접한 원자의 수가 매우 많으므로 허용된 띠 내에서 전자의 에너지 준위는 연속적이라고 할 수 있다.

03 원자가 띠의 에너지보다 전도띠의 에너지가 더 크므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 위해서는 에너지를 흡수해야 한다.

☞ **모범답안** 전자가 외부에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다.

채점 기준	배점
외부에서 띠 간격 이상의 에너지를 흡수해야 한다고 서술한 경우	100 %
에너지를 흡수해야 한다고만 서술한 경우	50 %

04 ② 전자는 허용된 띠에서 에너지가 낮은 부분부터 채워지는데 에너지가 낮을수록 원자핵에 가깝다.

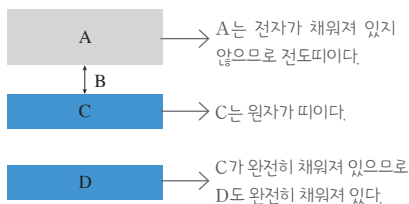
▣ **바로알기** ▣ ① 기체의 에너지 준위는 주위 원자의 영향을 받지 않으므로 에너지띠가 나타나지 않는다.

③ 에너지띠 내에서도 전자의 에너지는 아래쪽으로 갈수록 낮아진다.

④ 띠 간격에 해당하는 에너지 준위는 존재하지 않는다. 따라서 물질에 따라 띠 간격이 좁거나 넓을 수 있지만 띠 간격에 전자가 존재할 수는 없다.

⑤ 위쪽으로 갈수록 에너지가 증가하므로 원자핵에서 먼 에너지 띠이다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. A, C, D는 에너지띠로 모두 전자가 존재할 수 있으므로 허용된 띠이다.

ㄴ. C는 전자가 완전히 채워져 있으므로 C 아래에 있는 D도 전자가 완전히 채워진 띠이다.

ㄷ. B는 띠 간격이다. 띠 간격이 작을수록 전자가 원자가 띠에서 전도띠로 전이하기 쉬우므로 전기 전도성이 커진다.

06 ①, ② 자유 전자는 전도띠로 전이된 전자로 작은 에너지만 주어져도 쉽게 이동할 수 있어 전류의 원인이 된다.

③ 양공은 원자가 띠에 있는 전자가 전도띠로 전이할 때 원자가 띠에 생기는 빈 자리이다.

⑤ 자유 전자와 양공 모두 전하 나르개로 전류를 흐르게 하는 역할을 한다.

▣ **바로알기** ▣ ④ 양공은 주변의 전자가 채워지면서 전자의 이동 방향과 반대 방향으로 이동할 수 있다.

07 ①, ② 구리와 같은 금속은 도체이며, 도체는 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 없으므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 쉽게 전이할 수 있어 전류가 잘 흐른다.

④ 절연체는 띠 간격이 매우 커서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기가 매우 어렵다. 따라서 전기 저항이 매우 커서 전류가 잘 흐르지 않는다.

⑤ 0 K의 온도에서 절연체와 반도체는 원자가 띠가 완전히 채워져 있어 전자가 이동할 수 없다.

▣ **바로알기** ▣ ③ 반도체는 온도가 낮을수록 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자가 적어지므로 전류가 잘 흐르지 않는다.

08 ㄱ. 띠 간격이 작을수록 전자가 전도띠로 전이하기 쉬워 전기 전도성이 좋아진다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 0 K에서는 규소의 전도띠에 전자가 존재하지 않지만 실온에서는 열에너지에 의해 전도띠로 전이한 전자가 존재하게 된다.

ㄷ. 띠 간격은 전자가 가질 수 없는 에너지 영역이다. 다이아몬드의 띠 간격은 5.33 eV이므로 원자가 띠의 가장 위에 있는 전자가 3 eV의 에너지를 흡수해도 전도띠로 전이하지 못할 뿐만 아니라 새로운 에너지 준위가 생기지도 않는다.

09 ㄴ. B는 C에 비해 띠 간격이 크므로 원자가 띠의 전자가 전도띠로 이동하기 어렵다.

ㄷ. A는 도체, B는 절연체, C는 반도체이다. 규소는 반도체에 해당하는 물질이다.

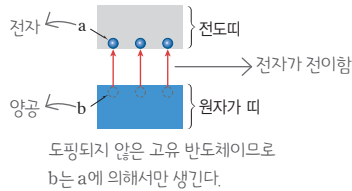
▣ **바로알기** ▣ ㄱ. A는 도체이므로 스위치를 A에 연결하면 전구에 불이 켜진다.

10 ㄱ. 구리는 규소보다 전기 전도도가 크다. 비저항은 전기 전도도의 역수와 같다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 규소의 전기 전도도가 유리보다 크므로 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격은 규소가 유리보다 작다.

ㄷ. 구리나 알루미늄 같은 금속 도체는 온도가 높을수록 비저항이 커지므로 전기 전도도가 작다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ, ㄴ. a는 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자이고 b는 전자가 전도띠로 전이했을 때 원자가 띠에 생성되는 양공으로 a와 b의 개수는 같다.

ㄷ. 양공에 의해 전류가 흐를 때 양공은 전자의 이동 방향과 반대 방향으로 이동하므로 (+)전하와 같은 역할을 한다.

12 ① 도핑을 하면 고유 반도체의 띠 간격 사이에 새로운 에너지 준위가 생겨서 전자의 전이가 쉽게 일어난다.

②, ③ 도핑에 의해 양공의 수가 더 많아진 반도체가 p형 반도체이고 전자의 수가 더 많아진 반도체가 n형 반도체이다.

⑤ n형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 5개인 15족 원소를 첨가하여 만든다.

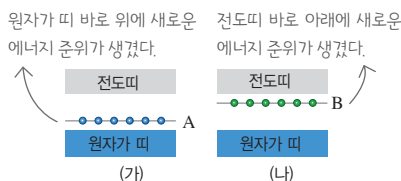
▣ **바로알기** ▣ ④ p형 반도체는 고유 반도체에 원자가 전자가 3개인 13족 원소를 첨가하여 만든다.

13 ㄱ. 규소의 원자가 전자는 4개이고 붕소 원자 주위에 공유 결합을 한 전자는 3쌍이므로 붕소의 원자가 전자는 3개이다.

ㄴ. 원자가 전자가 3개인 불순물을 첨가하여 양공을 생성하므로 이 불순물 반도체는 p형 반도체이다.

ㄷ. p형 반도체는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

14 **꼼꼼** 문제 분석



p형 반도체에서는 도핑에 의해 남는 양공이 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위를 만들며, 원자가 띠의 전자가 새로운 에너지 준위로 쉽게 전이할 수 있다. n형 반도체에서는 도핑에 의해 남는 전자가 전도띠 바로 아래에 새로운 에너지 준위를 만들며, 새롭게 만들어진 에너지 준위에 채워진 전자는 쉽게 전도띠로 전이할 수 있다.

모범답안 (가) p형 반도체, (나) n형 반도체

채점 기준	배점
(가)와 (나)를 모두 옳게 쓴 경우	100 %
(가)와 (나) 중 하나만 옳게 쓴 경우	50 %

15 ㄴ. 공유 결합 후 (가)에서는 전자가 1개 남고, (나)에서는 양공이 1개 생기므로 원자가 전자는 X가 5개, Y가 3개이다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. (가)는 원자가 전자가 5개인 X를 도핑하여 남는 전자가 전하 나르개 역할을 하므로 n형 반도체이다.

ㄷ. (나)는 p형 반도체이다. 실온에서는 p형 반도체에도 자유 전자가 있지만 도핑에 의해 양공의 수가 자유 전자보다 많아서 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

16 ①, ③ (가)에서 비소를 첨가했을 때 비소 원자는 주변 저마늄과 공유 결합 후 1개의 전자가 남는다. 따라서 비소의 원자가 전자는 5개이고 (가)는 n형 반도체이다.

② 저마늄 원자 1개는 주변 저마늄 원자 4개와 공유 결합을 하여 최외각에 8개의 전자 배치를 만들었으므로 저마늄의 원자가 전자는 4개이다.

④ 비소에 의해 남는 전자가 새로운 에너지 준위 ㉠을 만들며, 이 전자들이 전도띠로 전이하여 전류를 흐르게 한다.

▣ **바로알기** ▣ ⑤ ㉠은 도핑에 의해 남는 전자들이 만든 에너지 준위이므로 여기에 있는 전자가 전이하더라도 양공이 발생하지 않는다.

17 ㄴ. 전지의 (+)극을 A에, (-)극을 B에 연결하면 순방향 전압이 걸리므로 다이오드에 전류가 흐른다.

ㄷ. 전류가 흐를 때 양공과 자유 전자는 각각 접합면으로 이동하여 결합한다.

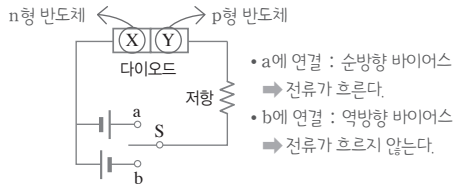
▣ **바로알기** ▣ ㄱ. n형 반도체의 주요 전하 나르개는 전자이다.

18 ㄱ. B는 남는 전자가 전하 나르개 역할을 하므로 n형 반도체이다. 따라서 A는 p형 반도체이다.

ㄴ. p형 반도체인 A에 전지의 (+)극이 연결되어 있으므로 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.

▣ **바로알기** ▣ ㄷ. 전류는 전지의 (+)극에서 나와 (-)극으로 흐르므로 저항에서 전류는 왼쪽 방향으로 흐른다.

19 **문제 분석**



규소에 원자가 전자가 3개인 붕소를 도핑하여 만든 Y는 p형 반도체이므로 X는 n형 반도체이다. 따라서 저항에 전류가 흐르기 위해서는 Y에 전지의 (+)극이 연결되어야 하므로 스위치 S를 a에 연결해야 한다.

모범답안 (1) n형 반도체 (2) a, 전류가 흐르기 위해서는 Y에 전지의 (+)극이 연결되어야 하기 때문이다.

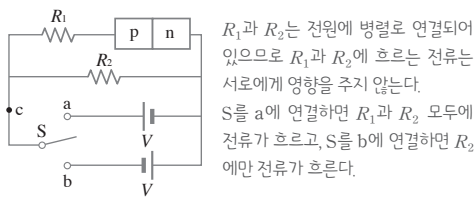
채점 기준	배점
(1) 반도체의 종류를 옳게 쓴 경우	50 %
(2) a를 고르고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	50 %
a만 옳게 고른 경우	20 %

20 ㄴ. 발광 다이오드에 전류가 흐르기 위해서는 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면으로 이동해야 한다.

바로알기 ㄱ. p형 반도체가 전지의 (+)극에 연결되어야 하므로 단자 a는 (+)극이다.

ㄷ. 발광 다이오드에서 방출되는 빛의 파장은 띠 간격에 의해서 정해진다. 전압을 증가시키면 전류가 많이 흐르므로 방출되는 빛의 세기가 증가한다.

21 **문제 분석**



ㄱ. S를 b에 연결하면 다이오드에 역방향 전압이 걸리므로 다이오드에 직렬 연결된 R_1 에는 전류가 흐르지 않는다.

ㄴ. c에 흐르는 전류의 세기는 R_1 과 R_2 에 흐르는 전류의 세기의 합과 같다. S를 a에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸려 R_1 에도 전류가 흐르므로 b에 연결했을 때보다 c에 흐르는 전류의 세기가 커진다.

바로알기 ㄷ. R_2 에는 스위치 연결 방법과 관계없이 동일한 전압이 걸리므로 R_2 에 흐르는 전류의 세기는 S를 a에 연결할 때와 b에 연결할 때가 같다.

중단원 핵심 정리

170쪽~171쪽

- ① 보어 ② 전기력 ③ (+) ④ 알파(α) ⑤ 척력 ⑥ 인력
 ⑦ 비례 ⑧ 반비례 ⑨ 커진다 ⑩ 연속 ⑪ 방출 ⑫ 흡수
 ⑬ 크다 ⑭ hc ⑮ 자외선 ⑯ 적외선 ⑰ 절연체 ⑱ 반도체
 ⑲ 크다 ⑳ 역수 ㉑ 양공 ㉒ 전자 ㉓ 순방향

중단원 마무리 문제

172쪽~175쪽

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

01 ㄴ. 러더퍼드 원자 모형은 알파 입자 산란 실험을 통해 제안되었으며, 원자핵을 중심으로 전자가 임의의 궤도에서 원운동하는 모형이다. 원자핵은 원자 질량의 대부분을 차지하며 원자의 대부분은 빈 공간이다.

ㄷ. 보어 원자 모형은 원자핵을 중심으로 전자가 양자화된 특정한 궤도에서만 원운동하는 모형이다.

바로알기 ㄱ. 톰슨 원자 모형은 (+)전하의 바다인 원자에 (-)전하를 띤 전자가 균일하게 박혀 있는 모형이다. 전자의 위치를 확률로만 알 수 있다는 모형은 현대의 원자 모형이다.

02 ①, ② 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있으며, 양성자에 의해 (+)전하를 띤다.

④ 양성자의 전하량은 전자의 전하량과 같고 원자 번호가 6인 원소의 원자핵은 양성자가 6개 들어 있으므로 전하량이 $6e$ 이다.

⑤ 원자가 전기적으로 중성인 이유는 양성자의 수와 전자 수가 같기 때문이다.

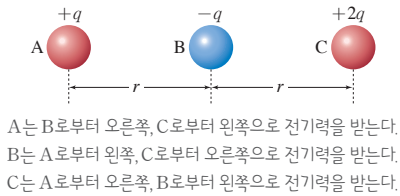
바로알기 ③ 전자는 전기력에 의해 원자에 속박되어 있다. 원자핵과 전자 사이의 중력은 전기력에 비하면 매우 작다.

03 ㄱ. 알파 입자 산란 실험으로 원자 내부가 대부분 빈 공간임이 알려졌는데 이를 통해 원자의 중심에 원자핵이 존재한다는 것이 밝혀졌다.

ㄴ. 원자 내부가 대부분 빈 공간이기 때문에 대부분의 알파 입자는 산란되지 않고 직진한다.

바로알기 ㄷ. 알파 입자는 (+)전하를 띠며, 알파 입자가 원자핵에 접근하면 (+)전하를 띤 원자핵으로부터 전기적인 척력을 받기 때문에 산란된다. 알파 입자는 전자에 비해 질량이 매우 크기 때문에 전자와 충돌해도 산란되지 않는다.

04 **문제 분석**



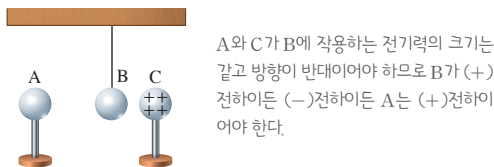
오른쪽 방향의 전기력을 (+)로 하여 A, B, C가 받는 전기력을 구하면 다음과 같다.

$$F_A = \frac{kq^2}{r^2} - \frac{k \cdot 2q^2}{(2r)^2} = \frac{kq^2}{2r^2}, \quad F_B = -\frac{kq^2}{r^2} + \frac{k \cdot 2q^2}{r^2} = \frac{kq^2}{r^2},$$

$$F_C = \frac{k \cdot 2q^2}{(2r)^2} - \frac{k \cdot 2q^2}{r^2} = -\frac{3kq^2}{2r^2} \text{ 따라서 전기력의 크기의 비는}$$

$$\frac{1}{2} : 1 : \frac{3}{2} = 1 : 2 : 3 \text{이다.}$$

05 **문제 분석**



ㄱ. B가 A, C로부터 전기력을 받아 정지해 있으므로 B가 (+) 전하이든 C에 의해 왼쪽으로 밀려나지 않도록 A가 (+)전하이여야 하고, B가 (-)전하인 경우에도 C에 끌려가지 않으려면 A는 (+)전하이여야 한다.

▮ **바로알기** ▮ 나. A, C가 모두 (+)전하를 띠므로 A, C 사이에는 서로 미는 전기력이 작용한다.

다. B로부터 떨어진 거리는 A가 C보다 크고 전기력의 크기는 같으므로 전하량은 A가 C보다 크다.

06 나. 원자핵으로부터 멀어질수록 쿨롱 법칙에 따라 전자가 받는 전기력의 크기는 작아진다.

다. 원자핵에 가까운 전자일수록 큰 전기력을 받으므로 원자핵으로부터 분리시키는 데 필요한 에너지가 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 무한히 먼 곳에서의 에너지가 0이므로 속박된 전자의 에너지는 0보다 작다.

07 ㄱ, 나. (나)는 연속 스펙트럼 중 특정한 파장의 빛만 검은 색 선으로 나타내므로 흡수 스펙트럼이고, 검은색 선의 위치는 기체가 고온일 때 방출하는 파장과 동일하며 기체의 종류에 따라 고유한 위치를 갖는다.

▮ **바로알기** ▮ 다. (가)에서 저온의 기체를 제거하면 백열등의 연속 스펙트럼이 나타난다.

08 다. 고온의 기체에서 방출되는 빛이 선 스펙트럼으로 나타나는 까닭은 원자의 에너지 준위가 불연속적이기 때문이다. 에너지 준위가 불연속적이면 전자가 전이할 때 방출하는 광자의 에너지와 그에 따른 파장도 불연속적이기 때문에 특정한 파장의 빛만 나타난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 빛의 진동수는 파장에 반비례하므로 a가 b보다 크다.

나. 선 스펙트럼은 러더퍼드 원자 모형으로는 설명할 수 없고, 보어 원자 모형으로 설명할 수 있다.

09 ㄱ. 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자의 에너지는 두 궤도의 에너지 준위 차이와 같으므로 $E_1 = E_2$ 이다.

다. 전자가 $n=2$ 에서 $n=3$ 인 궤도로 전이할 때 흡수하는 광자의 에너지는 $n=1$ 과 $n=3$ 인 궤도의 에너지 준위 차이(E_3)에서 $n=1$ 과 $n=2$ 인 궤도의 에너지 준위 차이(E_2)를 뺀 값과 같다.

▮ **바로알기** ▮ 나. 전자가 전이할 때 흡수하는 빛의 파장은 에너지 준위 차이가 작을수록 길다. 따라서 빛의 파장은 ㉠이 ㉡의 경우보다 길다.

10 ㄱ. A의 에너지가 가장 작고, 라이먼 계열이므로 A, B, C는 각각 순서대로 $n=2$, $n=3$, $n=4$ 인 궤도에서 $n=1$ 인 궤도로 전자가 전이할 때 방출된 것이다.

나. 광자의 에너지는 파장에 반비례하므로 광자의 에너지가 가장 큰 것은 파장이 가장 짧은 C이다.

다. 양자수 n 에 따른 에너지 준위를 E_n 이라고 하면 $E_2 = \frac{E_1}{4}$,

$E_4 = \frac{E_1}{16}$ 이고, A, C의 진동수를 f_A, f_C 라고 하면, 진동수는 에너지 준위의 차이에 비례하므로 $f_A : f_C = |E_2 - E_1| : |E_4 - E_1|$
 $= \frac{3E_1}{4} : \frac{15E_1}{16} = 4 : 5$ 이다.

11 ① ㉠에서 방출되는 광자의 에너지가 가장 작으므로 파장이 가장 길다. 따라서 ㉠에 의해 나타나는 것은 c이다.

②, ③ 발머 계열에 해당하는 스펙트럼이므로 a~c는 가시광선 영역이며, 파장이 짧을수록 광자의 에너지가 크다.

⑤ 전자가 다른 궤도로 전이를 하지 않으면 에너지가 변하지 않으므로 빛이 방출되지 않는다.

▮ **바로알기** ▮ ④ a, b, c는 각각 ㉡, ㉢, ㉠에 의해 방출된 것이다. $n=2$, $n=3$, $n=4$, $n=5$ 에서 에너지 준위를 각각 E_2, E_3, E_4, E_5 라고 하면 ㉢과 ㉠의 에너지 준위 차이의 합 $|E_3 - E_2| + |E_4 - E_2|$ 는 ㉡의 에너지 준위의 차이 $|E_5 - E_2|$ 보다 크므로 b와 c의 진동수의 합은 a의 진동수보다 크다.

12 ㄱ. 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 A가 B보다 크므로 A는 절연체이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. B는 도체이고 실온에서 도체는 원자가 띠에서 전도띠로 전이한 전자가 많으므로 원자가 띠에 양공도 많다.
ㄷ. 전도띠는 원자가 띠보다 에너지 준위가 높으므로 전도띠에 있는 전자의 에너지는 원자가 띠에 있는 전자의 에너지보다 크다.

13 ① 전도띠와 원자가 띠에는 전자가 존재할 수 있으므로 허용된 띠이다.

② 고체에서는 한 원자 주위에 인접한 원자의 수가 매우 많으므로 원자가 띠 내에서 에너지 준위는 연속적이라고 볼 수 있다.

③ 반도체의 띠 간격은 도체보다 크고 절연체보다 작다. 도체에서는 띠 간격이 없다.

⑤ 전도띠는 전자가 채워지지 않았으므로 전도띠로 전이된 전자는 자유롭게 움직일 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 반도체는 온도가 낮을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기 어려우므로 원자가 띠에 양공의 수가 적어진다.

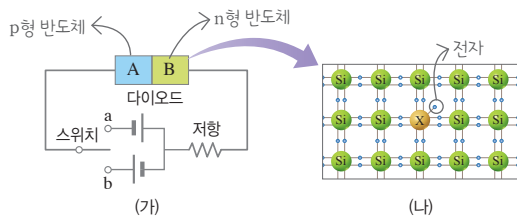
14 ㄴ. (나)는 p형 반도체로 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. (가)는 비소를 첨가한 후 남은 전자가 있으므로 n형 반도체이다.

ㄷ. (나)에서 붕소 원자는 전자 3개만 주변의 저마늄 원자와 공유 결합을 하고 양공 1개를 생성하므로 원자가 전자가 3개이다.

15 p형 반도체는 불순물을 첨가한 후 양공이 전자보다 많아지므로 (+)전하와 같은 역할을 하는 양공이 전하 나르개이고, n형 반도체는 불순물을 첨가한 후 전자가 양공보다 많아지므로 (-)전하인 전자가 전하 나르개이다.

16 **문제 분석**



- 스위치를 a에 연결하면 다이오드에는 역방향 전압이 걸린다.
- 스위치를 b에 연결하면 다이오드에는 순방향 전압이 걸린다.

ㄱ. X는 원자가 전자가 5개이므로 B는 n형 반도체이다. 따라서 A는 p형 반도체이므로 A에 첨가한 불순물의 원자가 전자는 3개이다.

ㄷ. 스위치를 b에 연결하면 다이오드에 순방향 전압이 걸리므로 A와 B의 접합면에서 전자와 양공이 결합하면서 전류가 흐른다.

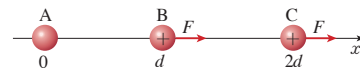
▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (가)에서 스위치를 a에 연결하면 다이오드에 역방향 전압이 걸리므로 전류가 흐르지 않는다.

17 ㄱ. 회로에 전류가 흐르고 ㉠이 있는 반도체에 전지의 (-)극이 연결되어 있으므로 ㉠이 있는 반도체는 n형 반도체이고 ㉡이 있는 반도체는 p형 반도체이다. 따라서 ㉠은 전자이고, ㉡은 양공이다.

ㄴ. 전류는 전지의 (+)극에서 (-)극으로 흐르므로 저항 R에서 전류의 방향은 $b \rightarrow R \rightarrow a$ 이다.

ㄷ. 반도체의 온도를 높이면 전도띠에 전자가 많아져 전기 저항이 작아지므로 전류의 세기가 증가한다.

18 **문제 분석**



B는 C에 의해 $-x$ 방향으로 전기력을 받지만 합성 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 B에 $+x$ 방향으로 전기력을 작용해야 한다. 따라서 A는 (+)전하이다.

▮ **모범답안** B가 받는 전기력의 방향이 $+x$ 방향이므로 A는 (+)전하를 띤다. A의 전하량을 Q라고 하면 $\frac{kQq}{d^2} - \frac{kq^2}{d^2} = F$, $\frac{kQq}{4d^2} + \frac{kq^2}{d^2} = F$ 에서 $Q = \frac{8}{3}q$ 이다.

채점 기준	배점
A의 전하량을 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
A의 전하량만 옳게 쓴 경우	50 %

19 ▮ **모범답안** $\lambda_1 < \lambda_2$ 이다. $n=1$ 과 $n=2$ 인 상태 사이의 에너지 차이가 $n=2$ 와 $n=3$ 인 상태 사이의 에너지 차이보다 큰데, 방출하거나 흡수하는 빛의 파장은 에너지 차이에 반비례하기 때문이다.

채점 기준	배점
λ_1, λ_2 의 크기를 비교하고 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
λ_1, λ_2 의 크기만 옳게 비교한 경우	30 %

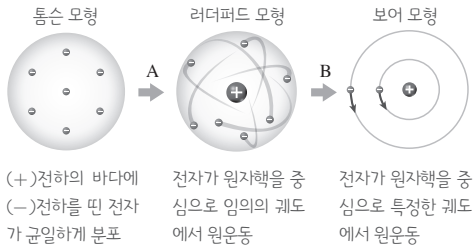
20 ▮ **모범답안** (1) (가) 절연체, (나) 반도체, (다) 도체

(2) (다) > (나) > (가). 원자가 띠와 전도띠 사이의 띠 간격이 좁을수록 실온에서 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기가 쉽다. 따라서 띠 간격이 없는 (다)의 전기 전도성이 가장 크고, 띠 간격이 가장 넓은 (가)가 전기 전도성이 가장 작다.

채점 기준		배점
(1)	(가)~(다)를 옳게 쓴 경우	40 %
	(가)~(다) 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	20 %
(2)	전기 전도성을 비교하고, 그 까닭을 제시 단어를 포함하여 옳게 서술한 경우	60 %
	전기 전도성만 옳게 비교한 경우	30 %

- 1 ③ 2 ③ 3 ① 4 ④ 5 ④ 6 ⑤ 7 ② 8 ①
9 ③ 10 ① 11 ② 12 ⑤ 13 ③ 14 ② 15 ①
16 ④ 17 ① 18 ② 19 ④ 20 ⑤

1 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ 알파(α) 입자 산란 실험에서 일부 알파 입자가 큰 각도로 산란되는 것은 A에 해당한다.
- ㉡ 수소 원자에서 선 스펙트럼이 나타나는 것은 B에 해당한다.
- ㉢ 세 원자 모형 모두 원자핵을 원자의 구성 입자로 본다.
러더퍼드 원자 모형과 보어 원자 모형

전략적 풀이 ① 각각의 원자 모형이 제시된 까닭이나 실험을 이해한다.

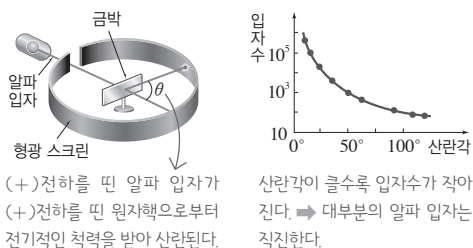
ㄱ. 알파 입자 산란 실험을 통해 원자핵이 발견되었고 이를 통해 제안된 원자 모형이 러더퍼드 원자 모형이다.

ㄴ. 러더퍼드 원자 모형으로는 불연속적으로 나타나는 수소의 선 스펙트럼을 설명할 수 없어 보어 원자 모형이 나왔다.

② 각각의 원자 모형의 특징을 비교하여 이해한다.

ㄷ. 통슨 원자 모형에서는 원자핵이 나타나지 않고, (+)전하를 띤 원자의 바다에 전자가 균일하게 분포한다고 설명하였다.

2 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ 원자핵은 (+)전하를 띠고 있다.
- ㉡ 원자핵의 질량은 전자의 질량에 비해 매우 크다.
- ㉢ 원자에 속박된 전자의 에너지는 불연속적이다.
알 수 없다.

전략적 풀이 ① 알파 입자 산란 실험의 원리를 이해한다.

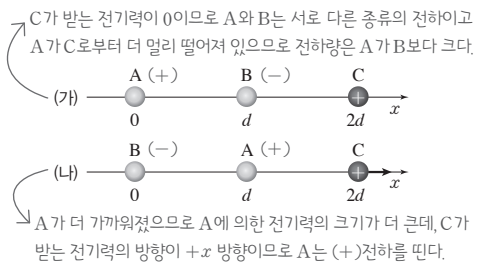
ㄱ. (+)전하를 띤 알파 입자가 산란되는 까닭은 (+)전하를 띤 원자핵으로부터 전기적인 척력을 받기 때문이다.

ㄷ. 알파 입자 산란 실험을 통해 전자의 에너지가 불연속적이라는 것을 확인할 수는 없다.

② 그래프의 의미를 해석한다.

ㄴ. 대부분의 알파 입자가 직진하는 까닭은 원자 내부가 대부분 빈 공간이고 전자와 충돌하더라도 전자의 질량이 매우 작기 때문이다.

3 **문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ A는 (+)전하를 띤다.
- ㉡ 전하량은 A가 B의 2배이다. 4
- ㉢ (나)에서 A가 받는 전기력의 방향은 +x 방향이다. -x

전략적 풀이 ① C가 받는 전기력이 0이라는 조건으로부터 A와 B의 전하의 종류를 알아낸다.

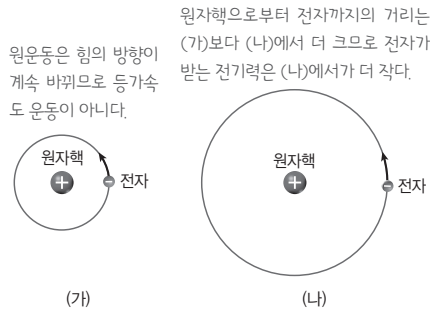
ㄱ. A와 B는 서로 다른 종류인데 (나)에서 C가 받는 전기력이 +x 방향이므로 A는 (+)전하를 띠고 B는 (-)전하를 띤다.

ㄷ. B는 (-)전하이므로 C는 (+)전하이므로 (나)에서 A는 B에 의해 -x 방향으로, C에 의해서도 -x 방향으로 전기력을 받는다.

② 전하량을 비교하기 위해 쿨롱 법칙을 적용한다.

ㄴ. 쿨롱 법칙에 따르면 두 전하 사이에 작용하는 전기력의 크기는 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 로 두 전하의 전하량의 곱에 비례하고 거리 제곱에 반비례한다. (가)에서 C로부터 거리는 A가 B의 2배이므로 C가 받는 전기력이 0이 되려면 쿨롱 법칙에 따라 전하량은 A가 B의 4배이어야 한다.

4 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

✗ (가)에서 전자는 등가속도 운동을 한다.
가속도

ㄱ 전자의 에너지는 (가)보다 (나)에서 더 크다.

ㄷ 전자가 원자핵으로부터 받는 전기력의 크기는 (나)보다 (가)에서 더 크다.

전략적 풀이 1 등가속도 운동의 조건을 이해한다.

ㄱ. 전자가 원운동하는 동안 전기력의 방향이 계속 변하므로 가속도의 방향도 계속 변한다. 따라서 전자는 가속도의 방향이 변하는 가속도 운동을 한다.

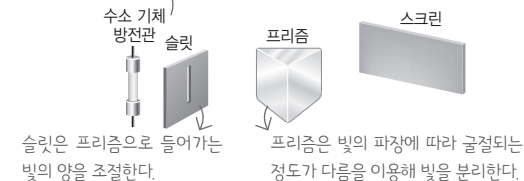
2 원자핵으로부터의 거리에 따라 전자가 받는 전기력과 에너지가 어떻게 달라지는지 이해한다.

ㄴ. 전자의 에너지는 원자핵으로부터 분리되기 쉬울수록, 즉 원자핵으로부터 멀어질수록 커진다.

ㄷ. 전자가 받는 전기력의 크기는 원자핵으로부터의 거리 제곱에 반비례한다.

5 **꼭꼭** 문제 분석

수소 기체 방전관에서는 특정한 파장의 빛만 방출된다.



선택지 분석

ㄱ 스크린에는 선 스펙트럼이 나타난다.

✗ a~c 중 진동수가 가장 큰 빛은 a이다. c

ㄷ 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장이 짧다.

전략적 풀이 1 광원에 따른 스펙트럼의 종류를 구분한다.

ㄱ. 수소 기체 방전관에서는 특정한 파장의 빛만 방출되므로 스크린에는 선 스펙트럼이 나타난다.

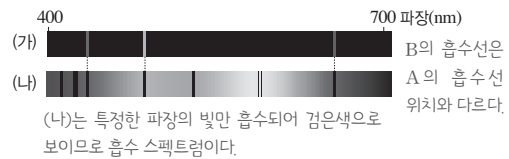
2 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

ㄴ. 진동수는 광자의 에너지에 비례하므로 c가 가장 크다.

ㄷ. $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$ 에서 광자 1개의 에너지가 클수록 빛의 파장은 짧다.

6 **꼭꼭** 문제 분석

(가)는 특정한 파장의 빛만 보이므로 방출 스펙트럼이다.



선택지 분석

ㄱ A, B는 서로 다른 종류의 기체이다.

ㄴ 백열등에서 방출되는 빛은 연속 스펙트럼이다.

ㄷ A가 저온일 때 흡수하는 빛의 파장은 A가 고온일 때 방출하는 빛의 파장과 같다.

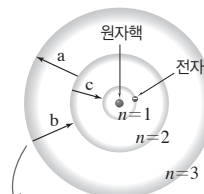
전략적 풀이 1 방출 스펙트럼과 흡수 스펙트럼의 의미를 알고 그 관계를 이해한다.

ㄱ. (나)에서 A의 흡수선과 다른 위치에 흡수선이 나타났으므로 B는 A와 다른 종류의 기체이다.

ㄴ. (나)에서 흡수선을 제외하면 백열등에서 방출되는 빛은 연속 스펙트럼이라는 것을 알 수 있다.

ㄷ. (가)의 방출선의 위치와 (나)의 흡수선의 위치가 같으므로 저온의 A는 고온일 때 방출하는 파장의 빛만 흡수한다는 것을 알 수 있다.

7 **꼭꼭** 문제 분석



a에서는 에너지를 흡수하고, b와 c에서는 에너지를 방출한다.

양자수(n)	에너지
1	-13.6 eV
2	-3.4 eV
3	-1.5 eV

양자수가 클수록 전자의 에너지가 커진다.

선택지 분석

- ✗ a에서 전자는 3.4 eV의 에너지를 흡수한다. 1.9 eV
- 방출되는 빛의 진동수는 b보다 c에서 더 크다.
- ✗ 전자를 원자핵으로부터 분리시키는 데 필요한 에너지는 전자가 $n=2$ 인 상태에 있을 때가 $n=1$ 인 상태에 있을 때보다 크다. 작다

▶ 전략적 풀이 ① 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 에너지를 구한다.

ㄱ. a는 전자가 $n=2$ 에서 $n=3$ 인 상태로 전이하는 것이므로 흡수하는 에너지는 $|-1.5 - (-3.4)| = 1.9(\text{eV})$ 이다.

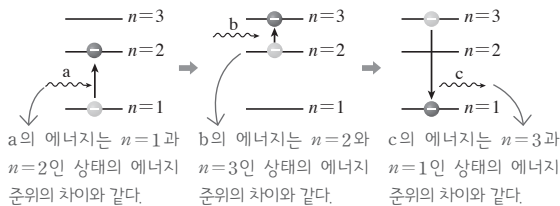
ㄴ. 방출되는 빛의 진동수는 방출되는 에너지에 비례한다. b에서 방출되는 에너지는 $|-3.4 - (-1.5)| = 1.9(\text{eV})$ 이고, c에서 방출되는 에너지는 $|-13.6 - (-3.4)| = 10.2(\text{eV})$ 이다.

② 양자수에 따른 전자의 안정성을 이해한다.

ㄷ. 양자수가 작을수록 에너지가 작고(음의 값) 안정하므로 전자를 원자핵으로부터 분리시키는 데(에너지를 0으로 만드는 데) 더 큰 에너지가 필요하다.

8 꼬꼬 문제 분석

빛의 진동수는 광자의 에너지에 비례하며, 광자의 에너지는 에너지 준위의 차이와 같다.



선택지 분석

- $f_c = f_a + f_b$ 이다.
- ✗ 파장은 a가 b보다 길다. 짧다
- ✗ 바닥상태의 수소 원자에 b, a를 차례대로 비추면 전자가 $n=3$ 인 상태로 전이한다. 하지 못한다

▶ 전략적 풀이 ① 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

ㄱ. 광자의 에너지는 에너지 준위의 차이와 같고, 빛의 진동수는 광자의 에너지에 비례하므로 $f_c = f_a + f_b$ 가 성립한다.

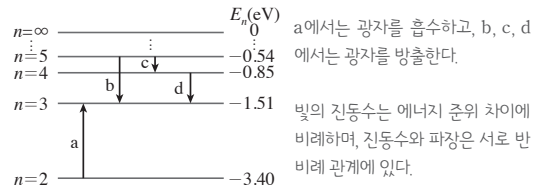
ㄴ. 에너지 준위의 차이는 $n=1$ 과 $n=2$ 사이가 $n=2$ 와 $n=3$ 사이보다 크다. 따라서 a의 에너지가 b의 에너지보다 크므로 파장은 a가 b보다 짧다.

② 흡수한 에너지에 따른 전자의 전이 여부를 파악한다.

ㄷ. 바닥상태의 수소 원자에 b를 먼저 비추면 b의 에너지가

$n=1$ 과 $n=2$ 사이의 에너지 준위 차이보다 작으므로 $n=2$ 인 상태로 전이할 수 없다.

9 꼬꼬 문제 분석



선택지 분석

- a에서 흡수되는 광자 1개의 에너지는 1.89 eV이다.
- ✗ b~d 중 방출되는 빛의 파장이 가장 긴 경우는 b이다. c
- c에서 방출되는 빛의 진동수와 d에서 방출되는 빛의 진동수의 합은 b에서 방출되는 빛의 진동수와 같다.

▶ 전략적 풀이 ① 전자가 전이할 때 흡수하거나 방출하는 광자의 에너지를 구한다.

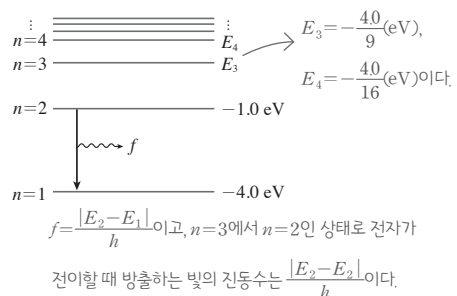
ㄱ. a에서 흡수되는 에너지는 $n=2$ 와 $n=3$ 인 상태의 에너지 준위의 차이와 같으므로 $-1.51 - (-3.40) = 1.89(\text{eV})$ 이다.

② 광자의 에너지와 진동수 및 파장의 관계를 이해한다.

ㄴ. b~d 중 방출되는 빛의 파장이 가장 긴 경우는 에너지 준위 차이가 가장 작은 c이다.

ㄷ. 방출되는 빛의 진동수는 에너지 준위 차이에 비례한다. b에서의 에너지 준위 차이는 c에서의 에너지 준위 차이와 d에서의 에너지 준위 차이의 합과 같다.

10 꼬꼬 문제 분석

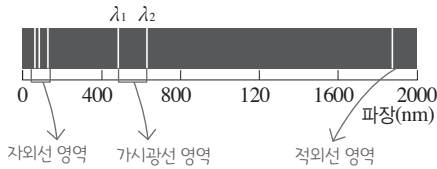


▶ 전략적 풀이 ① E_1 을 이용하여 양자수에 따른 에너지 준위 값을 구한다.

$E_2 = \frac{E_1}{4}$, $E_3 = \frac{E_1}{9}$ 이고, $f = \frac{|E_2 - E_1|}{h} = \frac{3E_1}{4h}$ 이다. 따라서 $n=3$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출하는 빛의 진동수는 $\frac{|E_3 - E_2|}{h} = \frac{5E_1}{36h} = \frac{5}{27}f$ 이다.

11 **문제 분석**

λ_1, λ_2 는 가시광선 영역이므로 발머 계열에 해당한다. 발머 계열은 양자수가 2인 상태로 전자가 전이할 때 방출된다.



선택지 분석

✕ $N=5$ 이다. 4

○ λ_1, λ_2 는 전자가 양자수가 2인 상태로 전이할 때 방출한 빛의 파장이다.

✕ 바닥상태의 전자는 파장이 λ_1 인 빛을 흡수할 수 있다. **없다**

▶ **전략적 풀이** ① 스펙트럼선의 수에 따라 가장 높은 에너지 준위의 양자수를 구하고 전자의 전이에 따라 흡수할 수 있는 파장을 이해한다.

ㄱ. 스펙트럼선이 모두 6개이므로 $n=1$ 인 상태로 전이한 것이 3개, $n=2$ 인 상태로 전이한 것이 2개, $n=3$ 인 상태로 전이한 것이 1개이다. 따라서 $N=4$ 이다.

ㄴ. λ_1 은 전자가 $n=4$ 에서 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출한 빛의 파장이다. 따라서 바닥상태의 전자가 최소한 $n=2$ 인 상태로 전이하기 위해서는 λ_1 보다 짧은 파장의 빛을 흡수해야 한다.

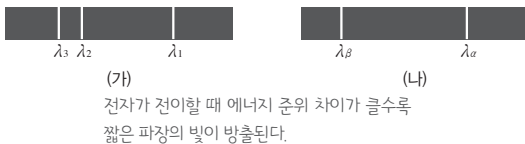
② 스펙트럼 선들이 어떤 계열에 해당하는지 이해한다.

ㄴ. λ_1, λ_2 는 가시광선 영역이므로 발머 계열의 파장에 해당한다. 발머 계열은 $n=2$ 인 상태로 전이할 때 방출된다.

12 **문제 분석**

라이먼 계열은 양자수가 1인 상태로 전자가 전이할 때 방출된다.

발머 계열은 양자수가 2인 상태로 전자가 전이할 때 방출된다.



선택지 분석

○ 광자 1개의 에너지가 가장 작은 빛의 파장은 λ_a 이다.

○ $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_\beta} = \frac{1}{\lambda_3}$ 이다.

○ $\lambda_a : \lambda_\beta = 27 : 20$ 이다.

▶ **전략적 풀이** ① 각 스펙트럼선에 대응되는 전자의 전이를 찾고 광자의 에너지와 파장의 관계를 적용한다.

ㄱ. 광자 1개의 에너지가 가장 작은 빛은 파장이 가장 긴 빛이다. λ_a 가 파장이 가장 길다.

ㄴ. λ_1 은 $n=2$ 에서 $n=1$ 로, λ_β 는 $n=4$ 에서 $n=2$ 로, λ_3 은 $n=4$ 에서 $n=1$ 로 전자가 전이할 때 방출된 빛의 파장이다. 앞의 두 전이에서 방출되는 빛의 진동수의 합이 뒤의 전이에서 방출되는 빛의 진동수와 같으므로 $f_1 + f_\beta = f_3$ 이고, 파장은 진동수에 반비례하므로 $\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_\beta} = \frac{1}{\lambda_3}$ 이 성립한다.

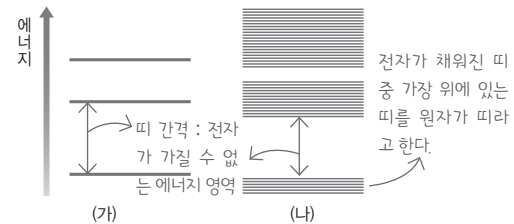
② 방출되는 광자의 파장과 에너지 준위 사이의 관계식을 이용하여 파장을 비교한다.

ㄴ. 양자수가 n 일 때 에너지 준위를 E_n 이라고 하면

$\frac{1}{\lambda_a} = \frac{|E_3 - E_2|}{hc} = \frac{5E_1}{36hc}$ 이고 $\frac{1}{\lambda_\beta} = \frac{|E_4 - E_2|}{hc} = \frac{3E_1}{16hc}$ 이다. 따라서 $\lambda_a : \lambda_\beta = 27 : 20$ 이다.

13 **문제 분석**

원자핵에서 멀수록 전자가 받는 전기력의 크기는 작아지고 전자의 에너지는 커진다.



선택지 분석

○ (가)에서 전자의 에너지는 원자핵으로부터 멀어질수록 커진다.

✕ (나)에서 전자가 채워진 에너지띠를 띠 간격이라고 한다. **원자가 띠**

○ (가)와 (나) 모두 전자가 존재할 수 없는 에너지 준위 영역이 있다.

▶ **전략적 풀이** ① 원자핵으로부터 거리에 따른 전자의 에너지를 이해한다.

ㄱ. (가)에서 원자핵으로부터 멀어질수록 전자가 받는 전기력은 작아지고 전자의 에너지는 커진다.

② 에너지띠에서 원자가 띠, 전도띠, 띠 간격의 개념을 이해한다.

ㄴ. (나)에서 전자가 채워진 띠 중 가장 위에 있는 띠를 원자가 띠라고 한다. 전도띠는 원자가 띠 바로 위의 띠이다. 띠 간격은 에너지 띠 사이의 간격이다.

ㄴ. (가)에서 전자의 에너지는 양자화되어 있고, (나)에서도 띠 간격이 있으므로 (가)와 (나) 모두 전자가 존재할 수 없는 에너지 준위 영역이 있다.

14 **문제 분석**

A에서는 에너지 띠가 완전히 채워지지 않았으므로 채워지지 않은 부분이 전도띠이고 원자가 띠와 전도 띠 사이의 띠 간격이 없다.

전도띠 띠 간격은 B가 A보다 크다.

선택지 분석

- ☒ 띠 간격은 A가 B보다 크다. **작다**
- ☒ 상온에서 양공의 수는 A가 B보다 많다.
- ☒ A는 온도가 높을수록 전기 전도성이 커진다. **작아진다**

전략적 풀이 ① A와 B의 띠 간격을 비교한다.

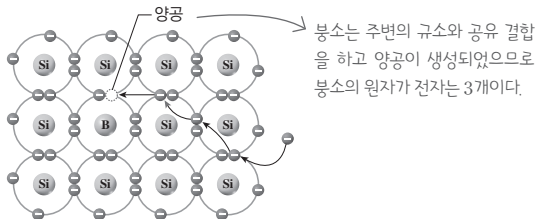
ㄱ. A는 띠 간격이 없고, B는 띠 간격이 있다.

② 띠 간격과 전기 전도성의 관계를 이해하고 도체의 전기적 특성을 이해한다.

ㄴ. 띠 간격이 좁을수록 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하기가 쉽다. 전자가 전도띠로 전이하면 원자가 띠에 양공이 생긴다.

ㄷ. A는 도체이며, 온도가 높을수록 전기 저항이 커진다.

15 **문제 분석**



선택지 분석

- ☒ p형 반도체이다.
- ☒ 주로 전자가 전류를 흐르게 한다. **양공이**
- ☒ 붕소에 의해 전도띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 만들어진다. **원자가 띠**

① 불순물의 원자가 전자의 개수를 이용하여 불순물 반도체의 종류를 이해한다.

ㄱ. 붕소의 원자가 전자는 3개이고 도핑에 의해 양공이 생성되었으므로 이 불순물 반도체는 p형 반도체이다.

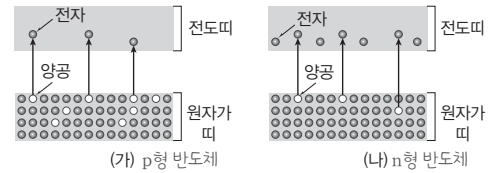
ㄴ. p형 반도체는 주로 양공이 전류를 흐르게 한다.

② 불순물이 에너지띠에 어떤 영향을 주는지 이해한다.

ㄷ. p형 반도체는 불순물에 의해 원자가 띠 바로 위에 새로운 에너지 준위가 만들어지며 원자가 띠의 전자가 이 에너지 준위로 쉽게 전이할 수 있다.

16 **문제 분석**

(가)에서 전도띠의 전자는 원자가 띠의 전자가 전이한 것이고, 원자가 띠의 양공은 전자의 전이와 불순물의 도핑에 의해서 생긴 것이다.



(나)에서 전도띠의 전자는 원자가 띠의 전자의 전이와 불순물의 도핑에 의해서 생긴 것이고, 원자가 띠의 양공은 전자의 전이에 의해서 생긴 것이다.

선택지 분석

- ☒ (가)는 n형 반도체이다. **p**
- ☒ (나)에서 양공은 전자의 전이에 의해서만 발생한다.
- ☒ (나)는 고유 반도체에 원자가 전자가 5개인 원소를 도핑해서 만든다.

① (가)와 (나)에서 양공과 전자의 수를 비교하고 양공과 전자가 발생한 원리를 이해한다.

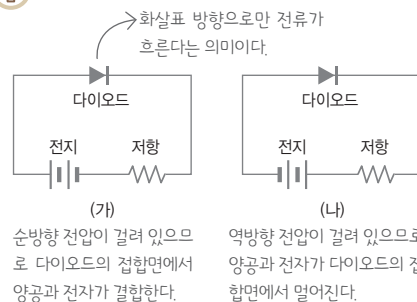
ㄱ. (가)는 양공이 자유 전자보다 많으므로 p형 반도체이다.

ㄴ. (나)는 n형 반도체이므로 원자가 띠의 양공은 전자의 전이에 의해서만 생긴다.

② p형 반도체와 n형 반도체를 만드는 원리를 이해한다.

ㄷ. (나)는 n형 반도체이므로 원자가 전자가 5개인 불순물을 도핑해서 만든다.

17 **문제 분석**



순방향 전압이 걸려 있으므로 다이오드의 접합면에서 양공과 전자가 결합한다.

역방향 전압이 걸려 있으므로 양공과 전자가 다이오드의 접합면에서 멀어진다.

선택지 분석

- ☒ (가)에서 저항에 전류가 흐른다.
- ☒ 다이오드는 전자의 이동에 의해서만 전류가 흐른다. **전자와 양공의 이동에 의해서**
- ☒ (나)의 다이오드의 접합면에서는 전자와 양공이 결합한다. **멀어진다**

❖ 전략적 풀이 ❖ ① 다이오드에 걸린 전압이 순방향인지 역방향인지 파악한다.

ㄱ. (가)에서 다이오드에 순방향 전압이 걸렸으므로 전류가 흐른다.

② 다이오드에 전류가 흐를 때와 흐르지 않을 때 양공과 전자가 어떻게 이동하는지 이해한다.

ㄴ. 다이오드는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 만들었으므로 전류가 흐를 때 전자와 양공이 함께 이동한다.

ㄷ. (나)에서 다이오드에 역방향 전압이 걸렸으므로 전자와 양공이 접합면에서 서로 멀어지므로 전류가 흐르지 않는다.

18 꼭꼭 문제 분석



❖ 선택지 분석 ❖

✕ (가)의 원자가 띠에 있는 전자의 에너지는 모두 같다.
위로 올라갈수록 크다

Ⓒ (나)에서 a를 첨가한 반도체는 n형 반도체이다.

✕ (나)에서 p-n 접합 다이오드에 순방향 전압을 걸면 p형 반도체에 있는 양공은 접합면에서 멀어진다.
으로 이동한다

❖ 전략적 풀이 ❖ ① 에너지띠 개념을 이해한다.

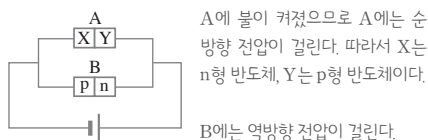
ㄱ. 에너지띠는 에너지 준위가 연속적으로 이어진 것이므로 위로 올라갈수록 에너지가 크다.

② 불순물 반도체를 구분하고 다이오드에 전류가 흐를 때 양공과 전자의 이동을 이해한다.

ㄴ. a는 원자가 전자가 5개이므로 a를 첨가한 반도체는 n형 반도체이다.

ㄷ. 다이오드에 순방향 전압을 걸면 p형 반도체의 양공과 n형 반도체의 전자가 접합면에서 결합한다.

19 꼭꼭 문제 분석



❖ 선택지 분석 ❖

✕ X는 p형 반도체이다. n

Ⓒ B는 불이 켜지지 않는다.

Ⓓ 전원 장치의 (-)극은 X에 전자를 계속 공급한다.

❖ 전략적 풀이 ❖ ① A와 B에 걸린 전압을 파악한다.

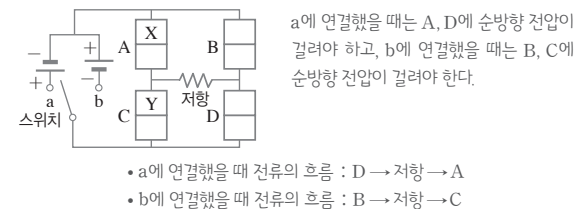
ㄱ. A에 불이 켜졌으므로 A에는 순방향 전압이 걸린다. 따라서 X는 n형 반도체이다.

ㄴ. B는 역방향 전압이 걸렸으므로 전류가 흐르지 않는다.

② 순방향 전압이 걸렸을 때 다이오드에 전류가 계속 흐르는 원리를 이해한다.

ㄷ. A에 불이 켜져 있을 때 전류가 계속 흐르므로 접합면에서 전자와 양공이 계속 결합한다. 이것은 전원 장치에서 n형 반도체에 전자를 계속 공급해 주기 때문에 가능하다.

20 꼭꼭 문제 분석



❖ 선택지 분석 ❖

Ⓙ X는 n형 반도체이다.

Ⓒ 스위치를 b에 연결했을 때, Y에서는 양공이 접합면으로 이동한다.

Ⓓ 스위치를 a에 연결했을 때와 b에 연결했을 때, 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

❖ 전략적 풀이 ❖ ① 발광 다이오드가 켜지는 원리를 파악한다.

ㄴ. 스위치를 b에 연결했을 때 B, C가 켜지므로 B, C에 전류가 흐른다. 따라서 Y는 P형 반도체이고, 양공이 접합면으로 이동한다.

② 다이오드에 순방향 전압, 역방향 전압이 걸렸을 때 전류가 흐르는 방향을 파악한다.

스위치를 a에 연결했을 때 A, D가 켜지고, 스위치를 b에 연결했을 때 B, C가 켜진다.

ㄱ. 스위치를 a에 연결하면 전지의 (-)극이 X에 연결된다. 이때 A가 켜졌으므로 X는 n형 반도체이다.

ㄷ. 스위치를 a에 연결했을 때 D → 저항 → A로, 스위치를 B에 연결했을 때 B → 저항 → C로 전류가 흐르므로 저항에 흐르는 전류의 방향은 서로 같다.

2

물질의 자기적 특성



1 전류에 의한 자기 작용

개념 확인 문제

187쪽

- ① 자기장 ② N ③ N ④ 접선 ⑤ 오른손 ⑥ 비례
⑦ 반비례 ⑧ 비례 ⑨ 반비례 ⑩ 비례 ⑪ 비례
⑫ 전자석 ⑬ 전자기 ⑭ 운동

- 1 (1) $A > B > C$ (2) → 2 A : 동쪽, B : 서쪽 3 $2B$
4 B 5 A : 서쪽, B : 동쪽, C : 서쪽 6 $\nabla, \perp, \square$

1 (1) 자기력선의 간격이 좁을수록 자기장이 세다. 따라서 자기장의 세기는 $A > B > C$ 순이다.

(2) B 지점에서 자기력선에 접선을 그으면 오른쪽 방향이다.

2 오른손 엄지손가락을 전류의 방향으로 향하게 할 때 나머지 네 손가락이 도선을 감아주는 방향이 자기장의 방향이다. 따라서 A에 있는 나침반 자침의 N극은 동쪽, B에 있는 나침반 자침의 N극은 서쪽을 가리킨다.

3 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 거리에 반비례하므로 거리가 $\frac{1}{2}$ 배가 되면 자기장의 세기는 2배가 된다.

4 시계 방향으로 전류가 흐르는 도선의 반지름이 더 작으므로 합성 자기장의 방향은 시계 방향으로 전류가 흐르는 도선에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 O에서 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

5 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서의 자기장 방향이다. 따라서 B에서 자기장의 방향은 동쪽이다. 솔레노이드 외부에서 자기장은 막대자석에 의한 자기장과 비슷하게 형성된다. 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 형성되므로 A와 C에서 자기장의 방향은 모두 서쪽이다.

6 전류계, 전자기, 스피커는 자기장 속에서 전류가 받는 힘을 이용한 장치이다. 액체 자석은 강자성체를 이용한 것이고, 마이크와 전자 기타는 전자기 유도 현상을 이용한 장치이다.

대표 자료 분석

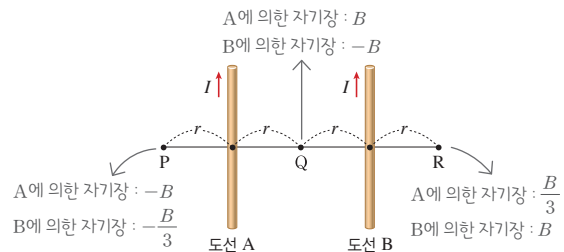
188쪽~189쪽

- 자료 1 1 (1) $\bigcirc$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$ 2 $\frac{4}{3}B$ 3 $P=R>Q$
4 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\bigcirc$
자료 2 1 종이면에서 수직으로 나오는 방향 2 $2B$ 3 B
4 (1) $\times$ (2) $\times$ (3) $\times$ (4) $\bigcirc$
자료 3 1 동쪽 2 지구 자기장의 영향을 받았기 때문이다.
3 북서쪽 4 (1) $\bigcirc$ (2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$
자료 4 1 a 2 전기 에너지 → 운동 에너지 → 소리 에너지
3 전류의 세기가 셀수록 큰 소리가 발생한다. 4 (1) $\times$
(2) $\bigcirc$ (3) $\bigcirc$ (4) $\times$

①-1 (1) A에 흐르는 전류의 방향이 위쪽이므로 P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
(2) 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 거리에 반비례하므로 A에 의한 자기장의 세기는 R에서 Q에서보다 작다.
(3) A와 B에 흐르는 전류의 세기는 같고 A와 B에서 Q까지의 거리는 같으므로 Q에서 도선 A와 B에 의한 자기장의 세기는 같고 방향은 반대이다. 따라서 Q에서 합성 자기장의 세기는 0이다.

①-2 평면으로 들어가는 자기장을 (+)로 하면 R에서 A에 의한 자기장은 $\frac{1}{3}B$ 이고, B에 의한 자기장은 B 이다. 따라서 합성 자기장은 $\frac{1}{3}B + B = \frac{4}{3}B$ 이다.

①-3 문제 분석



P, Q, R에서 합성 자기장의 세기를 각각 B_P , B_Q , B_R 라고 하면 $B_P = \left| -B - \frac{B}{3} \right| = \frac{4}{3}B$, $B_Q = 0$, $B_R = \frac{4}{3}B$ 이다. 따라서 $B_P = B_R > B_Q$ 이다.

①-4 (1) R에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 모두 종이면에 수직으로 들어가는 방향이므로 합성 자기장의 방향도 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

(2) P에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 모두 종이면에서 수직으로 나오는 방향이므로 합성 자기장의 방향도 종이면에서

수직으로 나오는 방향이다. 따라서 P와 R에서 합성 자기장의 방향은 서로 반대이다.

(3) A와 B에 흐르는 전류의 방향이 같고, A로부터 P까지의 거리와 B로부터 R까지의 거리가 같으므로 P와 R에서 합성 자기장의 세기는 같다.

2-1 (가)에서 전류의 방향인 반시계 방향으로 오른손 네 손가락을 감아주면 엄지손가락이 가리키는 방향, 즉 종이면에서 수직으로 나오는 방향이 O에서 자기장의 방향이다.

2-2 (가)의 O에서 자기장의 세기가 B인데, (나)에서 도선 B의 반지름은 도선 A의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 O에서 B에 의한 자기장의 세기는 $2B$ 이다.

2-3 (나)의 O에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 서로 반대이므로 종이면에 수직으로 들어가는 자기장의 방향을 (+)로 하면 O에서 합성 자기장은 $-B + 2B = B$ 이다.

2-4 (1) 원형 전류에 의한 자기장은 세기와 방향이 일정하지 않다.

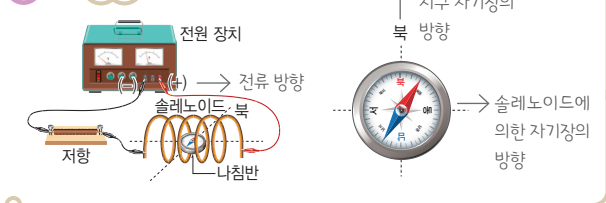
(2) (나)의 O에서 합성 자기장의 방향은 B에 의한 자기장의 방향과 같으므로 종이면에 수직으로 들어가는 방향이다.

(3) (나)에서 B에 흐르는 전류의 방향만 반대가 되면 O에서 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 같아지므로 합성 자기장의 세기는 $3B$ 가 된다.

(4) (나)에서 A에 흐르는 전류의 세기만 $2I$ 가 되면 A, B 각각에 의한 자기장은 세기가 같고 방향이 서로 반대이므로 O에서 합성 자기장의 세기는 0이 된다.

3-1 전류는 전지의 (+)극에서 나와 (-)극으로 들어간다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아주었을 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 동쪽이다.

3-2 **꼼꼼** 문제 분석



솔레노이드에 의한 자기장의 방향이 동쪽인데 자침이 북쪽을 가리키는 까닭은 지구 자기장의 방향이 북쪽이기 때문이다. 자침이 있는 곳에서 자기장은 지구 자기장과 솔레노이드에 의한 자기장이 합성되어 나타난다.

3-3 전류 장치의 단자에 연결된 도선을 서로 바꾸면 솔레노이드 내부에서 전류에 의한 자기장의 방향이 서쪽으로 바뀌므로 합성 자기장의 방향은 북서쪽이 된다.

3-4 (1) 솔레노이드에 전류가 흐르지 않으면 자침의 N극은 지구 자기장의 방향인 북쪽을 가리킨다.

(2), (3) 전압이 커지거나 저항의 길이가 짧아지면 전류의 세기가 증가하므로 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 커진다. 따라서 자침의 N극은 동쪽으로 더 회전한다.

(4) 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례하므로, 솔레노이드의 길이만 길어지면 내부 자기장의 세기가 작아지므로 자침의 회전각이 더 작아진다.

4-1 (가)에서 화살표 방향으로 전류가 흐를 때, (나)에서 보면 N극의 위쪽 코일에는 단면에 수직으로 들어가는 방향으로 전류가 흐르고 자기장은 위쪽 방향이므로 코일은 a 방향으로 자기력을 받는다.

4-2 스피커에서는 전류가 흐르는 도선이 자석에 의한 자기장으로부터 자기력을 받아 진동이 일어나면서 소리가 발생하므로 전기 에너지가 운동 에너지로, 운동 에너지가 소리 에너지로 전환된다.

4-3 전류의 세기가 셀수록 코일이 받는 자기력이 커져 진동판의 진폭이 커지므로 큰 소리가 발생한다.

4-4 (1) 코일에 직류가 흐르면 자기력의 방향이 바뀌지 않으므로 진동판이 진동하지 못한다.

(2) 자석의 세기가 셀수록 코일이 받는 자기력이 커져 진동판의 진폭이 커지므로 큰 소리가 발생한다.

(3) 코일을 많이 감을수록 자기력을 받는 코일의 길이가 길어지므로 코일이 받는 자기력이 커진다. 코일이 받는 자기력은 그대로 진동판에 전달된다.

(4) 스피커는 전류가 흐르는 도선이 자석이 만든 자기장에 의해 힘을 받는 원리를 이용한 것이다.

내신 만점 문제

190쪽~193쪽

01 ②	02 ⑤	03 8B	04 ①	05 ③	06 해설
참조	07 ③	08 ①	09 ②	10 해설	참조
11 ①	12 ⑤	13 ③	14 ③	15 ⑤	16 ④
17 ①	18 해설	참조	19 ④	20 해설	참조
				21 ②	

01 ① 자성의 근본적인 원인은 원자에 있는 전자의 스핀에 있으므로 원자 단위까지 잘라도 N극과 S극은 분리되지 않는다.

③, ④, ⑤ 자기장의 방향은 자침의 N극이 가리키는 방향으로 정했기 때문에 자기력선은 N극에서 나와 S극으로 들어가며, 자기력선의 간격이 좁을수록 자기장이 세다.

❗ **바로알기** ② 서로 같은 자극 사이에는 척력이, 서로 다른 자극 사이에는 인력이 작용한다.

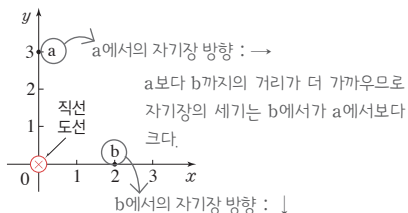
02 ㄱ. 자기력선이 P로 들어가고 Q에서 나오므로 P는 S극, Q는 N극이다.

ㄴ. 자극에 가까울수록 자기력선의 간격이 좁아지므로 자기장이 세다.

ㄷ. P와 Q는 서로 다른 극이므로 당기는 자기력이 작용한다.

03 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 거리에 반비례하므로 전류가 4배이고 거리가 $\frac{1}{2}$ 배이면 자기장의 세기는 8배가 된다.

04 **꼭꼭** 문제 분석



ㄱ. 전류가 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향으로 흐르므로 자기장의 방향은 a에서 $+x$ 방향, b에서 $-y$ 방향이다.

❗ **바로알기** ㄴ. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 거리에 반비례하므로 b에서가 a에서보다 세다.

ㄷ. a와 b에서 전류에 의한 자기장의 방향은 서로 수직이다.

05 ① 전류는 전원 장치의 (+)극에서 나와 (-)극으로 들어가므로 직선 도선에는 남쪽으로 전류가 흐른다.

② 스위치를 닫으면 지구 자기장에 의해 북쪽을 가리키던 자침의 N극은 도선 아래에 있으므로 전류에 의한 자기장의 방향인 동쪽으로 회전한다.

④ 거리가 멀수록 전류에 의한 자기장의 세기가 작아지므로 자침의 회전각이 작아진다.

⑤ 전류의 방향이 바뀌면 전류에 의한 자기장의 방향이 서쪽으로 되므로 자침의 N극은 서쪽으로 회전한다.

❗ **바로알기** ③ 가변 저항의 저항값을 감소시키면 전류의 세기가 증가하여 전류에 의한 자기장의 세기가 커지므로 자침의 회전각이 커진다.

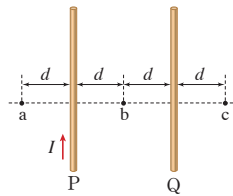
06 O에서 A에 의한 자기장은 $-x$ 방향, B에 의한 자기장은 $+x$ 방향, C에 의한 자기장은 $+y$ 방향이고, O에서 A, B 각각에 의한 자기장의 세기는 같다.

❗ **모범답안** O에서 A와 B에 의한 자기장은 서로 상쇄되므로 O에서 자기장의 방향은 C에 의한 자기장의 방향과 같다. 따라서 $+y$ 방향이다.

채점 기준	배점
O에서 자기장의 방향을 쓰고 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
O에서 자기장의 방향만 옳게 쓴 경우	50 %

07 **꼭꼭** 문제 분석

a에서 P에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이다. 따라서 a에서 자기장이 0이 되려면 Q에 의한 자기장은 $\times$ 방향이어야 하므로 Q에 흐르는 전류의 방향은 아래쪽이고 전류의 세기는 P의 3배이다.



b에서 P에 의한 자기장의 세기를 B라고 하면 b에서 P와 Q에 의한 자기장의 세기는 $B_0 = B + 3B = 4B$ 이다.

Q에 흐르는 전류의 방향은 아래쪽이고 전류의 세기는 $3I$ 이다. b에서 P에 의한 자기장의 세기를 B라고 하고, 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 하면 b에서 P와 Q에 의한 자기장은 $B_0 = 4B$ 이므로 c에서 P와 Q에 의한 자기장은 $\frac{1}{3}B - 3B = -\frac{8}{3}B$ 이다. 따라서 c에서 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$ 이다.

08 ㄱ. 평면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 (+)로 하고 a에서 A에 의한 자기장의 세기를 B라고 하면 a에서 A와 B에 의한 자기장은 $B + 3B = 4B$ 이고, c에서 A와 B에 의한 자기장은 $-B - 3B = -4B$ 이다. 따라서 a와 c에서 자기장의 세기는 같다.

❗ **바로알기** ㄴ. c에서 자기장의 방향은 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. b에서는 A보다 B에 의한 자기장의 세기가 더 크므로 b에서 자기장의 방향도 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

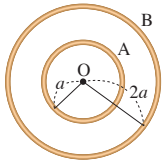
ㄷ. d에서 A와 B에 의한 자기장은 $-B + 3B = 2B$ 이다. a에서 자기장의 세기는 $4B$ 이므로 자기장의 세기는 a에서가 d에서의 2배이다.

09 ㄷ. 저항 R의 저항값을 더 작은 것으로 바꾸면 전류의 세기가 증가하므로 자기장의 세기가 증가한다.

❗ **바로알기** ㄱ. 원형 도선의 반지름이 커지면 도선의 중심에서 자기장의 세기는 감소한다.

ㄴ. 원형 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 방향과는 관계가 없다. 전류의 방향을 반대로 바꾸면 자기장의 방향이 반대로 바뀐다.

10 **문제 분석**



도선	(가)	(나)	(다)
A	$+I \times B$	$+I \times B$	$-2I \odot 2B$
B	$+2I \times B$	$-2I \odot B$	$+2I \times B$
합성 자기장	$B+B=2B$	$B-B=0$	$-2B+B=-B$

(+는 시계 방향, -는 반시계 방향)

원형 도선에 전류가 흐를 때 도선의 중심에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고 도선의 반지름에 반비례한다. 도선의 중심에서 자기장의 방향은 전류가 시계 방향일 때는 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, 전류가 반시계 방향일 때는 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

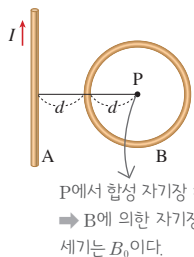
모범답안 A에 전류 $+I$ 가 흐를 때 O에서 A에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 O에서 합성 자기장은 (가)일 때 $B+B=2B$, (나)일 때 $B-B=0$, (다)일 때 $-2B+B=-B$ 이다. 따라서 합성 자기장의 세기는 (가)>(나)>(다)이다.

채점 기준	배점
자기장의 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 비교한 경우	100 %
자기장의 세기만 옳게 비교한 경우	50 %

11 ㄱ. 나침반 자침의 N극이 위쪽을 가리키므로 도선에 흐르는 전류는 b 방향으로 흘러야 한다.

바로알기 ㄴ. 원형 전류에 의한 자기장은 중심에서는 직선 모양이고, 도선에 가까울수록 원 모양으로 형성되므로 균일하지 않다. ㄷ. P에서 자침의 N극이 가리키는 방향은 도선의 중심 O에서와 반대이다.

12 **문제 분석**



P에서 A에 의한 자기장의 방향: $\otimes$
P에서 A에 의한 자기장의 세기: B_0

P에서 합성 자기장: 0
→ B에 의한 자기장의 방향은 $\odot$ 이고 세기는 B_0 이다.

ㄱ, ㄴ. P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이고, P에서 합성 자기장은 0이므로 B에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 B에는 반시계 방향으로 전류가 흘러야 한다.

ㄷ. A를 왼쪽으로 d 만큼 이동시키면 P에서 A에 의한 자기장의 세기는 $\frac{2}{3}B_0$ 이 되므로 합성 자기장은 $\frac{2}{3}B_0 - B_0 = -\frac{1}{3}B_0$ 이 된다.

13 ㄱ, ㄴ. 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 자기장을 (+)로 하면 반지름이 각각 $d, 2d, 3d$ 인 도선에 의한 O에서의 자기장은 각각 $B_0, -\frac{1}{2}B_0, \frac{1}{3}B_0$ 이다. 따라서 O에서 합성 자기장은 $B_0 - \frac{1}{2}B_0 + \frac{1}{3}B_0 = \frac{5}{6}B_0$ 이고, 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.

바로알기 ㄷ. 반지름이 $3d$ 인 도선에 흐르는 전류의 방향이 반대로 바뀌면 합성 자기장은 $B_0 - \frac{1}{2}B_0 - \frac{1}{3}B_0 = \frac{1}{6}B_0$ 이므로 방향이 바뀌지 않는다.

14 오른쪽 위에 있는 나침반 자침의 S극이 C 쪽을 향하고 있으므로 솔레노이드의 N극에 해당하는 곳은 C이다. 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향은 오른손의 네 손가락을 솔레노이드에 흐르는 전류의 방향으로 감아칠 때 엄지손가락이 가리키는 방향이므로 전류의 방향은 a이다.

15 ㄱ. 화살표 방향으로 전류를 흘려 주면 솔레노이드의 위쪽이 N극, 아래쪽이 S극이 되므로 자석의 S극과 척력이 작용하여 저울의 눈금이 증가한다.

ㄷ. 전류의 방향을 반대로 하면 솔레노이드의 아래쪽이 N극이 되어 자석과 인력이 작용하여 저울의 눈금이 감소한다.

바로알기 ㄴ. 전류의 세기가 증가하면 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 자석과 솔레노이드 사이에 척력이 증가하여 저울의 눈금이 증가한다.

16 ㄴ. 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다. 따라서 D에서 자기장의 방향은 동쪽이다.

ㄷ. 솔레노이드의 왼쪽에는 S극이 형성되고, 오른쪽에는 N극이 형성되므로 C와 E에 나침반을 놓으면 자침의 N극은 모두 동쪽을 가리킨다.

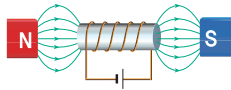
바로알기 ㄱ. 솔레노이드 외부에는 막대자석에 의한 자기장과 비슷한 자기장이 형성되며, 솔레노이드에 가까울수록 자기장이 세다. 따라서 자기장의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

17 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하고, 단위 길이당 코일의 감은 수에 비례한다. 따라서 감은 수를 N 이라고 하면 $B_{(7)} : B_{(4)} = 1 \times \frac{N}{20} : 2 \times \frac{N}{40} = 1 : 1$

$$B_{(7)} : B_{(4)} = 1 \times \frac{N}{20} : 2 \times \frac{N}{40} = 1 : 1$$

18 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드의 왼쪽에는 S극이, 오른쪽에는 N극이 형성된다.

모범답안

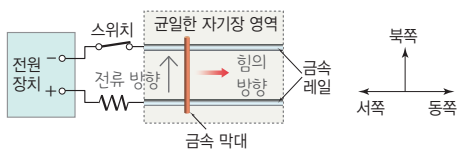


채점 기준	배점
자기력선을 방향을 포함하여 옳게 그린 경우	100 %
자기력선을 방향 표시 없이 그린 경우	50 %

19 ① 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부에서 자기장의 방향이다. 따라서 나침반이 있는 곳에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.
 ②, ③ 솔레노이드에 의한 자기장의 세기는 코일의 감은 수에 비례하고 전류의 세기에 비례한다.
 ⑤ 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 솔레노이드에 의한 자기장의 방향도 바뀐다.

바로알기 ④ 철심은 솔레노이드 내부에서 자기장의 세기를 더 강하게 해 주는 역할을 한다. 따라서 철심을 빼면 자기장의 세기가 감소한다.

20 **꼼꼼** 문제 분석



오른손을 펴서 네 손가락을 자기장 방향으로, 엄지손가락을 전류 방향으로 가리킬 때, 손바닥이 가리키는 방향이 자기력의 방향이다. 금속 막대에 흐르는 전류의 방향은 북쪽이고, 금속 막대가 받는 자기력의 방향은 동쪽이다. 자기력의 크기는 자기장이 셀수록, 전류의 세기가 셀수록, 자기장 속에 놓인 도선의 길이가 길수록 크다.

모범답안 수평면에서 수직으로 나오는 방향, 금속 막대는 더 빨리 움직인다.

채점 기준	배점
자기장의 방향과 금속 막대의 움직임을 옳게 서술한 경우	100 %
자기장의 방향과 금속 막대의 움직임 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

21 ①, ③, ④, ⑤ 전자석, 전동기, 자기 부상 열차, 자기 공명 영상 장치는 코일에 전류가 흐를 때 형성되는 자기장을 이용한 것이다.

바로알기 ② 마이크는 소리에 의해 코일이 자석 근처에서 진동하면 코일에 전류가 유도되는 현상, 즉 전자기 유도를 이용한 것이다.

02 물질의 자성

개념 확인 문제

196쪽

① 원자 자석 ② 자기화 ③ 반자성 ④ 스핀 ⑤ 상자성체
 ⑥ 반자성체 ⑦ 강자성체 ⑧ 초전도체 ⑨ 반자성

1 (1) × (2) × (3) ○ 2 (1) 시계 (2) 들어가는 3 (1) ⊕ (2) ⊙
 (3) ⊙ 4 상자성체 5 L, R 6 (1) × (2) ○

1 (1) 자성의 원인은 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀이며, 물질이 자성을 띠는 데 더 중요한 역할을 하는 것은 전자의 스핀이다.
 (2) 대부분의 물질은 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀에 의한 자기장이 0이거나 매우 작아 자성을 띠지 않는다.
 (3) 물질 내부에서 원자 하나 하나는 전자의 궤도 운동과 스핀에 의해 자기장을 형성하므로 자석과 같은 역할을 한다.

2 (1) 전류는 양(+)전하의 운동 방향으로 정한다. 전자는 음(-)전하를 띠므로 전자가 반시계 방향으로 궤도 운동을 하면 전류는 전자의 운동 방향과 반대인 시계 방향으로 흐르는 것과 같다.

(2) 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향이 중심에서 자기장의 방향이다. 따라서 네 손가락이 시계 방향일 때 엄지손가락은 종이면에 수직으로 들어가는 방향을 가리킨다.

3 (1) 강자성체는 외부 자기장에 놓이면 외부 자기장의 방향으로 강하게 자기화된다.(⊕)

(2) 상자성체는 외부 자기장에 놓이면 외부 자기장의 방향으로 약하게 자기화된다.(⊙)

(3) 반자성체는 외부 자기장에 놓이면 외부 자기장과 반대 방향으로 자기화된다.(⊙)

4 외부 자기장과 같은 방향으로 자기화되었지만 자기 구역이 없으므로 이 자성체는 상자성체이다.

5 유리 막대가 자석에 의해 밀려난 까닭은 유리 막대가 반자성체이기 때문이다. 반자성체에 해당하는 것은 구리와 물이다.

ㄱ. 니켈은 강자성체이다.

ㄴ, ㄷ. 알루미늄과 종이는 상자성체이다.

6 (1) 초전도체가 외부 자기장을 밀어내는 것은 반자성에 의한 현상이다.

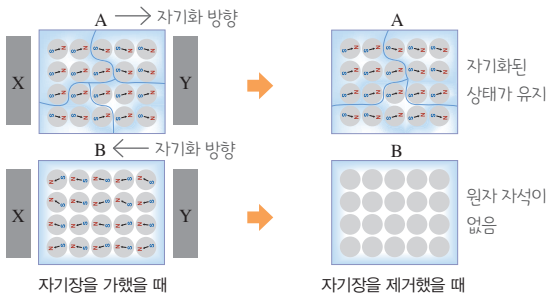
(2) 초전도체는 반자성을 가지고 있어서 외부 자기장을 가하면 외부 자기장의 방향과 반대 방향으로 자기화된다.

대표 자료 분석

197쪽

- 자료 1** 1 A : 강자성체, B : 반자성체 2 X : N극, Y : S극
3 A : 인력, B : 척력 4 (1) ○ (2) × (3) × (4) × (5) ○
- 자료 2** 1 (1) ○ (2) × (3) × 2 감소한다. 3 증가한다.
4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○ (5) ×

1-1 꼼꼼 문제 분석



A는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 유지되므로 강자성체이다. B는 외부 자기장을 제거했을 때 원자 자석이 없으므로 반자성체이다.

1-2 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되고, 반자성체는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 강자성체인 A의 원자 자석들이 자석에 의해 오른쪽으로 자기화되었으므로 X와 Y 사이에서 자석에 의한 자기장의 방향은 오른쪽이다. 따라서 X는 N극이고 Y는 S극이다.

1-3 자기장을 가했을 때 A는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 자석으로부터 인력을 받고, B는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화되므로 자석으로부터 척력을 받는다.

1-4 (1) A는 강자성체로 원자 내에 짝을 이루지 않은 전자들이 많고 원자 자석들이 같은 방향으로 정렬되어 있는 자기 구역이 있다.

(2) B는 반자성체로 원자 내에 전자들이 모두 짝을 이루어 전자의 운동에 의한 자기장이 완전히 상쇄된다.

(3) A는 외부 자기장을 가한 후 자기화된 상태가 오래 유지되지만 외부 자기장을 가하지 않아도 저절로 자기화되지는 않는다.

(4) 전자석에 이용되는 자성체는 강자성체이다.

(5) 초전도체는 B와 같이 반자성을 가지고 있어 자석을 밀어내는 성질이 있다.

2-1 (1) 두 막대 모두 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화되므로 상자성 막대의 오른쪽에 N극, 강자성 막대의 왼쪽에 S극이 형성된다. 따라서 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.

(2) a점에서 자기장의 방향은 오른쪽이다.

(3) 전류가 흐르지 않으면 강자성 막대는 자기화된 상태가 유지되고 상자성 막대는 자기화된 상태가 사라진다. 하지만 상자성 막대는 자기화되어 있는 강자성 막대에 의해 다시 자기화되면서 둘 사이에는 인력이 작용한다.

2-2 S를 열면 양쪽의 솔레노이드에 의한 자기장이 사라지고 상자성 막대와 강자성 막대에 의한 자기장만 남게 되므로 a에서 자기장의 세기는 감소한다.

2-3 상자성 막대를 강자성 막대로 바꾸면 강자성 막대는 솔레노이드가 만드는 자기장에 의해 강하게 자기화된다. 따라서 두 솔레노이드와 두 강자성 막대에 의해 a점에서 자기장의 세기는 더 세진다.

2-4 (1) 솔레노이드에 막대를 넣지 않으면 강자성 막대나 상자성 막대에 의한 자기장이 더해지지 않으므로 솔레노이드 내부 자기장의 세기가 작아진다.

(2) S를 열어도 상자성 막대는 자기화된 상태가 유지되는 강자성 막대에 의해 자기화되므로 자성을 잃지 않는다.

(3) 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오랫동안 유지된다.

(4) 전류의 세기를 증가시키면 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 a점에서 자기장의 세기가 증가한다.

(5) 전류의 방향이 바뀌면 솔레노이드에 의한 자기장의 방향이 바뀌므로 a점에서 자기장의 방향이 바뀐다.

내신 만점 문제

198쪽~199쪽

- 01 ③ 02 ⑤ 03 ⑤ 04 해설 참조 05 강자성체, N극 06 ② 07 $w_3 > w > w_2 > w_1$ 08 ③ 09 ④ 10 ② 11 ⑤

01 ① 물질의 자성은 원자핵 주위를 도는 전자의 궤도 운동과 전자의 스핀에 의해 나타난다.

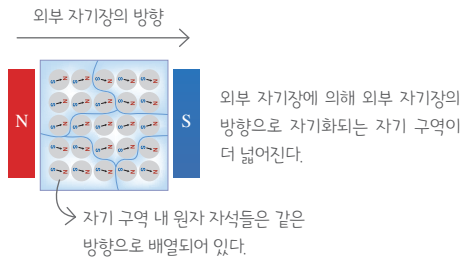
② 두 전자가 스핀이 서로 반대인 방향으로 짝을 이루면 자기장이 상쇄되므로 원자 자석의 효과가 나타나지 않는다.

④ 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 원자 자석들이 다시 무질서하게 배열되면서 자성이 사라진다.

⑤ 반자성체는 자석이 만드는 자기장의 반대 방향으로 자기화되므로 자석에 척력을 작용한다.

❗ **바로알기** ③ 강자성체는 스핀이 서로 반대인 방향으로 짝을 이루지 못하는 전자들이 많아 자성을 띠기 쉽다.

02 **꼼꼼** 문제 분석



⑤ 외부 자기장의 방향으로 자기화되면서 자기 구역이 넓어졌으므로 이 물질은 강자성체이다. 강자성체는 원자 내에 스핀이 서로 반대인 방향으로 짝을 이루지 않는 전자들이 많다.

❗ **바로알기** ① 이 물질은 강자성체이다.

② 물질의 자성은 전자의 운동에 의해 나타난다.

③ 초전도체는 반자성을 띤다.

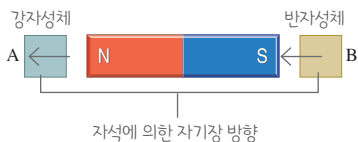
④ 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오래 유지된다.

03 **나**. 반자성체는 원자 자석이 없으므로 외부 자기장을 제거하면 자성이 바로 사라진다.

다. 반자성체는 원자 내에 스핀이 서로 반대인 전자들이 짝을 이루므로 원자 자석이 없다.

❗ **바로알기** **ㄱ**. 반자성체는 외부 자기장을 가할 때 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 반자성체의 자기화된 방향이 왼쪽이므로 외부 자기장의 방향은 오른쪽이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석



A는 자석에 의한 자기장의 방향으로 자기화되고, B는 자석에 의한 자기장의 반대 방향으로 자기화된다.

❗ **모범답안** A는 자석으로부터 오른쪽으로 인력을 받고, B는 자석으로부터 오른쪽으로 척력을 받는다.

채점 기준	배점
A, B 모두 옳게 쓴 경우	100 %
A, B 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

05 물체를 자석으로부터 분리시켜 솔레노이드 가까이 놓았을 때 자기력을 받았으므로 물체는 자기화된 후 자성을 그대로 유지한다. 따라서 물체는 강자성체이다. 또한 솔레노이드에 흐르는 전류에 의해 솔레노이드의 왼쪽에 S극이 형성되는데 물체가 인력을 받았으므로 P는 N극이다.

06 **ㄷ**. B는 상자성체이므로 (가)에서 B의 아래에 자석을 놓으면 자석이 만드는 자기장의 방향으로 약하게 자기화되면서 자석으로부터 인력을 받아 아래로 움직인다.

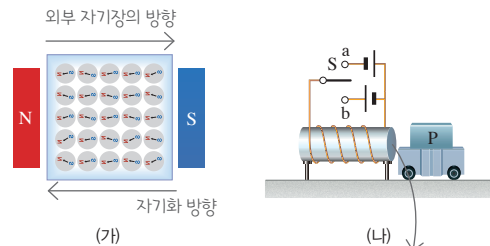
❗ **바로알기** **ㄱ**, **나**, (나)에서 A가 자석으로부터 척력을 받아 위로 운동하는 까닭은 A가 자석이 만드는 자기장의 반대 방향으로 자기화되었기 때문이다. 따라서 A는 반자성체이고, A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.

07 자속에 측정되는 값은 자석을 포함한 아크릴 관의 무게와 물체가 자석에 작용한 자기력의 합력과 같다. 강자성체와 상자성체는 자석에 인력을 작용하고, 반자성체는 자석에 척력을 작용한다.

물체	아크릴 관의 무게	자기력의 크기	저울 측정값
없음	w	없음	w
강자성체	w	f_1 (위쪽)	w_1
상자성체	w	f_2 (위쪽)	w_2
반자성체	w	f_3 (아래쪽)	w_3

아래쪽 방향의 힘을 (+)로 하면 $w_1 = w - f_1$, $w_2 = w - f_2$, $w_3 = w + f_3$ 이다. 따라서 w_3 이 가장 크고, 상자성체가 자석을 당기는 힘 f_2 는 강자성체가 자석을 당기는 힘 f_1 보다 작으므로 $w_2 > w_1$ 이다.

08 **꼼꼼** 문제 분석



솔레노이드의 오른쪽은 스위치 S를 a에 연결하면 S극이, b에 연결하면 N극이 형성된다.

ㄱ, ㄴ, (가)에서 P는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화되므로 반자성체이다. (나)에서 스위치 S를 a에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽에 S극이 형성되므로 반자성체인 P는 왼쪽이 S극이 되도록 자기화되어 솔레노이드로부터 척력을 받는다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ, (나)에서 스위치 S를 b에 연결하면 솔레노이드의 오른쪽에 N극이 형성되므로 반자성체인 P는 왼쪽이 N극이 되도록 자기화되어 솔레노이드로부터 척력을 받는다.

09 ① 전자석은 솔레노이드에 강자성체를 넣어 만든다.

② 액체 자석은 강자성체 분말을 매우 작게 만들어 액체 속에 넣고 서로 엉기지 않도록 처리하여 만든다.

③ 고무 자석은 강자성체 분말을 고무에 섞어 만든다.

⑤ 하드디스크 표면에는 강자성체인 산화 철이 코팅되어 있다.

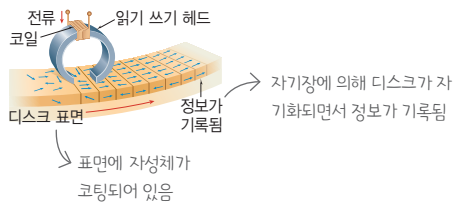
▮ **바로알기** ▮ ④ 초전도체는 반자성을 띠는데 이러한 성질을 자기 부상 열차 등에 이용한다.

10 ㄷ, 고철은 전자석에 가까이 했을 때 강하게 달라붙으므로 강자성체이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ, 액체 산소는 자석에 약하게 끌리므로 상자성체이다.

ㄴ, (나)에서 물방울이 떠 있는 까닭은 반자성체인 물이 자기장에 의해 척력을 받기 때문이다. 따라서 솔레노이드 내부에 물을 넣으면 물은 솔레노이드가 만드는 자기장과 반대 방향으로 자기화되므로 내부 자기장이 더 약해진다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ, 강자성체는 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 자기화되는 성질이 있다.

ㄷ, 하드디스크의 전원을 끄면 헤드에 흐르는 전류에 의한 자기장이 사라진다. 하지만 강자성체는 한 번 자기화되면 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 오랫동안 유지되므로 정보가 사라지지 않는다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ, 자기장에 의해 디스크가 자기화되면서 정보를 기록하고, 한 번 기록된 정보를 오래 저장하기 위해 플래터 표면은 강자성체로 코팅한다.

03 전자기 유도

개념 확인 문제

204쪽

- ① 자기 선속 ② 유도 ③ 렌츠 ④ 같은 ⑤ 미는
⑥ 기전력 ⑦ 패러데이 ⑧ 시간적 변화율 ⑨ 비례
⑩ 전기 ⑪ 마이크

- 1 ㄱ, ㄴ, ㄷ 2 $A \rightarrow R \rightarrow B$ 3 ㄱ - ㄷ, ㄴ - ㄷ 4 2000 V
5 (1) 반시계 방향 (2) $B < C$ 6 ④

1 ㄱ, ㄴ, ㄷ, 유도 전류는 막대자석이 움직이거나 코일이 움직여서 코일을 통과하는 자기 선속이 증가하거나 감소할 때 발생한다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ, 막대자석을 코일 안에 정지시켜 놓으면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 발생하지 않는다.

2 S극이 코일에 가까워지므로 자기 선속의 변화를 방해하기 위해 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 R에 흐르는 유도 전류의 방향은 $A \rightarrow R \rightarrow B$ 이다.

3 ㄱ, ㄷ, N극이 가까워질 때는 아래쪽 방향의 자기 선속이 증가하고, S극이 멀어질 때는 위쪽 방향의 자기 선속이 감소하므로 두 경우 모두 위쪽 방향의 유도 자기장이 형성된다.

ㄴ, ㄷ, N극이 멀어질 때는 아래쪽 방향의 자기 선속이 감소하고, S극이 가까워질 때는 위쪽 방향의 자기 선속이 증가하므로 두 경우 모두 아래쪽 방향의 유도 자기장이 형성된다.

4 유도 기전력(V)은 코일의 감은 수와 자기 선속의 시간적 변화율에 비례하므로 다음과 같이 구한다.

$$V = N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

$$= 200 \times \frac{1 \text{ Wb}}{0.1 \text{ s}} = 2000 \text{ V}$$

5 (1) A에서는 수직으로 들어가는 방향의 자기장의 세기가 증가하므로 도선을 통과하는 자기 선속도 증가한다. 따라서 이를 방해하기 위해 도선에는 수직으로 나오는 자기장을 형성해야 하므로 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(2) B에서는 자기장의 세기가 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 유도 전류가 흐르지 않는다. C에서는 자기장의 변화로 도선에 유도 전류가 발생하므로 유도 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.

6 ①, ②, ③ 발전기, 전자 기타, 다이내믹 마이크는 자석과 코일의 상대적인 운동에 의한 전자기 유도 현상을 이용한다.

⑤ 금속 탐지기는 두 코일에 의한 전자기 유도 현상을 이용한다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 스피커는 전류가 흐르는 도선이 자석에 의해 자기력을 받는 것을 이용한다.

대표 자료 분석

205쪽~206쪽

자료 1 1 (1) ○ (2) × 2 A → ㉔ → B 3 L 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

자료 2 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 3 : 1 3 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ○

자료 3 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 같다. 3 B : 왼쪽, D : 왼쪽 4 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) ×

자료 4 1 (1) × (2) × (3) ○ 2 운동 에너지 → 전기 에너지 3 주기적으로 변한다. 4 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ○

①-1 (1) 코일을 통과하는 자기 선속이 변하므로 코일에는 유도 전류가 흐른다.

(2) N극이 멀어지고 있으므로 이를 방해하기 위해 코일에는 자석의 N극을 당기는 방향으로 유도 자기장이 형성된다.

①-2 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성되어야 하므로 검류계에 흐르는 유도 전류의 방향은 A → ㉔ → B이다.

①-3 ㄱ, ㄷ. N극을 코일에 가까이 하거나 S극을 코일에서 멀리 하면 코일에는 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성되므로, 유도 전류가 N극이 멀어질 때와 반대 방향으로 흐른다.

ㄴ. S극을 코일에 가까이 하면 이를 방해하기 위해 코일에는 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 N극이 멀어질 때와 같은 방향으로 유도 전류가 흐른다.

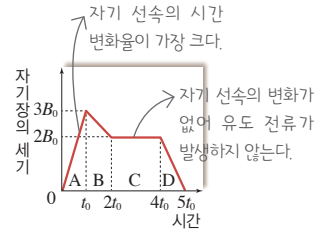
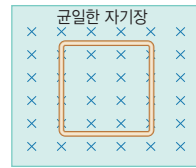
①-4 (1) 자석의 세기가 셀수록 코일을 통과하는 자기 선속의 변화량이 크므로 유도 전류의 세기도 커진다.

(2) 코일의 감은 수를 증가시키면 자기 선속의 변화량이 커지는 효과로 유도 전류의 세기가 커진다.

(3) 자석이 정지하면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(4) 자석을 코일 속에 넣어 놓으면 코일을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기지 않으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

2-1 꼼꼼 문제 분석



(1) C 구간에서는 자기장의 세기가 일정하므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기지 않아 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) 시간에 따라 자기장의 세기가 가장 크게 변하는 구간은 A이다. 따라서 A 구간에서 자기 선속의 변화율이 가장 크므로 유도 전류의 세기도 가장 크다.

(3) 도선을 통과하는 자기 선속이 A 구간에서는 증가하고 B 구간에서는 감소하므로 유도 전류는 A와 B 구간에서 서로 반대 방향으로 흐른다.

②-2 유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율에 비례한다. A 구간에서는 자기장의 세기가 t_0 동안 $3B_0$ 만큼 증가하였고, B 구간에서는 자기장의 세기가 t_0 동안 B_0 만큼 감소했다. 따라서 A 구간과 B 구간에서 자기 선속의 변화율은 3 : 1이므로 $I_A : I_B = 3 : 1$ 이다.

②-3 (1) C 구간에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) B 구간과 D 구간 모두 자기 선속이 감소하므로 도선에 흐르는 유도 전류의 방향은 같다.

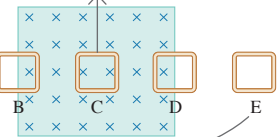
(3) A 구간에서 수직으로 들어가는 방향의 자기장이 증가하므로 이를 방해하기 위해 도선에는 수직으로 나오는 방향의 유도 자기장을 형성하도록 전류가 흘러야 한다. 따라서 도선에는 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(4) 그래프의 기울기는 자기장의 시간적 변화율과 같다. 유도 전류는 자기 선속의 시간적 변화율에 비례하는데 자기 선속의 변화는 자기장의 변화에 비례하므로 유도 전류의 세기는 그래프의 기울기에 비례한다.

3-1 꼼꼼 문제 분석

도선을 통과하는 자기 선속이 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

균일한 자기장 영역 내에서 운동할 때는 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 없다. 유도 전류가 흐르지 않는다.



- (1) C에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 0이다.
 (2) 도선을 통과하는 자기 선속이 B에서는 증가하고 D에서는 감소하므로 B와 D에서 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.
 (3) 도선의 속력이 클수록 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 커진다.

3-2 도선이 일정한 속력으로 운동하므로 B와 D에서 자기 선속의 변화율이 같다. 따라서 B와 D에서 유도 전류의 세기는 같다.

3-3 유도 전류는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐르고 이에 따라 도선의 운동을 방해하는 자기력이 나타나므로 B와 D에서 도선이 받는 자기력의 방향은 모두 왼쪽이다.

3-4 (1) A와 E에서는 도선을 통과하는 자기 선속이 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(2) B에서는 수직으로 들어가는 자기 선속이 증가하므로 수직으로 나오는 유도 자기장을 만들기 위해 도선에는 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

(3) C에서는 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 전류가 흐르지 않는다.

(4) D에서는 수직으로 들어가는 자기 선속이 감소하므로 도선에는 수직으로 들어가는 유도 자기장이 형성된다.

4-1 (1) 도선을 통과하는 자기 선속의 방향과 세기가 주기적으로 변하므로 유도 전류의 방향과 세기도 주기적으로 변한다.

(2) 도선을 반대 방향으로 회전시켜도 도선을 통과하는 자기 선속의 변화가 생기므로 유도 전류가 흐른다.

(3) 도선이 빠르게 회전할수록 도선을 통과하는 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 기전력이 크게 발생하여 전구가 더 밝아진다.

4-2 도선을 회전시키면 유도 전류가 발생하므로 회전시킬 때의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

4-3 도선이 일정한 속력으로 회전하면 자기력선에 수직인 도선의 넓이가 주기적으로 변하므로 도선을 통과하는 자기 선속도 주기적으로 변한다.

4-4 (1) 자석에 의한 자기장의 세기는 도선의 회전과는 관계없이 일정하다.

(2) 도선을 회전시키면 도선의 회전을 방해하는 자기력이 나타난다. 따라서 도선을 계속해서 일정한 속력으로 회전시키려면 외부에서 일을 해 주어야 한다.

(3), (4) 자석의 세기가 셀수록, 도선의 감은 수가 클수록 도선을 통과하는 자기 선속 변화량이 커지므로 유도 전류의 세기가 커진다.

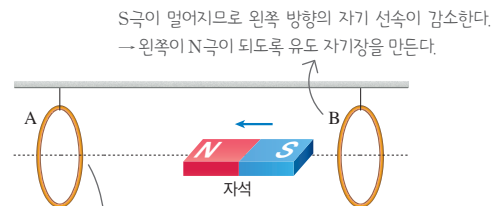
내신 만점 문제

207쪽~211쪽

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

01 N극이 멀어지면 이를 방해하기 위해 코일에는 왼쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 유도 전류의 방향은 b 방향으로 흐른다. 또한 코일의 오른쪽은 N극이 되므로 나침반 자침의 N극은 동쪽을 가리키게 된다.

02 꼬꼬 문제 분석



㉔. 자석은 A로부터 오른쪽으로 척력을 받고, B로부터 오른쪽으로 인력을 받는다. 따라서 A와 B로부터 자석이 받는 자기력의 방향은 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㉔. A는 오른쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만들고, B는 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장을 만들므로 A와 B에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

㉕. B가 A보다 자석에 가까우므로 자기 선속의 변화량은 B가 A보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 B에서가 A에서보다 크다.

03 자석을 빠르게 움직일수록, 더 강한 자석을 이용할수록, 코일의 감은 수가 많을수록 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율이 커지므로 유도 전류의 세기가 증가하여 검류계 바늘이 더 크게 움직인다.

모범답안 • 자석을 빠르게 움직인다. • 센 자석을 이용한다. • 코일의 감은 수를 많게 한다. 등

채점 기준	배점
세 가지 모두를 옳게 쓴 경우	100 %
두 가지만 옳게 쓴 경우	60 %
한 가지만 옳게 쓴 경우	30 %

04 (가), (나)에서 코일의 감은 수는 같은데 자석의 처음 높이는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 자석이 낙하하여 코일 속으로 들어가는 순간의 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 또한 (나)와 (다)에서 자석의 높이는 같은데 코일의 감은 수는 (다)에서가 (나)에서보다 크므로 유도 전류의 세기는 (다)에서가 (나)에서보다 크다.

05 ①, ② 자석이 P를 지날 때 S극이 가까워지므로 코일에는 위쪽이 S극이 되도록 a 방향으로 유도 전류가 흐르며, 자석의 운동을 방해하는 자기력이 위쪽으로, 즉 척력이 작용한다.

③ 자석이 Q를 지날 때 N극이 멀어지므로 코일에는 아래쪽이 S극이 되도록 b 방향으로 유도 전류가 흐르며, 자석의 운동을 방해하는 자기력이 위쪽으로, 즉 인력이 작용한다.

④ 자석이 P에서 Q까지 운동하는 동안 전기 에너지가 발생하였으므로 역학적 에너지는 보존되지 않고 감소한다.

▮ **바로알기** ⑤ 자석이 P를 지날 때는 a 방향, Q를 지날 때는 b 방향으로 유도 전류가 흐른다.

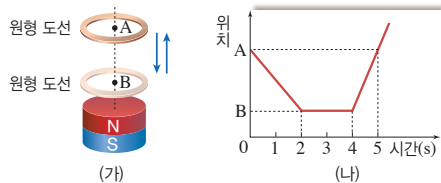
06 p를 지날 때 고리에 ㉔ 방향으로 전류가 흐르므로 금속 고리에는 아래쪽이 S극이 되도록 자기장이 형성된다. 이때 자석과 고리 사이에는 인력이 작용해야 하므로 자석의 윗면은 N극이다.

☞ **모범답안** 금속 고리의 아래쪽이 S극이고 자석과 고리 사이에는 인력이 작용하므로 자석의 윗면은 N극이다.

채점 기준	배점
자석의 극을 까닭과 함께 옳게 쓴 경우	100 %
자석의 극만 옳게 쓴 경우	50 %

07 **꼭꼭** 문제 분석

도선이 A에서 B까지와 B에서 A까지 운동하는 동안 자기 선속의 변화량은 같다. 도선이 운동한 시간은 A에서 B까지가 B에서 A까지보다 길다.



B에서 A까지 운동할 때가 A에서 B까지 운동할 때보다 자기 선속의 변화율이 크고, 2초에서 4초 사이에는 자기 선속의 변화가 없다. 따라서 유도 전류의 세기는 5초일 때가 1초일 때보다 크고, 3초일 때는 0이다.

08 ㄱ. 자석이 위로 올라가는 동안 N극이 멀어지므로 코일에는 위쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 유도 전류의 방향은 b이다.

ㄴ. 자석은 위로 올라가는 동안에는 아래쪽으로 자기력을 받고, 아래로 내려가는 동안에는 위쪽으로 자기력을 받는다. 즉 코일은 자석의 운동을 방해하는 방향으로 자기력을 작용한다.

▮ **바로알기** ㄴ. 자석은 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받으므로 코일이 없을 때보다 진폭이 더 빨리 감소한다.

09 코일의 감은 수는 (나)에서가 (가)에서보다 크므로 자석이 a를 지나는 순간 유도 자기장과 유도 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 따라서 자석이 받는 자기력의 크기도 (나)에서가 (가)에서보다 크다. 자기력을 크게 받으려면 자석의 속력이 더 많이 감소하므로 b에서 자석의 속력은 (나)에서가 (가)에서보다 느리다.

10 ㄴ. 구리 고리는 자석의 운동을 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐르면서 자기력을 작용한다. 즉 자석이 a를 지나는 순간 왼쪽으로 척력을 작용하고, b를 지나는 순간 왼쪽으로 인력을 작용한다.

▮ **바로알기** ㄱ. 자석이 a를 지날 때는 고리의 왼쪽이 S극이 되므로, b를 지날 때는 고리의 오른쪽이 S극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 a와 b를 지날 때 고리에 유도되는 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄴ. 자석이 a에서 b까지 운동하는 동안 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되므로 자석과 추의 역학적 에너지의 합은 감소한다.

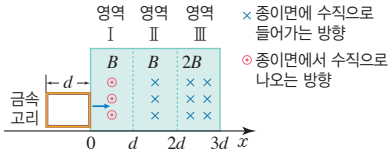
11 유도 전류는 자기 선속의 변화율에 비례하고, 자기 선속의 변화율은 자기장의 변화율에 비례한다. 그래프에서 2초일 때와 4초일 때 자기장의 변화율이 $1 : \frac{3}{2} = 2 : 3$ 이므로 $I_2 : I_4 = 2 : 3$ 이다.

12 ㄴ. 도선에 유도 전류가 흐를 때 균일한 자기장은 도체 막대의 운동을 방해하는 방향, 즉 왼쪽으로 자기력을 작용한다. 또는 오른손을 이용해 자기력의 방향을 구할 수 있다. 오른손을 펴서 네 손가락을 종이면에 수직으로 들어가는 방향으로 가리키고, 엄지손가락을 유도 전류의 방향인 위쪽으로 가리키면 손바닥이 가리키는 방향, 즉 왼쪽 방향이 자기력의 방향이 된다.

ㄴ. 도체 막대의 속력이 클수록 도선을 통과하는 자기 선속의 변화율이 크므로 유도 전류의 세기도 커진다.

▮ **바로알기** ㄱ. 도체 막대가 오른쪽으로 운동하면 ㄴ자형 도선과 도체 막대로 이루어진 사각형의 넓이가 넓어진다. 따라서 사각형 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 증가한다. 이를 방해하기 위하여 도선은 종이면으로부터 수직으로 나오는 방향의 유도 자기장을 만들므로 유도 전류는 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 방향으로 흐른다.

13 꼬꼬 문제 분석



- 고리가 $x=0$ 을 지날 때 : $\odot$ 방향 자기 선속 증가 $\rightarrow$ 시계 방향 유도 전류
- 고리가 $x=d$ 를 지날 때 : $\odot$ 방향 자기 선속 감소, $\times$ 방향 자기 선속 증가 $\rightarrow$ 반시계 방향 유도 전류
- 고리가 $x=2d$ 를 지날 때 : $\times$ 방향 자기 선속 증가 $\rightarrow$ 반시계 방향 유도 전류
- 고리가 $x=3d$ 를 지날 때 : $\times$ 방향 자기 선속 감소 $\rightarrow$ 시계 방향 유도 전류

금속 고리에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다. 고리 앞 부분의 위치에 따라 고리를 통과하는 단위 시간당 자기장의 변화를 나타내면 다음과 같다.

고리의 위치	자기장 변화	전체 자기장 변화
$x=0$ 을 지날 때	$\odot$ 방향 B 만큼 증가	$\odot$ 방향 B 만큼 증가
$x=d$ 를 지날 때	$\odot$ 방향 B 만큼 감소, $\times$ 방향 B 만큼 증가	$\times$ 방향 $2B$ 만큼 증가
$x=2d$ 를 지날 때	$\times$ 방향 B 만큼 감소, $\times$ 방향 $2B$ 만큼 증가	$\times$ 방향 B 만큼 증가
$x=3d$ 를 지날 때	$\times$ 방향 $2B$ 만큼 감소	$\times$ 방향 $2B$ 만큼 감소

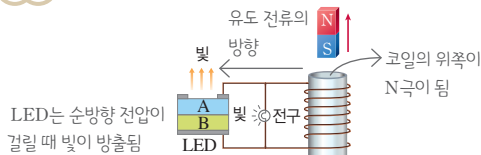
따라서 고리 앞부분이 $x=0$ 을 지날 때 시계 방향으로 유도 전류가 흐르며 이때의 유도 전류의 세기를 I_0 이라고 하면, $x=d$ 를 지날 때는 $-2I_0$, $x=2d$ 를 지날 때는 $-I_0$, $x=3d$ 를 지날 때는 $2I_0$ 의 유도 전류가 흐른다.

14 (나)에서 도선에 유도 전류가 반시계 방향으로 흐르므로 막대의 아래쪽이 N극이고 막대는 자기화되어 있는 상태가 유지되고 있으므로 강자성체이다. (가)에서 막대는 오른쪽이 N극이 되어야 하므로 전원 장치의 a는 (+)극이고 b는 (-)극이다.

모범답안 막대는 강자성체이고, 단자 a는 (+)극이다.

채점 기준	배점
자성의 종류와 단자의 극을 모두 옳게 쓴 경우	100 %
두 가지 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

15 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. 자석의 S극이 코일에서 멀어지므로 코일에는 위쪽이 N극이 형성되도록, 즉 LED의 A에서 B쪽으로 유도 전류가 흐르도록

유도 기전력이 발생한다. 이때 LED에서 빛이 방출되었으므로 LED에는 순방향의 전압이 걸려야 한다. 따라서 A는 p형 반도체이다.

ㄴ. A가 p형 반도체이므로 B는 n형 반도체이다. n형 반도체는 주로 전자가 전류를 흐르게 한다.

ㄷ. 자석을 아래로 움직이면 유도 기전력의 방향이 바뀌면서 역방향 전압이 걸리므로 LED에서 빛이 나오지 않는다.

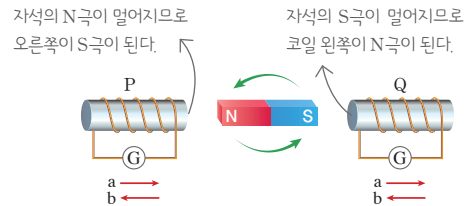
16 원형 도선에 시계 방향으로 유도 전류가 흐르기 위해서는 원형 도선이 있는 곳에서 종이면으로 들어가는 자기 선속이 감소하거나 종이면에서 나오는 자기 선속이 증가해야 한다.

ㄱ. 직선 도선에 흐르는 $+x$ 방향의 전류가 증가하면 원형 도선을 통과하는 종이면에서 나오는 자기 선속이 증가한다.

바로알기 ㄴ. 직선 도선을 $-y$ 방향으로 운동시키면 원형 도선을 통과하는 종이면에서 나오는 방향의 자기 선속이 감소한다. 따라서 원형 도선에 시계 반대 방향으로 유도 전류가 흐른다.

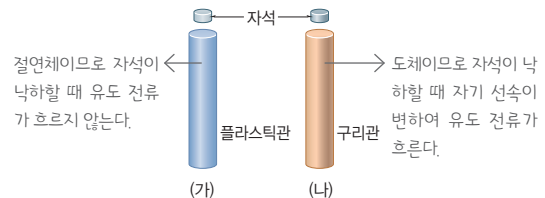
ㄷ. 원형 도선을 $+x$ 방향으로 운동시키면 원형 도선을 통과하는 자기 선속이 변하지 않는다.

17 꼬꼬 문제 분석



자석이 회전하면 P의 오른쪽에서는 N극이 멀어지므로 P의 오른쪽이 S극이 되도록 a 방향으로 유도 전류가 흐르고, Q의 왼쪽에서는 S극이 멀어지므로 Q의 왼쪽이 N극이 되도록 a 방향으로 유도 전류가 흐른다.

18 꼬꼬 문제 분석



- 자석의 낙하 시간 : 플라스틱관(가) < 구리관(나)
- 자석이 바닥에 도달하는 순간 속력 : 플라스틱관(가) > 구리관(나)

ㄴ. (가)의 플라스틱관에는 유도 전류가 흐르지 않으므로 자석의 운동이 방해받지 않기 때문에 자석이 바닥에 도달하는 순간의 속력은 (가)에서 (나)에서보다 빠르다.

■ **바로알기** ㄱ. 자석이 떨어질 때 자석이 통과하는 부분의 자기 선속이 변하므로 구리관에 유도 기전력이 발생한다. 따라서 도체인 (나)의 구리관에는 유도 전류가 흐른다.

ㄷ. 자석이 (나)의 구리관을 통과할 때 유도 전류가 흐르는데, 렌츠 법칙에 의해 유도 전류의 방향은 자석의 운동을 방해하는 방향으로 흐르므로 자석이 천천히 떨어진다. 따라서 자석이 바닥에 도달하는 데 걸리는 시간은 (나)에서가 (가)에서보다 길다.

19 ① 발전기에서는 회전하는 코일의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환된다.

② 코일을 통과하는 자기 선속이 변할 때 패러데이 전자기 유도 법칙에 의해 코일에 전류가 유도된다.

④ 코일을 통과하는 자기 선속이 증가할 때와 감소할 때 코일에 흐르는 전류의 세기와 방향이 계속 변하는 교류가 발생한다.

⑤ 전류를 얻기 위해서는 코일을 계속 회전시키는 에너지가 필요하며, 발전기의 코일을 회전시키는 데 필요한 에너지원에 따라 수력 발전, 화력 발전, 핵발전 등으로 구분한다.

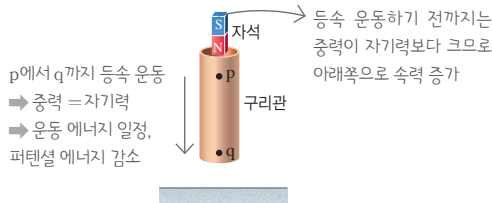
■ **바로알기** ③ 코일의 단면과 자기장의 방향이 수직일 때 자기 선속이 최대가 되고, 코일의 단면과 자기장의 방향이 나란할 때 자기 선속이 0이 된다. 따라서 코일을 통과하는 자기 선속이 시간에 따라 증가와 감소를 반복한다.

20 ㄴ. 발전기 바퀴가 회전하면 코일 속의 영구 자석이 회전한다. 이에 따라 코일을 통과하는 자기 선속은 주기적으로 변한다.

ㄷ. 자전거의 속력이 빠를수록 발전기 바퀴에 연결된 자석의 회전 속력이 커지므로 코일을 통과하는 자기 선속의 변화율이 커진다. 따라서 유도 전류의 세기가 커지므로 전조등은 더 밝아진다.

■ **바로알기** ㄱ. 코일을 통과하는 자기 선속이 주기적으로 변하므로 코일에는 주기적으로 변하는 유도 전류가 흐른다.

21 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. p에서 q까지 자석은 등속도 운동하므로 가속도가 0이다. 따라서 자석에 작용하는 알짜힘은 0이다.

ㄷ. p에서 q까지 등속도 운동하므로 운동 에너지는 일정하다. 하지만 퍼텐셜 에너지가 감소하므로 역학적 에너지는 감소한다. 감소한 역학적 에너지는 전기 에너지로 전환된다.

■ **바로알기** ㄱ. 중력에 의해 가속 운동하다가 구리관에 유도 전류가 발생하면 자석에 위쪽으로 자기력이 작용하지만 입구에서 p까지는 자기력이 중력보다 작기 때문에 알짜힘은 아래쪽으로 나타난다. 따라서 입구에서 p까지 운동하는 동안 속력이 증가하므로 자석의 가속도 방향은 아래쪽이다.

22 ⑤ 다이내믹 마이크는 소리에 의해 진동판이 진동하면 진동판에 부착된 코일이 자석 주위에서 진동하면서 코일에 유도 전류가 흐르는 현상을 이용하여 소리를 전기 신호로 변환한다.

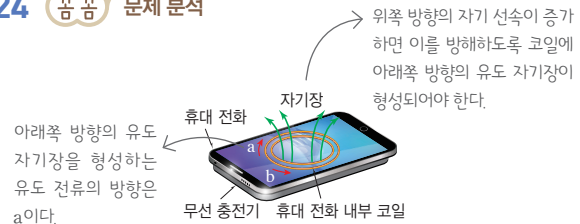
■ **바로알기** ①, ②, ③, ④ 금속 탐지기, 무선 충전기, 교통 카드, 인덕션 레인지는 자석을 이용하지 않고 전류가 흐르는 코일에 의해 발생한 자기장이나 전자기파에 포함된 자기장이 변할 때 또 다른 코일에 유도 전류가 흐르는 현상을 이용한다.

23 ㄴ. 유도 전류는 코일을 통과하는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 흐른다. 이때 자석과 코일 사이에는 서로의 상대적인 운동을 방해하는 자기력이 나타난다.

■ **바로알기** ㄱ. 코일이 자석 주위에서 회전하므로 코일을 통과하는 자기 선속은 주기적으로 변한다. 따라서 자기 선속의 변화율도 주기적으로 변한다.

ㄷ. 자기 선속의 변화율이 주기적으로 변하므로 유도 전류의 방향과 세기도 주기적으로 변한다. 따라서 발광 다이오드에서 방출되는 빛의 밝기는 일정하지 않다.

24 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 무선 충전기에서 시간에 따라 크기와 방향이 변하는, 즉 주기적으로 변하는 자기장이 발생하면, 휴대 전화 내부 코일에는 주기적으로 변하는 유도 전류, 즉 교류가 흐른다.

ㄴ. 코일을 통과하는 위쪽 방향의 자기 선속이 증가하므로 이를 방해하기 위해서는 코일에 아래쪽 방향의 유도 자기장이 형성되어야 한다. 따라서 유도 전류는 a 방향으로 흘러야 한다.

■ **바로알기** ㄷ. 휴대 전화 무선 충전은 무선 충전기 내부의 1차 코일에 흐르는 전류의 변화에 의한 자기장의 변화로 2차 코일에 유도 전류가 발생하는 원리를 이용한다. 전자기파에 포함된 자기장의 변화를 이용하는 것은 교통 카드나 하이패스 시스템 등이 있다.

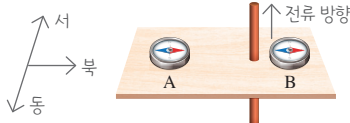
- ① N극 ② 오른손 ③ 직선 ④ 원의 반지름 ⑤ 단위 길이당
코일의 감은 수 ⑥ 전류 ⑦ 자기력 ⑧ 자기화 ⑨ 스핀
⑩ 자기장 ⑪ 강자성체 ⑫ 반자성체 ⑬ 전자석 ⑭ 액체 자석
⑮ 초전도체 ⑯ 유도 전류 ⑰ 유도 기전력 ⑱ 많을수록
⑲ 렌츠 ⑳ 유도 전류

중단원 마무리 문제

214쪽~217쪽

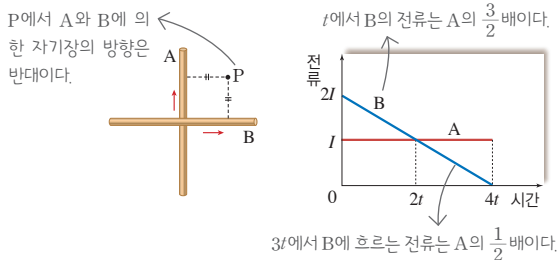
- 01 ③ 02 ③ 03 ⑤ 04 ⑤ 05 ① 06 ②
07 ④ 08 ② 09 ⑤ 10 ② 11 ③ 12 ④
13 ⑤ 14 ⑤ 15 ④ 16 해설 참조 17 해설 참조

01 꼬꼬 문제 분석



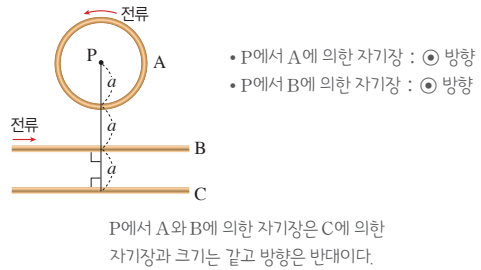
전류가 흐르지 않을 때 두 나침반 자침의 N극이 가리키는 오른쪽 방향이 북쪽이다. 도선에 아래에서 위쪽으로 전류가 흐르면 전류에 의한 자기장에 의해 A의 N극은 동쪽으로 회전하고, B의 N극은 서쪽으로 회전한다. 이때 B가 A보다 도선에 가까이 있으므로 B의 자침의 회전각이 더 크다.

02 꼬꼬 문제 분석



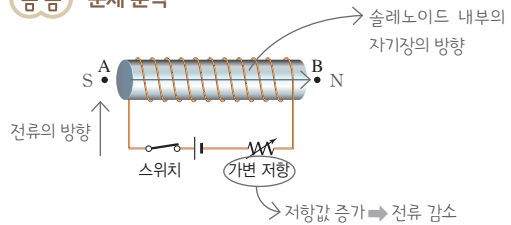
A에 흐르는 전류의 세기는 I 로 일정하고 t 인 순간과 $3t$ 인 순간 B에 흐르는 전류의 세기는 각각 $\frac{3}{2}I$, $\frac{1}{2}I$ 이다. 자기장의 세기는 도선에 흐르는 전류에 비례하므로, P에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면 t 인 순간 P에서 자기장은 $B - \frac{3}{2}B = -\frac{1}{2}B = -B_0$ 이고 $3t$ 인 순간 P에서 자기장은 $B - \frac{1}{2}B = \frac{1}{2}B$ 이다. 따라서 $3t$ 인 순간 P에서 자기장의 세기는 B_0 이다.

03 꼬꼬 문제 분석



- ㄱ. A에 흐르는 전류가 반시계 방향이므로 P에서 A에 의한 자기장의 방향은 종이면에서 수직으로 나오는 방향이다.
ㄴ. P에서 C에 의한 자기장은 종이면에 수직으로 들어가는 방향이어야 하므로 C에 흐르는 전류의 방향은 B에 흐르는 전류의 방향의 반대인 왼쪽이다.
ㄷ. P에서 C에 의한 자기장은 A와 B에 의한 자기장의 세기와 같아야 하므로 전류의 세기는 C에서가 B에서보다 크다.

04 꼬꼬 문제 분석



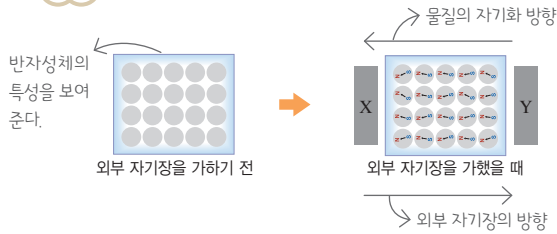
- ㄱ. 전류의 방향으로 오른손을 감아 쥐면 엄지손가락은 오른쪽을 가리키므로 솔레노이드의 왼쪽은 S극, 오른쪽은 N극이 형성된다. 따라서 A점에 자침을 놓으면 N극이 솔레노이드의 S극으로부터 인력을 받아 오른쪽을 향한다.
ㄴ. 솔레노이드 내부는 원형 전류에 의한 자기장이 합성되면서 균일한 자기장이 형성된다.
ㄷ. 가변 저항의 저항값을 증가시키면 전류의 세기가 감소하므로 솔레노이드 내부 자기장의 세기가 감소한다.

05 A. 자성은 전자의 궤도 운동과 스핀 때문에 나타나는데 대부분의 자성을 띠는 물질은 궤도 운동보다는 주로 스핀에 의해 자성이 나타난다.

|| 바로알기 || B. 스핀이 서로 반대인 전자들이 완전히 짝을 이루면 원자 자석이 없으므로 반자성이 나타난다.

C. 반자성을 갖는 물질을 외부 자기장에 놓으면 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

06 **꼼꼼** 문제 분석



ㄷ. 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 원자 자석이 없는 상태, 즉 외부 자기장을 가하기 전과 같은 상태가 된다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 외부 자기장을 가하기 전 원자 자석이 없으므로 이 물질은 반자성체이다. 반자성체는 외부 자기장을 가하면 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화된다. 따라서 X는 N극이다.

ㄴ. 철은 강자성체에 해당한다. 반자성체에 해당하는 물질은 구리, 유리, 금, 은, 수소, 물 등이 있다.

07 ㄱ. 자석이 초전도체 위에 뜨는 까닭은 초전도체가 반자성을 띠면서 자석을 밀어내었기 때문이다.

ㄷ. 초전도체는 전기 저항이 0이므로 많은 전류가 흘러도 열이 발생하지 않아 매우 강한 자기장을 만드는 데 이용된다.

▣ **바로알기** ▣ ㄴ. 초전도체의 온도는 액체 질소의 온도와 같다고 할 수 있다. 그런데 초전도체가 자석을 밀어내고 있으므로 초전도체의 온도는 임계 온도 이하이다.

08 ① 두 막대 모두 솔레노이드 내부에 있으므로 솔레노이드에 의한 내부 자기장의 방향으로 강하게 자기화되므로 두 막대 내부에도 균일한 자기장이 형성된다.

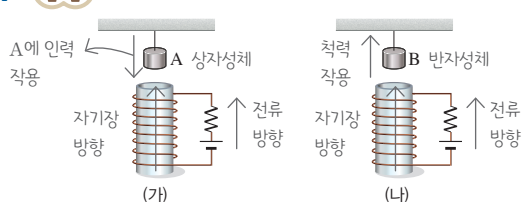
③ a점에서 자기장의 방향은 두 솔레노이드가 만드는 자기장의 방향과 같으므로 오른쪽이다.

④ 전류가 세기가 증가하면 솔레노이드에 의한 자기장의 세기가 증가하므로 a점에서 자기장의 세기도 증가한다.

⑤ 스위치를 열어도 강자성 막대는 자기화된 상태가 유지되므로 두 막대 사이에는 자기력이 작용한다.

▣ **바로알기** ▣ ② 왼쪽 막대의 오른쪽이 N극이 되고, 오른쪽 막대의 왼쪽이 S극이 되므로 두 막대 사이에는 인력이 작용한다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

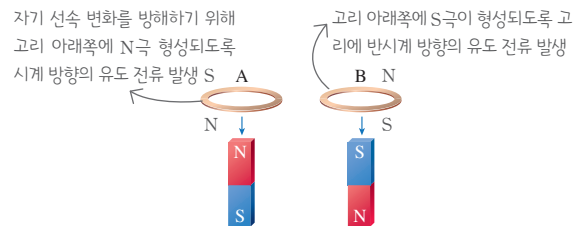


ㄱ. 전류의 방향으로 오른손 네 손가락을 감아쥐면 엄지손가락이 가리키는 방향은 위쪽이다.

ㄴ. 상자성체는 솔레노이드에 의한 자기장 방향으로 자기화되어 솔레노이드로부터 인력, 즉 아래쪽으로 자기력을 받고, 반자성체는 솔레노이드에 의한 자기장의 반대 방향으로 자기화되어 솔레노이드로부터 척력, 즉 위쪽으로 자기력을 받는다. 실이 물체를 당기는 힘은 물체의 무게와 자기력의 합력과 같다. 따라서 (가)에 서가 (나)에서보다 크다.

ㄷ. 상자성체나 반자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라진다.

10 **꼼꼼** 문제 분석

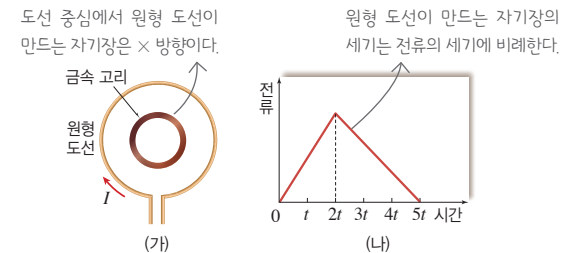


ㄴ. A와 B 모두 운동을 방해 받는 방향, 즉 위쪽으로 자기력을 받는다.

▣ **바로알기** ▣ ㄱ. 전자기 유도에 의해 A는 아래쪽에 N극이 형성되고, B는 아래쪽에 S극이 형성되므로 A, B에 흐르는 유도 전류의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 유도 전류가 흐르는 동안 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되므로 A와 B의 역학적 에너지는 감소한다.

11 **꼼꼼** 문제 분석

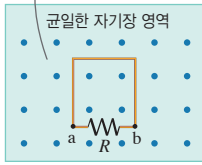


× 방향의 자기 선속이 증가하면 금속 고리에는 ⊙ 방향의 유도 자기장이 형성되고,
× 방향의 자기 선속이 감소하면 금속 고리에는 × 방향의 유도 자기장이 형성된다.

0~2t 구간에서는 전류의 세기가 증가하므로 금속 고리에는 종이면에서 수직으로 나오는 방향의 유도 자기장을 만들기 위해 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. 2t~4t 구간에서는 전류의 세기가 감소하므로 금속 고리에는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 유도 자기장을 만들기 위해 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다.

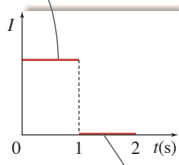
12 **문제 분석**

유도 전류가 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 로 흐를 때는 종이면에서 나오는 자기장이 감소하는 경우이다.



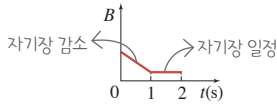
(가)

유도되는 전류가 (+)값이므로 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 방향으로 흐른다. 자기장이 일정하게 감소함을 의미



(나)

유도 전류가 0이므로 자기장의 세기가 변하지 않는다.



유도 전류가 $a \rightarrow R \rightarrow b$ 방향으로 일정하게 흐른다는 것은 도선에 반시계 방향으로 유도 전류가 흐른다는 것을 의미하므로 종이면에서 수직으로 나오는 자기장이 일정하게 감소해야 한다. 유도 전류가 흐르지 않을 때는 도선을 통과하는 자기장이 변하지 않아야 한다. 따라서 적절한 그래프는 ④번이다.

13 ①, ② 도체 막대가 움직이는 동안 ϵ 자형 도선과 도체 막대로 이루어진 사각형을 통과하는 자기 선속이 증가한다. 따라서 이를 방해하기 위해 반시계 방향으로 유도 전류가 흐르며, 자기 선속이 일정하게 변하므로 유도 전류의 세기도 일정하다.

③ 유도 전류가 흐르는 동안 도체 막대는 운동 방향과 반대 방향으로 자기력을 받는다.

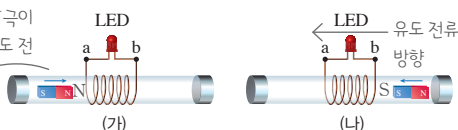
④ v 가 클수록 자기 선속의 변화율이 크므로 유도 전류의 세기도 커진다.

바로알기 ⑤ 전류는 저항에 반비례하므로 R 가 커지면 유도 전류의 세기는 감소한다.

14 상자성 막대는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화되므로 (가)에서 A는 S극이 된다. 상자성 막대가 외부 자기장에서 분리되면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 (나)에서 상자성 막대가 금속 고리를 통과하는 동안 유도 전류가 발생하지 않는다.

15 **문제 분석**

코일 왼쪽에 N극이 유도되도록 유도 전류가 발생



(가)

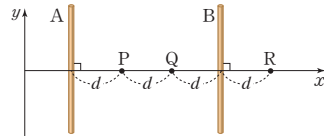
(나)

나. LED는 순방향 전압이 걸렸을 때 불이 켜진다. (가)에서 코일의 왼쪽이 N극이 되었을 때 LED에 불이 켜졌다. (나)에서도 코일의 왼쪽이 N극이 되므로 (가)에서와 같이 LED에 불이 켜진다. 다. 유도 전류가 흐를 때 자석의 운동을 방해하는 자기력이 나타난다. 따라서 (가)에서 자석은 왼쪽으로 척력을 받고, (나)에서 자석은 오른쪽으로 척력을 받는다.

바로알기 ㄱ. (가)에서 자석의 N극이 접근하므로 코일에는 왼쪽이 N극이 되도록 유도 자기장이 형성된다. 따라서 유도 전류의 방향은 $b \rightarrow \text{LED} \rightarrow a$ 이다.

16 **문제 분석**

P에서 A와 B에 의한 자기장이 0이므로 P에서 A에 의한 자기장과 B에 의한 자기장은 서로 크기가 같고 방향이 반대이어야 한다. 따라서 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고 전류의 세기는 B가 A의 2배이다.



A와 B에 흐르는 전류의 방향을 위쪽이라고 가정하고 P에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면 Q에서 A와 B에 의한 자기장은 $\frac{1}{2}B - 2B = -\frac{3}{2}B = -B_0$ 이다. 따라서 R에서 A와 B에 의한 자기장은 $\frac{1}{4}B + 2B = \frac{9}{4}B = \frac{3}{2}B_0$ 이다.

모범답안 A와 B에 흐르는 전류의 방향은 같고, B에 흐르는 전류의 세기는 A에 흐르는 전류의 2배이다. P에서 A에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면, Q에서 A와 B에 의한 자기장의 세기는 $\frac{3}{2}B = B_0$ 이므로 R에서 자기장의 세기는 $\frac{1}{4}B + 2B = \frac{3}{2}B_0$ 이다.

채점 기준	배점
자기장의 세기를 풀이 과정과 함께 옳게 구한 경우	100 %
자기장의 세기만 옳게 쓴 경우	30 %

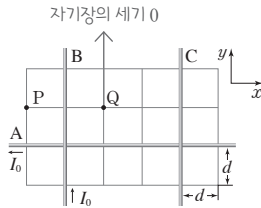
17 도선을 통과하는 종이면에 수직으로 들어가는 방향의 자기 선속이 감소하므로 이를 방해하기 위해 도선에는 시계 방향으로 유도 전류가 흐른다. 원의 넓이는 반지름의 제곱에 비례하므로 P의 반지름이 일정하게 감소하면 넓이가 일정하게 감소하지 않고 넓이가 감소하는 비율이 감소하므로 자기 선속의 변화율이 감소한다. 유도 기전력의 크기는 자기 선속의 변화율에 비례한다.

모범답안 b. 반지름을 일정하게 감소시키면 넓이의 변화율이 감소하므로 유도 기전력의 크기가 감소한다.

채점 기준	배점
유도 전류의 방향과 기전력의 크기를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
두 가지 중 한 가지만 옳게 쓴 경우	50 %

- 1 ④ 2 ② 3 ③ 4 ① 5 ④ 6 ⑤ 7 ⑤ 8 ①
9 ② 10 ⑤ 11 ③ 12 ③ 13 ④ 14 ⑤ 15 ③
16 ④ 17 ② 18 ⑤ 19 ① 20 ④

1 문제 분석



Q에서 A에 의한 자기장은 $\otimes$ 방향이고 B에 의한 자기장도 $\otimes$ 방향이다. → Q에서 C에 의한 자기장은 $\odot$ 방향이어야 한다. → C에 흐르는 전류는 $+y$ 방향이다.

선택지 분석

- ☒ C에 흐르는 전류의 세기는 $2I_0$ 이다. $4I_0$
☐ C에 흐르는 전류의 방향은 $+y$ 방향이다.
☐ P에서 자기장의 방향은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향이다.

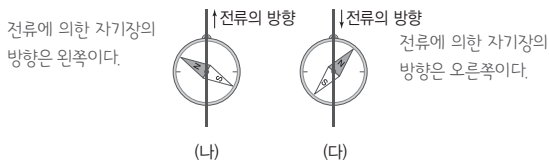
전략적 풀이 ① 직선 전류에 의한 합성 자기장이 0이 되기 위한 조건을 파악한다.

ㄴ. Q에서 A와 B에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 C에 의한 자기장의 방향은 수직으로 나오는 방향이어야 한다. 따라서 C에 흐르는 전류는 $+y$ 방향이다.
ㄷ. P에서 A와 B에 의한 자기장은 0이므로 P에서 자기장의 방향은 C에 의한 자기장의 방향과 같다.

② 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기 및 거리와 어떤 관계가 있는지 이해한다.

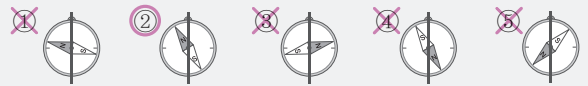
ㄱ. Q에서 A에 의한 자기장을 B 라고 하면, Q에서 A와 B에 의한 자기장은 $2B$ 이므로 Q에서 C에 의한 자기장은 $-2B$ 가 되어야 한다. C에서 Q까지의 거리는 A, B에서 Q까지 거리의 2배이므로 C에 흐르는 전류의 세기는 $4I_0$ 이다.

2 문제 분석



(가) 전류가 흐르지 않을 때에 비해 자침이 왼쪽으로 회전하였다.
(다) 전류의 세기가 (가)의 2배이므로 전류가 흐르지 않을 때에 비해 오른쪽으로 더 많이 회전해야 한다.

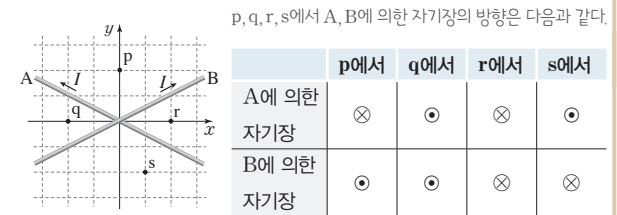
선택지 분석



전략적 풀이 ① 직선 전류에 의한 자기장과 지구 자기장의 합성을 이해한다.

(나)와 (다)에서 자침이 가리키는 방향은 전류에 의한 자기장과 지구 자기장이 합성된 결과이다. 직선 전류에 의한 자기장의 세기는 전류의 세기에 비례하는데 (나)에 비해 (다)에서 전류의 세기가 더 크므로 자기장의 세기도 더 커서 자침이 더 많이 회전해야 한다. 따라서 도선에 전류가 흐르지 않을 때 자침이 가리키는 방향, 즉 지구 자기장의 방향은 ②번이다.

3 문제 분석



선택지 분석

- ☐ 전류에 의한 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 작다.
☐ 전류에 의한 자기장의 방향은 q와 r에서 서로 반대이다.
☒ s에서 전류에 의한 자기장의 방향은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 나오는

전략적 풀이 ① 각 점에서 A, B에 의한 자기장의 방향을 파악한다.

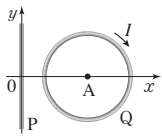
ㄱ. p에서 A, B 각각에 의한 자기장은 서로 크기가 같고 방향이 반대이므로 A와 B에 의한 합성 자기장은 0이다. r에서는 A, B 각각에 의한 자기장의 방향이 같으므로 합성 자기장이 0이 아니다. 따라서 자기장의 세기는 p에서가 r에서보다 작다.

ㄴ. A와 B에 의한 자기장의 방향은 q에서는 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, r에서는 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다.

② s에서 도선으로부터의 거리에 따른 자기장의 세기를 비교하여 합성 자기장의 방향을 구한다.

ㄷ. s에서 A에 의한 자기장은 xy 평면에서 수직으로 나오는 방향, B에 의한 자기장은 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이다. 이때 s로부터 거리는 A가 B보다 가까우므로 s에서 자기장의 방향은 A에 의한 자기장의 방향과 같다.

4 **문제 분석**



P에 흐르는 전류		A에서의 P와 Q에 의한 자기장	
세기	방향	세기	방향
I_0	ⓐ	0	없음
I_0	$+y$	B_0	㉠
$2I_0$	$-y$	㉡	㉢

Q에 의한 자기장 : ㉠ 방향

- (1) A에서 자기장의 세기가 0이라면 P에 의한 자기장은 ㉢ 방향이어야 한다.
→ ㉢은 $-y$ 방향이다.
- (2) P에 흐르는 전류가 $+y$ 방향일 때 P와 Q에 의한 자기장 모두 ㉠ 방향이다.
→ ㉠은 ㉠ 방향이다.
- (3) A에서 P에 의한 자기장은 ㉢ 방향이다.

선택지 분석

- ㉠ ㉠은 $-y$ 이다.
- ㉡ ㉡과 ㉢은 같다. 서로 반대이다
- ㉢ ㉢은 B_0 보다 크다. 작다

전략적 풀이 ① A에서 합성 자기장이 0이 되는 조건을 이해한다.

ㄱ. A에서 Q에 의한 자기장의 방향이 xy 평면에 수직으로 들어가는 방향이므로 A에서 합성 자기장의 세기가 0이 되려면 P에 흐르는 전류는 $-y$ 방향이다. 이때 A에서 Q에 흐르는 세기 I 인 전류에 의한 자기장의 세기를 B 라고 하면 A에서 P에 흐르는 세기 I_0 인 전류에 의한 자기장의 세기도 B 이다.

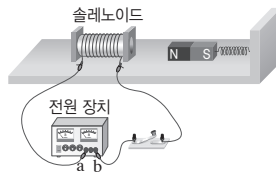
② P에 흐르는 전류의 변화에 따라 A에서 합성 자기장의 세기와 방향이 어떻게 달라지는지 파악한다.

ㄴ. 수직으로 들어가는 방향의 자기장을 (+)로 하면 (2)에서 $B+B=B_0$ 이다. (3)에서 P에 $-y$ 방향이고 세기가 $2I_0$ 인 전류가 흐를 때 A에서 P에 의한 자기장은 $-2B$ 이므로 합성 자기장은 $-2B+B=-B$ 이다. 따라서 (2)와 (3)에서 합성 자기장의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. $B_0=2B$ 이므로 (3)에서 합성 자기장의 세기 B 는 B_0 보다 작다.

5 **문제 분석**

자석이 솔레노이드로부터 인력을 받아야 용수철이 늘어난다. → 솔레노이드의 오른쪽이 S극이다. → a는 (+)극이다.



선택지 분석

- ㉠ 전원 장치의 단자 a는 (-)극이다. (+)극
- ㉡ 솔레노이드의 오른쪽에는 S극이 형성된다.
- ㉢ 전원 장치의 단자를 바꾸어 연결하고 실험하면 솔레노이드와 자석 사이에는 서로 미는 자기력이 나타난다.

전략적 풀이 ① 용수철이 늘어나기 위한 조건과 솔레노이드에 의한 자기장의 방향을 파악한다.

ㄱ. 오른손 엄지손가락을 자기장의 방향으로 가리켰을 때 네 손가락을 감아쥐는 방향이 전류의 방향이므로 a는 (+)극이다.

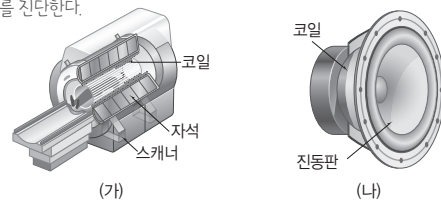
ㄴ. 용수철에 인력이 작용해야 하므로 솔레노이드의 오른쪽에 S극이 형성된다.

ㄷ. 단자를 바꾸어 연결하면 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되므로 솔레노이드와 자석 사이에는 척력이 작용한다.

6 **문제 분석**

강한 자기장을 이용하여 인체 내부를 진단한다.

전기 신호를 소리로 전환하기 위해 전류가 자기장에서 받는 자기력을 이용한다.



선택지 분석

- ㉠ (가)는 초전도체를 이용하여 강한 자기장을 만든다.
- ㉡ (나)에는 자석이 들어 있다.
- ㉢ (나)에 직류가 흐르면 소리가 발생하지 않는다.

전략적 풀이 ① 전류에 의한 자기장을 이용하는 장치의 기본 원리를 이해한다.

ㄱ. 자기 공명 영상 장치는 초전도체에 큰 전류를 흘려서 강한 자기장을 만들고 이를 이용하여 질병을 진단한다. 초전도체는 저항이 없으므로 큰 전류가 흘러도 열이 발생하지 않는다.

ㄴ. 스피커는 자석 주위의 코일에 전류가 흐를 때 코일이 자석으로부터 힘을 받아 진동하면서 소리를 발생시킨다.

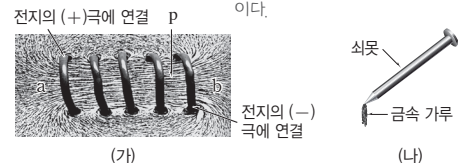
② 소리가 발생하는 원리를 이해한다.

ㄷ. 스피커에 직류가 흐르면 코일이 한쪽 방향으로만 힘을 받아 진동하지 않으므로 소리가 발생하지 않는다.

7 **문제 분석**

전류는 전지의 (+)극에서 나와 (-)극으로 들어간다. → p에서 자기장은 오른쪽 방향이다.

쇠뿔은 철로 되어 있으므로 강자성체이다. 자기화되지 않은 쇠뿔에 금속 가루가 달라붙었으므로 금속 가루는 자기화된 상태이다.



선택지 분석

- ㉠ (가)의 p점에서 자기장의 방향은 $a \rightarrow b$ 방향이다.
- ㉡ 이 금속 가루는 강자성체이다.
- ㉢ 쇠못은 강자성체이다.

▶ 전략적 풀이 ① 솔레노이드에 의한 자기장의 방향을 파악한다.

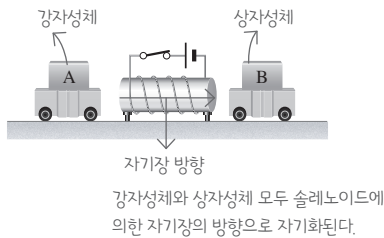
ㄱ. 오른손 네 손가락을 전류의 방향으로 감아줄 때 엄지손가락이 가리키는 방향이 솔레노이드 내부 자기장의 방향이다.

② 강자성체의 성질과 강자성체에 해당하는 대표적인 물질의 예를 알아둔다.

ㄴ. 솔레노이드에 전류가 흐르지 않을 때도 금속 가루가 자성을 유지하므로 금속 가루는 강자성체이다.

ㄷ. 쇠못은 철로 되어 있으며 철은 강자성체에 해당한다.

8 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ A, B 모두 솔레노이드 쪽으로 자기력을 받는다.
- ㉡ B의 내부에는 전자들이 모두 짝을 이루어 원자 자석이 없다. 짝을 이루지 않은 전자들이 있다.
- ㉢ 스위치를 열고 A와 B를 가까이 하면 서로 밀어내는 자기력이 작용한다.

▶ 전략적 풀이 ① 솔레노이드에 의한 자기장의 방향을 파악한다.

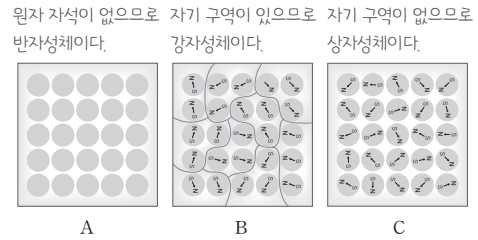
ㄱ. 강자성체와 상자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 자기화된 상태에서는 솔레노이드로부터 인력을 받는다.

ㄴ. 강자성체는 짝을 이루지 못한 전자들이 많고, 상자성체는 짝을 이루지 못한 전자들이 적다. 전자들이 모두 짝을 이루어 원자 자석이 없는 것은 반자성체이다.

② 강자성체와 상자성체의 공통점과 차이점을 이해한다.

ㄷ. 스위치를 열면 A는 자기화된 상태가 유지되고, B는 자기화된 상태가 바로 사라진다. 따라서 B는 A에 의해 다시 자기화되면서 서로 인력을 작용한다.

9 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 외부 자기장을 가하면 A는 외부 자기장의 방향으로 자기화된다.
- ㉡ B에서 하나의 자기 구역 내에 있는 원자 자석들은 모두 같은 방향으로 정렬되어 있다.
- ㉢ C는 하드디스크의 정보 저장 물질로 이용된다.

▶ 전략적 풀이 ① A, B, C가 어떤 자성체인지 파악한다.

ㄱ. A는 반자성체, B는 강자성체, C는 상자성체이다. 반자성체는 외부 자기장의 반대 방향으로 자기화되는 성질이 있다.

ㄴ. 강자성체에서 하나의 자기 구역에 있는 원자 자석들이 자기화된 방향은 모두 같다.

② 자성체의 이용 예를 알아둔다.

ㄷ. 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 정보 저장 물질로 이용될 수 없다. 하드디스크의 정보 저장 물질로 이용되는 것은 강자성체이다.

10 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ A 내부의 자기 구역이 넓어진다.
- ㉡ A의 아랫면은 N극으로 자기화된다.
- ㉢ 솔레노이드 내부 자기장의 세기는 A를 넣었을 때가 넣지 않았을 때보다 커진다.

▶ 전략적 풀이 ① 강자성체의 성질을 이해한다.

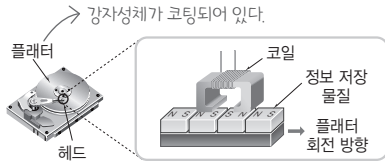
ㄱ. 강자성체가 외부 자기장에 놓이게 되면 강자성체 내부의 자기 구역이 넓어지면서 강하게 자기화된다.

ㄴ. 솔레노이드의 아래쪽이 N극이고, 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 A의 아랫면이 N극으로 자기화된다.

② 강자성체의 이용 원리를 파악한다.

ㄷ. 솔레노이드 내부에 강자성체를 넣으면 솔레노이드 자체에 의한 자기장과 강자성체에 의한 자기장이 합성되므로 내부 자기장의 세기가 더 커진다.

11 꼭꼭 문제 분석



코일에 흐르는 전류에 의한 자기장의 방향으로 정보 저장 물질이 자기화된다. 저장된 정보는 전원을 꺼도 사라지지 않아야 한다.

선택지 분석

- ㉠ 플래터의 정보 저장 물질은 강자성체이다.
- ㉡ 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌면 정보 저장 물질의 자기화 방향이 바뀐다.
- ✕ 하드디스크에 연결된 전원을 끄면 저장된 정보가 사라진다. 사라지지 않는다.

▶ 전략적 풀이 ① 자기 정보의 기록에 이용되는 물질을 안다.

ㄱ. 정보 저장 물질은 기록된 후 기록 상태가 그대로 유지되어야 하므로 강자성체를 이용한다.

② 자기 정보의 기록 원리를 이해한다.

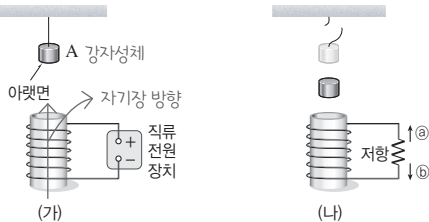
ㄴ. 전류의 방향이 바뀌면 코일에 의한 자기장의 방향이 바뀌므로 강자성체의 자기화 방향도 바뀐다.

ㄷ. 강자성체는 외부 자기장을 제거해도 자기화된 상태가 그대로 유지되므로 전원을 꺼도 저장된 정보가 사라지지 않는다.

12 꼭꼭 문제 분석

강자성체는 솔레노이드에 의한 자기장의 방향으로 자기화된다.

솔레노이드에는 자기 선속의 변화를 방해하는 방향으로 유도 전류가 흐른다.



선택지 분석

- ㉠ (가)에서 A의 아랫면은 S극으로 자기화된다.
- ㉡ (나)에서 저항에 흐르는 전류의 방향은 ㉢이다.
- ✕ (가)와 (나)에서 솔레노이드가 A에 작용하는 자기력의 방향은 서로 같다. 반대이다.

▶ 전략적 풀이 ① 강자성체의 자기화 방향을 파악한다.

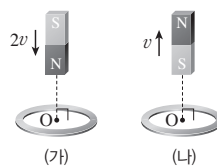
ㄱ. (가)에서 솔레노이드에 의한 자기장의 방향은 위쪽이고 강자성체는 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 A의 아랫면은 S극으로 자기화된다.

② 전자기 유도 현상이 일어날 때 유도 전류의 방향과 자기력의 방향을 이해한다.

ㄴ. (나)에서 강자성체의 자기화된 상태가 그대로 유지되므로 코일에 S극이 접근한다. 따라서 이를 방해하기 위해 유도 전류는 ㉢ 방향으로 흐른다.

ㄷ. (가)에서는 A가 아래쪽으로 자기력을 받고, (나)에서는 A가 위쪽으로 자기력을 받는다.

13 꼭꼭 문제 분석



(가)에서가 (나)에서보다 자석의 속력이 크므로 자기 선속의 변화율도 크다.

(가)에서는 N극이 접근하므로 도선의 위쪽이 N극이 되고, (나)에서는 S극이 멀어지므로 도선의 위쪽이 N극이 된다.

선택지 분석

- ✕ ㉠은 시계 방향이다. 반시계 방향
- ㉡ ㉢은 I_0 보다 작다.
- ㉢ ㉣은 위쪽이다.

▶ 전략적 풀이 ① 자석의 운동 방향에 따라 도선에 발생하는 유도 전류의 방향을 파악한다.

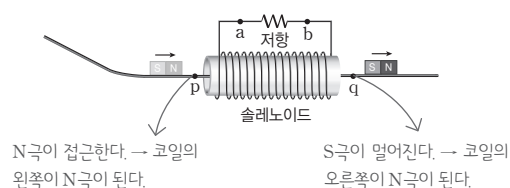
ㄱ. (나)에서 S극이 멀어지므로 도선의 위쪽에 N극이 형성되어야 한다. 따라서 유도 전류의 방향은 반시계 방향이다.

② 자석의 속력에 따른 유도 전류의 세기를 비교하고 자석의 운동 방향에 따른 자기력의 방향을 파악한다.

ㄴ. (나)에서가 (가)에서보다 자석의 속력이 더 느리므로 도선을 통과하는 자기 선속의 변화율이 더 작다. 따라서 유도 전류의 세기는 (나)에서가 (가)에서보다 작다.

ㄷ. (가)에서 자석이 도선을 향하여 아래쪽으로 접근하므로 이를 방해하기 위해 도선은 자석에 위쪽으로 자기력을 작용한다.

14 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 자석이 p를 지날 때, 유도 전류의 방향은 a → 저항 → b이다.
- ㉡ 자석의 속력은 p에서 q에서보다 크다.
- ㉢ 자석이 q를 지날 때, 솔레노이드 내부에서 유도 전류에 의한 자기장의 방향은 p → q이다.

▶ 전략적 풀이 ① 솔레노이드에 대한 자석의 상대적인 운동에 따라 솔레노이드에 흐르는 유도 전류의 방향을 파악한다.

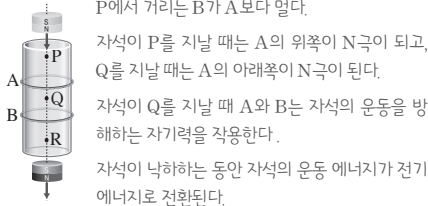
㉠ 자석이 p를 지날 때 N극이 접근하므로 솔레노이드의 왼쪽에 N극이 형성되어야 한다. 따라서 유도 전류는 a → 저항 → b 방향으로 흐른다.

㉡ 자석이 q를 지날 때 S극이 멀어지므로 솔레노이드의 오른쪽이 N극이 되어야 한다. 따라서 솔레노이드 내부에서 유도 자기장은 p → q 방향으로 형성된다.

② 전자기 유도 현상에서 에너지 전환 관계를 이해한다.

㉡ 자석이 솔레노이드를 통과하는 동안 자석의 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되면서 유도 전류가 발생한다. 따라서 운동 에너지가 감소하므로 속력은 p에서 q에서보다 크다.

15 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 자석이 P를 지나는 순간, 유도 전류의 세기는 A에서 B에서보다 크다.
- ㉡ A에서 유도 전류의 방향은 자석이 P를 지날 때와 Q를 지날 때가 서로 반대이다.
- ㉢ 자석이 Q를 지나는 순간, A와 B가 자석에 작용하는 자기력의 방향은 서로 반대이다. 같다
- ㉣ 자석의 역학적 에너지는 Q에서 R에서보다 크다.
- ㉤ 자석이 R를 지나는 순간, 자석의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

▶ 전략적 풀이 ① 운동하는 자석의 도선에 대한 위치에 따라 도선에 흐르는 유도 전류의 방향과 세기를 이해한다.

㉠ 자석이 P를 지날 때 A가 B보다 자석에 가까우므로 자기 선속의 변화율은 A에서 B에서보다 크다. 따라서 유도 전류의 세기는 A에서 B에서보다 크다.

② 자석이 P를 지날 때와 Q를 지날 때 A에 생기는 유도 자기장의 방향은 각각 위쪽과 아래쪽이다. 유도 자기장의 방향이 서로 반대이므로 유도 전류의 방향도 반대이다.

③ 렌츠 법칙에 따라 자석이 받는 자기력의 방향을 파악한다.

④ 도선은 자석의 운동을 방해하는 자기력을 작용하므로 자석이 Q를 지날 때 A는 위쪽으로 인력을 작용하고, B는 위쪽으로 척력을 작용한다.

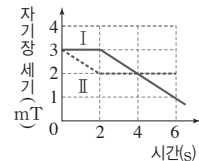
⑤ 자석이 R를 지날 때 위쪽으로 자기력을 받으므로 알짜힘의 크기는 중력의 크기보다 작다. 따라서 운동 제2법칙에 따라 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

③ 전자기 유도 현상에서 에너지 전환 관계를 이해한다.

④ A와 B에 유도 전류가 흐르는 동안 운동 에너지가 전기 에너지로 전환되므로 낙하하는 자석의 역학적 에너지는 계속 감소한다. 따라서 역학적 에너지는 Q에서 R에서보다 크다.

16 문제 분석

자기장이 통과하는 넓이는
II에서가 I에서의 2배이다.



- 0~2초: I의 자기장은 일정하고 II의 자기장은 일정하게 감소한다.
- 2초 이후: I의 자기장은 일정하게 감소하고 II의 자기장은 일정하다.
- ⇒ 0~2초에서 II의 자기장 감소 비율과 2초 이후 I의 자기장 감소 비율은 같다.

▶ 전략적 풀이 ① 영역 I과 II에서 시간에 따른 자기 선속의 변화율을 비교한다.

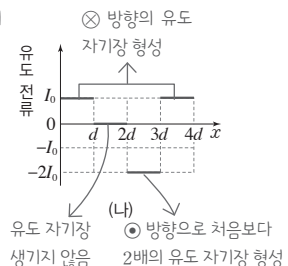
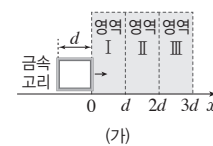
자기장이 통과하는 넓이는 II에서가 I에서의 2배이고 0초부터 2초까지 자기장의 변화율과 2초 이후 자기장의 변화율은 같으므로 자기 선속의 변화율은 II에서가 I에서의 2배이다.

② 자기 선속의 변화율과 유도 전류 세기의 관계를 파악한다.

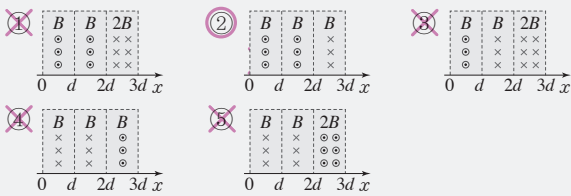
유도 전류의 세기는 자기 선속의 변화율에 비례하므로 유도 전류의 세기는 1초일 때가 3초일 때의 2배이다.

17 문제 분석

금속 고리를 통과하는 자기 선속이
변할 때 유도 전류 발생



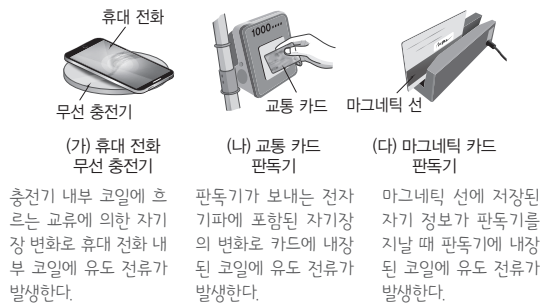
선택지 분석



▶ **전략적 풀이** ❶ 금속 고리에 발생하는 유도 전류의 방향과 세기를 통해 각 영역에서의 자기장의 방향과 세기를 추론한다.

도선이 I에 들어가는 동안 시계 방향으로 유도 전류가 흐르므로 I에서 자기장의 방향은 종이면에서 나오는 방향이다. 도선이 I에서 II로 들어가는 동안 유도 전류가 0이므로 자기 선속의 변화가 없다. 즉 I과 II에서의 자기장은 같다. 또한 III에서 나오는 동안 I에 들어갈 때와 같은 전류가 흐르므로 III에서 자기장의 방향은 종이면에 들어가는 방향이고 세기는 I에서와 같다. II에서 III으로 들어가는 동안은 종이면에서 나오는 자기 선속이 감소하고 들어가는 자기 선속이 증가하므로 자기 선속의 변화가 2배가 된다.

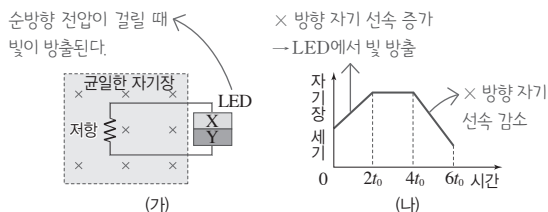
18 **문제 분석**



▶ **전략적 풀이** ❶ 전자기 유도를 이용한 장치의 작동 원리를 안다.

(가)는 무선 충전기 내부 코일과 휴대 전화 내부 코일 사이의 전자기 유도를 이용하고, (나)는 전자기파와 교통 카드 내부 코일 사이의 전자기 유도를 이용한다. 또한 (다)는 마그네틱 선에 저장된 자기 정보와 판독기 내부 코일 사이의 전자기 유도를 이용한다. 따라서 (가), (나), (다) 모두 자석을 사용하지 않는다.

19 **문제 분석**



선택지 분석

- ❶ X는 n형 반도체이다.
- ❷ LED의 밝기는 $3t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 밝다. 어둡다
- ❸ 저항에 흐르는 유도 전류의 세기는 $5t_0$ 일 때가 t_0 일 때보다 크다. 작다

▶ **전략적 풀이** ❶ 자기 선속 변화에 따라 유도 전류 방향을 파악한다.

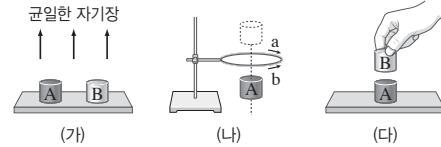
ㄱ. t_0 일 때 자기장의 세기가 증가하므로 회로를 통과하는 자기 선속이 증가한다. 이를 방해하기 위해 유도 전류는 반시계 방향으로 흐르는데 LED에서 빛이 방출되었으므로 X는 n형 반도체이고 Y는 p형 반도체이다.

ㄴ. $3t_0$ 일 때 자기 선속의 변화가 없으므로 유도 기전력이 발생하지 않는다. 따라서 LED는 켜지지 않는다.

ㄷ. $5t_0$ 일 때 자기 선속이 감소하므로 유도 전류가 t_0 일 때와 반대 방향으로 흘러야 한다. 하지만 LED에 역방향 전압이 걸리게 되므로 회로에는 유도 전류가 흐르지 않는다.

20 **문제 분석**

강자성체와 상자성체 모두 자기장 방향으로 자기화된다. 자기화된 상태가 유지되어야 유도 전류를 발생시킬 수 있다.



선택지 분석

- ❷ (나)에서 유도 전류는 a 방향으로 흐른다. b
- ❸ (나)에서 A 대신 B를 통과시키면 도선에 유도 전류가 흐르지 않는다.
- ❹ (다)에서 A와 B 사이에는 서로 당기는 자기력이 작용한다.

▶ **전략적 풀이** ❶ 강자성체와 상자성체의 특징을 파악한다.

강자성체와 상자성체 모두 외부 자기장의 방향으로 자기화되므로 (가)에서 A, B 모두 윗면이 N극이 된다. 상자성체는 외부 자기장을 제거하면 자기화된 상태가 바로 사라지므로 (나)에서 유도 전류를 발생시킨 A는 강자성체, B는 상자성체이다.

❷ 유도 전류의 발생 원리를 파악한다.

ㄱ. (나)에서 N극이 멀어지므로 도선에는 b 방향으로 유도 전류가 흐른다.

ㄴ. B는 상자성체이다. (나)에서 B를 통과시키면 B는 자성을 띠지 않으므로 유도 전류가 발생하지 않는다.

ㄷ. (다)에서 B는 A에 의해 A가 만드는 자기장 방향으로 자기화되면서 서로 인력을 작용한다.



Ⅲ. 파동과 정보 통신

1

파동의 성질과 이용



01 파동의 진행과 굴절

232쪽

완자샘
비법특강

Q1 굴절

Q2 ㉠ 느려, ㉡ 아래쪽

Q1 밀도가 균일하지 않은 공기층을 지나는 빛이 연속적으로 굴절되면 신기루나 아지랑이가 생긴다.

Q2 기온이 높을수록 소리의 진행 속력이 빨라지기 때문에 상층에 비해 빨리 생각되어 온도가 낮은 지표면 쪽으로 소리가 굴절한다.

개념 확인 문제

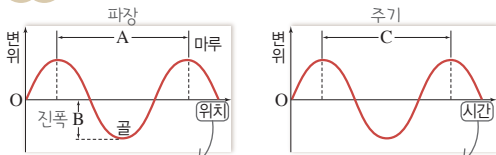
233쪽

- ① 진폭 ② 파장 ③ 진동수 ④ 주기 ⑤ 파장
⑥ 파장 ⑦ 속력 ⑧ 사인값 ⑨ 굴절률

- 1 (1) × (2) ○ (3) ○ 2 A : 파장, B : 진폭, C : 주기
3 (1) ○ (2) ○ (3) × 4 3 m/s 5 L 6 (1) ○ (2) ×
(3) ○ 7 파동의 굴절

- 1 (1) 파동이 진행할 때 매질은 제자리에서 진동만 할 뿐 이동하지 않는다.
(2) 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직인 파동은 횡파, 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동은 종파이다.
(3) 횡파의 예로는 물결파, 전자기파, 지진파의 S파 등이 있고, 종파의 예로는 음파, 지진파의 P파 등이 있다.

2 꼼꼼 문제 분석



- 어느 순간 파동의 모습을 위치에 따라 나타낸 그래프로, 진폭과 파장을 알 수 있다.
- 매질의 한 점이 진동하는 모습을 시간에 따라 나타낸 그래프로, 진폭, 주기, 진동수를 알 수 있다.

A는 마루와 마루 사이의 거리이므로 파장에 해당하고, B는 진동의 중심에서 골까지의 거리이므로 진폭에 해당한다. 또, C는 매질이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간이므로 주기에 해당한다.

- 3 (1) 4개의 파장이 12 m이므로, 파장은 $\frac{12 \text{ m}}{4} = 3 \text{ m}$ 이다.
(2) 4개의 파장이 진행하는 시간이 2초이므로, 한 파장이 진행하는 데 걸리는 시간인 주기는 $\frac{2 \text{ 초}}{4} = 0.5 \text{ 초}$ 이다.

(3) 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{3 \text{ m}}{0.5 \text{ s}} = 6 \text{ m/s}$

4 파동의 속력 = 진동수 × 파장 = $6 \text{ Hz} \times 0.5 \text{ m} = 3 \text{ m/s}$

5 파동이 굴절할 때 입사각과 굴절각의 사인값의 비는 항상 일정하므로, $\frac{\sin i}{\sin r}$ 의 값이 일정하다.

- 6 (1), (3) 공기와 물의 경계면에서 입사각 > 굴절각이므로 공기에서의 속력이 물에서의 속력보다 빠르다.
(2) 파동의 진동수는 매질의 종류에 관계없이 일정하므로, 공기에서의 빛의 진동수와 물에서의 빛의 진동수가 같다.

7 파동이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때, 두 매질의 경계면에서 파동의 진행 방향이 바뀌는 파동의 굴절에 의한 현상이다.

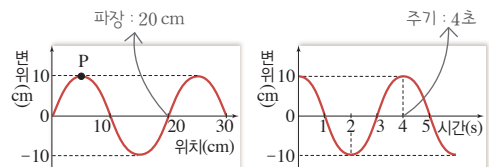
대표 자료 분석

234쪽

- 자료 1 1 10 cm 2 20 cm 3 4초 4 5 cm/s
5 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○
자료 2 1 공기 > 매질 2 > 매질 1 2 $\sqrt{3}$ 3 60° 4 (1) ○
(2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ×

①-1 꼼꼼 문제 분석

변위-위치 그래프에서 파장을 구하고, 변위-시간 그래프에서 주기와 진동수를 구할 수 있다.



진폭은 진동의 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 10 cm이다.

①-2 변위-위치의 그래프에서 파장은 마루에서 마루까지의 거리 또는 골에서 골까지의 거리이므로 20 cm이다.

①-3 변위-시간의 그래프에서 주기는 매질이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간이므로 4초이다.

①-4 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{20 \text{ cm}}{4 \text{ s}} = 5 \text{ cm/s}$ 이다.

①-5 (1) 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{4 \text{ s}} = 0.25 \text{ Hz}$ 이다.
 (2) 진동수가 0.25 Hz이므로, P점은 1초 동안 0.25회 진동한다.
 (3) 주기가 4 s이므로, P점이 1회 진동하는 데 4초가 걸린다.
 (4) 1초는 주기의 $\frac{1}{4}$ 에 해당하므로, P점의 1초 후의 변위는 0이다.
 (5) 파장이 20 cm이므로 한 주기 동안 20 cm를 진행한다.
 (6) 속력은 5 cm/s이므로, 1초 동안 5 cm를 진행한다.

②-1 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$ 의 관계식에서 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 큰 매질에서 빛의 속력이 빠르다. 따라서 빛의 속력을 비교하면 공기 > 매질 2 > 매질 1 순으로 빠르다.

②-2 빛이 공기에서 매질 1로 입사할 때 입사각이 60° 굴절각이 30° 이므로, 공기에 대한 매질 1의 굴절률 = $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3}$ 이다.

②-3 공기에 대한 매질 2의 굴절률은 $\frac{n_2}{n_{\text{공기}}} = \frac{n_1}{n_{\text{공기}}} \times \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} \times \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$ 이므로, 매질 2에 대한 공기의 굴절률은 $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ 이다. 따라서 빛이 매질 2에서 공기로 다시 나올 때 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin r} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ 가 성립하므로, 굴절각 $r = 60^\circ$ 이다.

②-4 (2) 빛이 굴절할 때 빛의 진동수는 매질에 따라 달라지지 않고 항상 일정하다.

(3) $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 의 관계식에서 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 작은 매질에서 빛의 파장이 짧다. 따라서 매질 1에서 빛의 파장이 가장 짧다.

(4) 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은 $\frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ 로, 1보다 작다.

(5) 공기에 대한 매질 2의 굴절률은 $\frac{n_2}{n_{\text{공기}}} = \frac{n_1}{n_{\text{공기}}} \times \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} \times \frac{\sin 30^\circ}{\sin 45^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$ 이다.

(6) $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ 의 관계식에서 빛이 굴절할 때 법선과 이루는 각이 작은 매질일수록 굴절률이 크다. 따라서 굴절률은 매질 1 > 매질 2 > 공기 순으로 크다.

내신 만점 문제

235쪽~239쪽

01 ⑤	02 ③	03 ③	04 ④	05 ①	06 해설
참조	07 ⑤	08 ⑤	09 ②	10 ②	11 해설 참조
12 ③	13 ②	14 ③	15 해설 참조	16 ①	
17 ⑤	18 ④	19 ①	20 ④	21 ①	22 ⑤
23 ②	24 ①	25 ②	26 해설 참조		

01 ①, ② 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸리는 시간은 주기이고, 파장은 한 주기 동안 파동이 진행하는 거리이므로, 주기는 한 파장만큼 이동하는 데 걸리는 시간이다.

③ 진동수는 1초 동안 진동하는 횟수이다.

④ 주기는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸리는 시간, 진동수는 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수이므로 역수 관계이다.

▶ **바로알기** ⑤ 진폭은 매질의 진동 중심에서 마루 또는 골까지 거리이다. 위상이 같은 인접한 두 점 사이의 거리는 파장에 해당한다.

02 ㄷ. 파동의 주기는 0.8초이므로, 파장은 파동이 0.8초 동안 진행한 거리인 0.4 m이다. 따라서 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{0.4 \text{ m}}{0.8 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$ 이다.

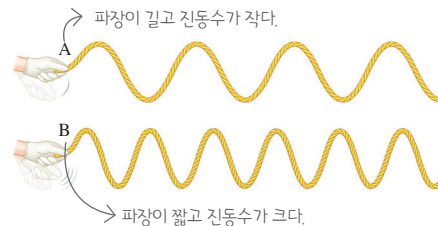
▶ **바로알기** ㄱ. 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 수직이므로 이 파동은 횡파이다.

ㄴ. 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{0.8 \text{ s}} = 1.25 \text{ Hz}$ 이다.

03 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 이므로 $340 \text{ m/s} = 680 \text{ Hz} \times \lambda$ 에서 파장 $\lambda = 0.5 \text{ m}$ 이다.

04 **꼼꼼** 문제 분석

종류가 같은 줄 A, B에서 파동의 속력은 같다. 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 에서 파동의 속력이 같을 때 파장과 진동수는 반비례한다.

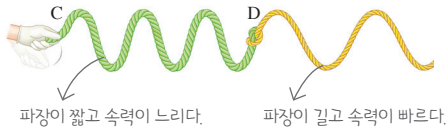


ㄱ. 손으로 줄을 흔들어 파동을 만들므로, 줄에 생긴 파동의 진동수는 손이 줄을 흔드는 진동수와 같다.

ㄴ. 같은 종류의 줄에 생기는 파동의 속력은 같으므로, A에 생긴 파동의 속력과 B에 생긴 파동의 속력은 같다.

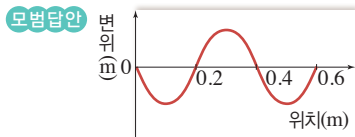
■ **바로알기** ㄷ. 파동의 전파 속력 $v=f\lambda$ 에서 파동의 속력이 같을 때 파장과 진동수는 반비례하므로, A에 생긴 파동의 진동수는 B에 생긴 파동의 진동수보다 작다.

05 **꼭꼭** 문제 분석



파장은 C보다 D가 길며, 손이 줄을 흔드는 진동수와 줄에 생긴 파동의 진동수가 같으므로 줄 C와 D에서 파동의 진동수는 같다. 또 파동의 전파 속력 $v=f\lambda$ 에서 파동의 진동수 f 가 같을 때 속력은 파장에 비례하므로, C에 생긴 파동의 속력은 D에 생긴 파동의 속력보다 느리다.

06 파동의 주기가 4초이므로, 2초 후 파동은 반파장만큼 진행하여 마루이었던 지점은 골이 되고, 골이었던 지점은 마루가 된다.



07 ㄱ. 파동의 진행 방향은 x 축 방향이고 매질은 y 축 방향으로만 진동하므로, 이 파동은 횡파이다.

ㄴ. 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 0.4초가 걸리므로, 1초 동안 2.5회 진동한다. 따라서 진동수는 2.5 Hz이다.

ㄷ. 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{0.4 \text{ m}}{0.4 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}$ 이다.

08 (가)에서 A, B에 생긴 파동의 파장은 비는 1 : 2이고 (나)에서 A, B에 생긴 파동의 주기의 비는 2 : 3이다. 파동의 속력은 파장을 주기로 나눈 값이므로, A, B에 생긴 파동의 속력의 비는 $\frac{1}{2} : \frac{2}{3} = 3 : 4$ 이다.

09 ㄴ. 파장이 8 cm, 주기가 0.8초이므로, 파동의 속력 = $\frac{\text{파장}}{\text{주기}} = \frac{8 \text{ cm}}{0.8 \text{ s}} = 10 \text{ cm/s}$ 이다. 또는 파동의 마루가 P에서 P'까지 2 cm 이동하는 데 걸린 시간이 0.2초이므로, 속력 = $\frac{\text{거리}}{\text{시간}} = \frac{2 \text{ cm}}{0.2 \text{ s}} = 10 \text{ cm/s}$ 로 구할 수 있다.

■ **바로알기** ㄱ. 파동의 마루가 P에서 P'까지 진행할 때 $\frac{1}{4}$ 파장이 이동한 것이다. 이때 걸린 시간이 0.2초이므로, 한 파장이 진행하는 데 걸리는 시간, 즉 주기는 0.8초가 된다.

ㄷ. 횡파의 진행 방향과 매질의 진동 방향은 수직이므로, P점의 매질의 운동 방향은 위아래 방향이다. P점의 매질은 마루의 위치에서 아래쪽 방향인 진동의 중심 쪽으로 운동한다.

10 ㄱ, ㄴ. 매질에 따라 파동의 속력이 다르기 때문에 파동이 서로 다른 매질의 경계면을 비스듬히 통과할 때 파동의 굴절 현상이 일어난다.

■ **바로알기** ㄷ. 파동의 진동수는 파원의 특성과 관계되므로 매질이 달라지더라도 변하지 않고 항상 일정하다.

11 아스팔트에서 잔디로 먼저 진입한 바퀴의 속력이 아직 아스팔트에 남아 있는 바퀴보다 느리기 때문에 진행 방향이 꺾인다. 따라서 파동이 서로 다른 매질을 통과할 때 파동의 속력이 달라지기 때문에 파동이 굴절한다.

■ **모범답안** 파동이 서로 다른 매질을 통과할 때 파동의 속력이 달라지기 때문이다.

채점 기준	배점
파동이 서로 다른 매질을 통과할 때 파동의 속력이 달라지기 때문이라고 서술한 경우	100 %
그 외의 경우	0 %

12 ㄴ, ㄷ. 빛이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때 입사각과 굴절각의 사인값의 비는 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률과 같고 두 매질에서의 속력의 비 또는 파장의 비와 같으므로 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} =$

$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$ 가 성립한다. 따라서 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률과

같은 값을 갖는 것은 $\frac{v_1}{v_2}$ 과 $\frac{\sin i}{\sin r}$ 이다.

■ **바로알기** ㄱ. $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ 는 매질 2에 대한 매질 1의 굴절률과 같다.

ㄷ. $\frac{n_1}{n_2}$ 는 매질 2에 대한 매질 1의 굴절률과 같다.

13 ㄱ. 빛의 진동수는 매질이 달라져도 일정하므로 매질 A에서 빛의 진동수는 진공에서와 같다.

ㄴ. 매질 A의 굴절률 $n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{c}{v} = \sqrt{3}$ 이므로 $v = \frac{c}{\sqrt{3}}$ 이다. 따라서 매질에서 빛의 속력은 진공에서보다 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배로 느려진다.

■ **바로알기** ㄷ. 진공과 매질 A에서 빛의 파장을 λ_1 , λ_2 라고 할 때 매질 A의 굴절률 $n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{3}$ 이므로 $\lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1$ 이다.

따라서 빛의 파장은 매질 A에서가 진공에서보다 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배로 짧아진다.

14 ㄷ. 스넬 법칙 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 에서 두 매질의 굴절률 n_1 , n_2 의 차이가 클수록 입사각 i 와 굴절각 r 의 차이가 커진다. 따라서 같은 입사각에 대해 굴절각이 가장 작은 경우는 공기에서 다이아몬드로 빛이 진행할 때이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 매질의 굴절률이 클수록 빛의 속력이 느리므로, 빛의 속력은 굴절률이 가장 큰 다이아몬드에서 가장 느리다.

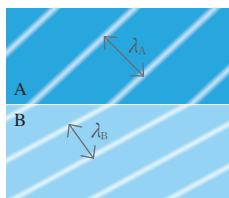
ㄴ. 스넬 법칙 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 에서 $n_1 > n_2$ 일 때 $i < r$ 이다. 빛이 유리에서 물로 진행할 때 유리의 굴절률이 물의 굴절률보다 크므로, 입사각보다 굴절각이 크다.

15 매질의 굴절률 n 은 매질에서의 빛의 속력 v 에 대한 진공에서의 빛의 속력 c 의 비이다. 즉 $n = \frac{c}{v}$ 이므로, 매질의 굴절률이 클수록 매질에서 빛의 속력은 느리다.

☞ **모범답안** 매질의 굴절률이 클수록 매질에서의 빛의 속력은 느리다.

채점 기준	배점
매질의 굴절률이 클수록 매질에서의 빛의 속력이 느리다고 서술한 경우	100 %
그 외의 경우	0 %

16 **꼼꼼** 문제 분석



- 파장 : $\lambda_A > \lambda_B$
- 파동의 속력 : $v = f\lambda$ 에서 진동수 f 가 일정할 때 속력 v 와 파장 λ 는 비례하므로, $\lambda_A > \lambda_B$ 이다.
- 물의 깊이 : 깊이가 깊을수록 물결파의 속력이 빠르므로, A가 B보다 깊다.

② 물결파의 파장은 파면과 파면 사이의 거리로 알 수 있으므로, 파장은 A에서가 B에서보다 길다.

③ 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 에서 진동수가 같을 때 속력은 파장에 비례하므로, 물결파의 속력은 파장이 긴 A에서가 파장이 짧은 B에서보다 빠르다.

④ 파동의 진행 방향을 파면에 수직하게 그려 보면 입사각의 크기가 굴절각의 크기보다 큰 것을 알 수 있다.

⑤ 물의 깊이가 달라져도 물결파의 진동수가 일정하므로, 진동수의 역수인 주기도 변하지 않는다.

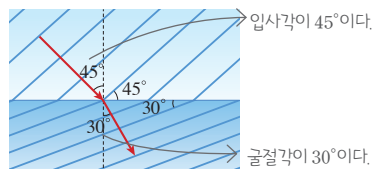
▮ **바로알기** ▮ ① 물의 깊이가 깊을수록 속력이 빠르므로, 물의 깊이는 A가 B보다 깊다.

17 ⑤ 유리판을 넣어 물의 깊이가 얇아진 곳에서는 물결파의

속력이 느려진다. 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 에서 물결파의 진동수가 일정할 때 속력과 파장은 비례하므로 물의 깊이가 얇아진 곳에서는 파장도 짧아진다.

18 **꼼꼼** 문제 분석

파동의 진행 방향과 파면은 수직이다. 따라서 파면과 매질의 경계면이 이루는 각이 입사각 또는 굴절각과 같다.



$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$ 의 관계식에 따라 깊은 물과 얇은 물에서 물결파의 속력의 비는 입사각과 굴절각의 사인값의 비와 같으므로 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}$

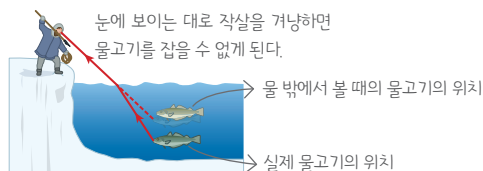
$= \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2}$ 이다.

19 ㄴ. 물결파의 속력은 물의 깊이에 따라 달라지므로, 물의 깊이가 같은 구간 A와 C에서 물결파의 속력은 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 물결파의 진동수는 물의 깊이와 관계없이 일정하므로 진동수의 역수인 주기도 A와 B에서 같다.

ㄷ. 물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 빠르다. 파동의 전파 속력 $v = f\lambda$ 에서 진동수가 일정할 때 속력과 파장은 비례하므로, 파장은 물의 깊이가 깊은 B에서가 깊이가 얇은 C에서보다 길다.

20 **꼼꼼** 문제 분석



물고기에서 오는 빛이 물과 공기의 경계면에서 굴절한다. 이때 물 밖에서 물고기를 보는 사람은 굴절 광선의 연장선상에 물고기가 있는 것으로 인식하므로 물고기는 실제 위치보다 위쪽에 떠 보이게 된다. 따라서 작살을 던져 물고기를 잡을 때는 보이는 곳보다 아래쪽을 겨냥해야 한다. 한편 레이저 총으로 물고기를 잡을 때는 레이저가 공기와 물의 경계면에서 굴절하게 되므로, 보이는 곳을 겨냥하면 된다.

21 ㄱ. 발에서 오는 빛이 물에서 공기로 나올 때 굴절하므로, 실제 발의 위치와 눈에 보이는 발의 위치가 다르다.

❑ **바로알기** ㄴ. 빛이 물에서 공기로 나올 때 입사각보다 굴절각이 커지는 방향으로 굴절하므로 물 밖에서 보는 사람은 굴절 광선의 연장선상에 별이 있는 것으로 보게 된다. 따라서 다리가 실제로 다 짧아 보인다.

ㄷ. 물의 굴절률보다 공기의 굴절률이 작으므로 빛이 물속에서 공기로 나올 때 속력이 빨라진다.

22 ㄱ. 교정에 사용되는 렌즈는 공기와 유리의 경계면에서 빛이 굴절하는 현상을 활용한다.

ㄴ. (가)는 물체의 상이 망막 앞쪽에 생기는 근시안이므로 오목 렌즈를 이용하여 빛이 퍼지게 하여 망막에 상이 맺히도록 교정한다.

ㄷ. (나)에서 사용한 렌즈는 볼록 렌즈이므로, 렌즈를 책에 가까이 대고 보면 글자가 크게 보인다.

23 ①, ④ 신기루나 아지랑이가 나타나는 현상은 빛이 밀도가 불균일한 공기를 지나며 굴절하기 때문이다.

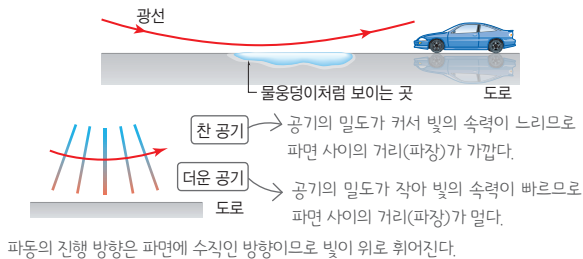
③ 물이 담긴 컵 속의 빨대가 꺾여 보이는 현상은 빛이 물에서 공기로 나올 때 굴절하기 때문이다.

⑤ 소리가 낮보다 밤에 더 멀리까지 퍼지는 현상은 공기의 온도에 따라 소리의 속력이 달라 굴절하기 때문이다.

❑ **바로알기** ② 호수의 물에 주변 경치가 비쳐 보이는 것은 빛의 반사에 의한 현상이다.

24 **문제 분석**

더운 여름날 아스팔트 도로에 물웅덩이가 있는 것처럼 보이는 까닭은 가열된 공기층을 지나는 빛의 속력이 달라져서 연속적으로 굴절하기 때문이다.



ㄱ. 같은 매질에서도 온도나 밀도와 같은 매질의 특성이 달라지면 파동의 굴절 현상이 일어난다.

❑ **바로알기** ㄴ. 공기의 밀도가 작을수록 빛의 속력은 빠르다.

ㄷ. 도로면에 가까울수록 공기의 온도가 높아서 밀도가 작으므로 빛의 속력은 빠르다.

25 빛이나 소리가 연속적으로 굴절할 때는 빛이나 소리의 속력이 느려지는 쪽으로 굴절한다.

ㄷ. 지면에 가까울수록 소리의 속력은 느리므로, 공기의 온도는 지면에 가까울수록 낮다.

❑ **바로알기** ㄱ, ㄴ. 지면에 가까울수록 공기의 온도가 낮아 소리의 속력은 느려지므로 소리가 지면을 향해 굴절하는 현상은 밤에 나타난다.

26 공기의 밀도는 지표면에 가까울수록 크며, 밀도가 클수록 빛의 속력은 느려진다. 따라서 별빛이 연속적으로 굴절하여 우리 눈에 들어올 때 굴절 광선의 연장선상에 별이 있는 것으로 인식하므로, 별의 고도는 실제 고도보다 더 높게 관측된다.

❑ **모범답안** 지표면에 가까울수록 공기의 밀도가 커져 빛의 속력이 느려진다. 따라서 별빛이 연속적으로 굴절하여 우리 눈에 들어오므로, 별의 고도는 실제 고도보다 더 높게 관측된다.

채점 기준	배점
지표면에 가까울수록 공기의 밀도가 커져 빛의 속력이 느려지므로 별빛이 굴절하기 때문이라고 서술한 경우	100 %
별빛이 굴절하기 때문이라고 서술한 경우	50 %

02 전반사와 전자기파

개념 확인 문제

243쪽

- ① 전반사 ② 임계각 ③ 느린 ④ 빠른 ⑤ 큰
⑥ 작아 ⑦ 광섬유 ⑧ 클래딩 ⑨ 전반사 ⑩ 광통신

- 1 (1) × (2) ○ (3) × 2 ㄱ, ㄷ 3 (1) × (2) ○ 4 ㄱ, ㄴ, ㄷ 5 ㉠ 작음, ㉡ 큰, ㉢ 전반사 6 (1) ㉣ (2) ㉤ (3) ㉥

1 일반적으로 빛이 다른 매질의 경계면을 통과할 때 일부는 굴절하고 일부는 반사하는데, 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상을 전반사라고 한다.

(1) 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사할 때 일어난다.

(2) 굴절각이 90°가 될 때의 입사각을 임계각이라고 한다.

(3) 입사각이 임계각보다 커야 전반사가 일어날 수 있다.

2 ㄱ. 빛이 굴절률이 작은 매질인 공기에서 큰 매질인 물로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 작으며 굴절과 반사가 동시에 일어난다.

ㄴ. 빛이 굴절률이 작은 매질인 공기에서 큰 매질인 물로 진행할 때에는 전반사가 일어나지 않는다.

ㄷ. 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 입사각보다 굴절각이 크다.

르. 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 클 경우에 전반사가 일어난다.

3 (1) 입사각이 30° 일 때 전반사가 일어나므로 굴절각은 90° 이고, 입사각과 반사각이 같으므로 반사각은 30° 이다.

(2) 입사각이 45° 일 때는 임계각보다 크므로 전반사가 일어난다.

4 ㄱ, ㄴ, ㄷ, 잠망경, 내시경, 광섬유는 모두 전반사를 이용한 예이다.

르. 신기루는 빛이 공기 중에서 굴절하여 나타나는 현상이다.

5 광섬유는 굴절률이 작은 클래딩이 굴절률이 큰 코어 부분을 감싸고 있는 구조이다. 광섬유의 코어에 입사한 빛은 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하며 코어를 따라 진행한다.

6 (1) 송신기는 신호를 보내는 장치로, 전기 신호를 빛 신호로 변환시킨다.

(2) 광섬유는 빛의 전반사에 의해 빛 신호를 전송한다.

(3) 수신기는 정보를 수신하는 장치로 빛 신호가 광센서에서 전기 신호로 변환된다.

개념 확인 문제

247쪽

1 전자기파 **2** 빛 **3** 적외선 **4** 자외선 **5** 마이크로파
6 라디오파 **7** X선 **8** 감마(γ)선

1 (1) ○ (2) × (3) ○ (4) × **2** 감마(γ)선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파 **3** 가시광선 **4** (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ **5** 감마(γ)선 **6** (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉢ (4) ㉣ (5) ㉤

1 (1), (3) 전자기파는 매질 없이도 전기장과 자기장이 진동하며 진행되는 파동이다.

(2) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향과 진행 방향이 수직인 횡파이다.

(4) 진공에서 전자기파의 속력은 파장과 진동수에 관계없이 일정하며 빛의 속력과 같다.

2 빛의 속력을 c 라고 할 때 전자기파의 진동수 f 와 파장 λ 사이에는 $c=f\lambda$ 가 성립한다. 한 매질에서 빛의 속력이 일정할 때 진동수와 파장은 반비례한다. 따라서 진동수는 감마(γ)선 > X선 > 자외선 > 가시광선 > 적외선 > 마이크로파 > 라디오파 순으로 크다.

3 전자기파 중 사람이 맨눈으로 감지할 수 있는 것은 가시광선이다.

4 (1) 적외선은 햇빛의 스펙트럼에서 빨간색 바깥쪽에 나타나는 전자기파이다.

(2) 적외선은 가시광선의 빨간색보다 파장이 긴 영역의 전자기파로, 열을 가진 모든 물체는 적외선을 방출한다. 이러한 성질은 열화상 카메라에 이용된다.

(3) 열의 형태로 전달되는 전자기파는 적외선이다.

(4) 자외선에 오래 노출되면 피부가 그을릴 탈 수 있다.

5 감마(γ)선은 전자기파 중에서 진동수가 가장 커서 투과력이 매우 강하고 에너지도 크다.

6 (1) X선은 투과력이 강해 뼈 사진을 찍는 데 이용된다.

(2) 자외선은 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하는 형광 작용을 하므로 위조지폐를 감별하는 데 이용된다.

(3) 적외선은 열을 가진 물체에서 방출되므로, 이를 감지하여 온도를 측정하는 온도계에 이용된다.

(4) 마이크로파는 음식물 속에 포함된 물 분자를 진동시켜 열을 발생하므로 전자레인지에 이용된다.

(5) 감마(γ)선은 투과력이 매우 강하고 큰 에너지를 가지고 있어 암세포를 파괴하여 암을 치료할 수 있다.

대표 자료 분석

248쪽~249쪽

자료 1 **1** (1) 임계각 (2) $\frac{1}{n_1}$ (3) $\frac{n_2}{n_1}$ **2** 유리 > 물 > 공기

3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ×

자료 2 **1** (1) ○ (2) × (3) ○ **2** (1) ㉠ 전기, ㉢ 빛 (2) 전반사

3 (1) ○ (2) × (3) ○

자료 3 **1** (1) ○ (2) ○ (3) × (4) × **2** (1) 횡파 (2) 반비례

(3) 클수록 **3** (1) × (2) ○ (3) ×

자료 4 **1** A : 자외선, B : 적외선 **2** 자외선 **3** X선

4 (1) × (2) × (3) ○ (4) × (5) ○ (6) ○

①-1 (1) 굴절각이 90° 일 때의 입사각을 임계각이라고 한다.

(2) 빛이 굴절률 n_1 인 유리에서 굴절률이 1인 공기로 진행할 때, 입사각이 임계각 θ_1 일 경우 굴절각이 90° 이므로 임계각 θ_1 은 굴절

의 법칙에 따라 $\frac{\sin \theta_1}{\sin 90^\circ} = \frac{n_{\text{공기}}}{n_{\text{유리}}} = \frac{1}{n_1}$ 이므로 $\sin \theta_1 = \frac{1}{n_1}$ 이다.

(3) 빛이 굴절률 n_1 인 유리에서 굴절률이 n_2 인 물로 진행할 때의 임계각 θ_c 는 $\frac{\sin\theta}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1}$ 이므로 $\sin\theta = \frac{n_2}{n_1}$ 이다.

①-2 입사각보다 굴절각이 클 때는 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행하는 경우이다. 따라서 (가)에서 굴절률은 $n_{\text{유리}} > n_{\text{공기}}$, (나)에서 굴절률은 $n_{\text{물}} > n_{\text{공기}}$ 이다. 또 굴절률의 차이가 클수록 굴절하는 정도가 커지는데, (가)가 (나)보다 굴절하는 정도가 크므로 유리의 굴절률이 물의 굴절률보다 크다. ($n_{\text{유리}} > n_{\text{물}}$) 따라서 굴절률은 유리 > 물 > 공기 순이다.

①-3 (1) 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때, 즉 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 진행할 때 일어난다. 따라서 굴절률이 작은 매질에서 굴절률이 큰 매질로 진행할 때는 전반사가 일어날 수 없다.

(2) 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 입사한 빛이 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상이다.

(3) 전반사의 임계각 $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 두 매질의 굴절률 n_1, n_2 의 차이가 클수록 임계각 θ_c 의 크기는 작아진다.

(4) 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행할 때 일어난다.

(5) 빛이 공기에서 물로 진행할 때는 빛이 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 진행하는 경우이므로 전반사가 일어나지 않는다.

②-1 (1) 광섬유는 중심 부분의 코어와 이를 감싼 클래딩의 이중 구조로 되어 있다.

(2) 광섬유의 코어 속으로 입사한 빛이 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하며 코어를 따라 진행한다.

(3) 광섬유 속에서 빛은 전반사하면서 진행하므로 빛의 속력은 코어에서가 클래딩에서보다 느리다.

②-2 광통신은 음성, 영상 등의 정보가 담긴 전기 신호가 A(송신기)에서 빛 신호로 전환되고, 광섬유를 통해 빛 신호가 전송된 후 수신기에서 다시 전기 신호로 전환된다. 광섬유에서는 전반사 현상에 의해 빛이 진행한다.

(1) 광통신 과정 중 A는 송신기로, ㉠전기 신호를 ㉡빛 신호로 바꾸어 주는 장치가 필요하다.

(2) 빛 신호는 광섬유 속에서 전반사하면서 진행한다.

②-3 (1) 광통신은 에너지 손실이 적어 광 증폭기를 설치하는 구간 사이의 거리가 길다.

(2) 광섬유가 휘어져 있어도 빛이 전반사 현상으로 코어를 따라 진행할 수 있다.

(3) 광섬유를 통해 전달되는 빛 신호는 외부 전자기파의 간섭을 받지 않아 잡음과 혼선이 없으며 도청이 어렵다는 장점이 있다.

③-1 (1), (2) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 전자기파의 진행 방향과 수직인 파동이다. 따라서 ㉠은 자기장이다.

(3) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향에 각각 수직인 파동이므로 진행 방향은 $+z$ 방향이다.

(4) ㉡은 전자기파의 파장으로, 파장이 길수록 전자기파의 에너지가 작다.

③-2 (1) 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 진행 방향과 수직인 횡파이다.

(2) 빛의 속력을 c 라고 할 때 전자기파의 진동수 f 와 파장 λ 사이에는 $c = f\lambda$ 가 성립한다. 한 매질에서 빛의 속력이 일정할 때 진동수와 파장은 반비례한다.

(3) 전자기파의 에너지는 진동수가 클수록 크다.

③-3 (1) 전자기파는 매질이 없어도 전파되는 파동이며, 전기장과 자기장의 진동으로 전파된다.

(2) 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 빛의 속력과 같다.

(3) 전자기파의 속력은 진공에서는 빛의 속력과 같지만, 진공이 아닌 매질에서는 온도나 밀도 등의 매질의 상태에 따라 속력이 변한다.

④-1 가시광선보다 파장이 짧은 A는 자외선이고, 가시광선보다 파장이 긴 B는 적외선이다.

④-2 미생물을 파괴할 수 있는 살균 기능과 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하는 형광 작용은 자외선이 가지는 성질이다.

④-3 투과력이 강해 물체의 내부나 인체 내부의 모습을 알아보는 데 이용되는 전자기파는 X선이다.

④-4 (1) A는 자외선이며, 열작용을 하는 것은 적외선이다.

(2) B는 적외선이며, 살균 작용을 하는 것은 자외선이다.

(3) 가시광선은 파장에 따라 다른 색으로 보인다. 파장이 가장 긴 가시광선은 빨간색으로 보이고, 파장이 가장 짧은 가시광선은 보라색으로 보인다.

(4) 전자기파 중에서 진동수가 가장 큰 것은 감마(γ)선이며, 전파는 진동수가 가장 작다.

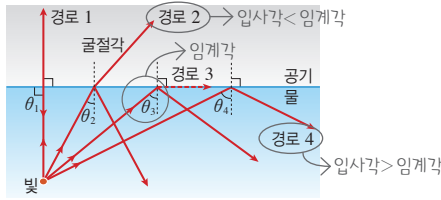
(5) 전자기파는 파장 또는 진동수에 따라 다른 성질을 나타낸다.

(6) 회절은 파장이 길수록 잘 일어나므로, 회절이 가장 잘 일어나는 것은 파장이 긴 전파이다.

- 01 ⑤ 02 ③ 03 해설 참조 04 $\sqrt{3}$ 05 ④
 06 ③ 07 ① 08 ④ 09 해설 참조 10 ⑤
 11 ⑤ 12 ③ 13 ④ 14 해설 참조 15 ⑤
 16 ② 17 ③ 18 ② 19 (나), (다), (가) 20 ①
 21 ⑤

01 꼭꼭 문제 분석

물에서 공기로 빛이 입사할 때 입사각의 크기가 임계각의 크기보다 크면 빛은 경계면에서 굴절하지 않고 모두 반사된다. ⇒ 전반사



- ㄱ. 입사각이 θ_3 일 때 굴절각이 90° 이므로, θ_3 을 임계각이라고 한다.
 ㄴ. 경로 3에서 반사할 때 반사 법칙이 성립하므로, 입사각과 반사각의 크기는 같다.
 ㄷ. 경로 4에서 빛은 전반사하여 굴절하지 않고 전부 반사하므로, 입사광과 반사광의 세기는 같다.

- 02 ㄱ. 물의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크므로, 빛이 물에서 공기로 진행할 때 입사각이 임계각보다 큰 경우 전반사가 일어난다.
 ㄷ. 유리의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크므로, 빛이 유리에서 공기로 진행할 때 입사각이 임계각보다 큰 경우 전반사가 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 물의 굴절률이 유리의 굴절률보다 작으므로, 빛이 물에서 유리로 진행할 때 전반사가 일어나지 않는다.
 ㄷ. 유리의 굴절률이 다이아몬드의 굴절률보다 작으므로, 빛이 유리에서 다이아몬드 진행할 때 전반사가 일어나지 않는다.

03 빛이 한 매질에서 다른 매질로 진행할 때 보통은 경계면에서 굴절과 반사가 동시에 일어난다. 그러나 빛이 굴절률이 큰(속력이 느린) 매질에서 굴절률이 작은(속력이 빠른) 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 클 경우에는 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상이 일어나는데, 이를 전반사라고 한다.

모범답안 전반사는 빛이 서로 다른 매질의 경계면에서 굴절하지 않고 전부 반사하는 현상으로, 굴절률이 큰(속력이 느린) 매질에서 굴절률이 작은(속력이 빠른) 매질로 진행할 때, 입사각이 임계각보다 큰 경우에 일어난다.

채점 기준	배점
전반사의 정의와 전반사의 조건을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
전반사의 정의를 옳게 서술하고, 전반사의 조건 2가지 중 1가지만 서술한 경우	50 %
전반사의 정의나 전반사의 조건 중 한 가지를 옳게 서술한 경우	30 %

04 빛이 굴절률 n_A 인 매질 A에서 굴절률이 n_B 인 매질 B로 진행할 때의 임계각 $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A}$ 이다. 따라서 $\sin 60^\circ = \frac{n_B}{n_A} = \frac{n_B}{2}$ 에서, 매질 B의 굴절률 $n_B = \sqrt{3}$ 이다.

- 05 ㄴ. 현재 조건에서 60° 가 임계각이므로, 입사각 60° 에서 전반사가 일어나려면 임계각의 크기가 작아지도록 굴절률이 다른 매질로 바꾸어야 한다. 빛이 굴절률 n_A 인 매질 A에서 굴절률이 n_B 인 매질 B로 진행할 때의 관계식 $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A}$ 에서 n_B 가 작을수록 임계각은 작아진다. 따라서 물질 B를 굴절률이 더 작은 물질로 바꾸면 임계각의 크기가 작아져 입사각 60° 에서 전반사가 일어난다.
 ㄷ. 현재 60° 가 임계각이므로, 입사각을 60° 보다 크게 하면 전반사가 일어난다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. $\sin i_c = \frac{n_B}{n_A}$ 에서 n_A 가 클수록 임계각은 작아지므로, 물질 A를 굴절률이 큰 물질로 바꾸면 임계각의 크기가 작아져 입사각 60° 에서 전반사가 일어난다.

- 06 ㄱ. 입사각이 굴절각보다 작으므로 A의 굴절률이 B보다 크다.
 ㄴ. 빛이 매질 B에서 C로 진행할 때 전반사되지 않았으므로 임계각이 θ 보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 굴절률이 작은 C에서 굴절률이 큰 A로 빛이 입사하면 전반사가 일어나지 않는다.

07 ㄱ. (가)에서 매질 B에서의 굴절각을 r 라 하면, 스넬 법칙에 의해 $\frac{\sin r}{\sin \theta} = \frac{n_A}{n_B}$ 이다. 이때 $\theta > r$ 이므로 $\sin \theta > \sin r$ 가 되어 $n_A < n_B$ 이다. (나)에서와 같이 단색광이 두 매질의 경계면에서 전반사하기 위해서는 단색광이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 입사해야 하므로 $n_C < n_A$ 이다. 따라서 굴절률은 $n_C < n_A < n_B$ 이므로 매질 B가 매질 C보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. (나)에서 굴절률이 큰 매질 A에서 굴절률이 작은 매질 C로 빛이 진행하여 경계면에서 전반사하였다. 전반사는 빛의 입사각이 임계각보다 큰 조건에서 일어나므로 θ 는 임계각보다 크다. 즉 임계각은 θ 보다 작다.

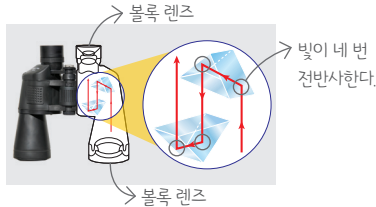
ㄷ. 세 매질에서 굴절률의 크기가 $n_C < n_A < n_B$ 이므로 빛의 속력은 매질 A~C 중 C에서 가장 빠르다.

08 ①, ②, ③, ⑤ 잠수함의 잠망경, 광섬유를 이용한 장식품, 내시경, 다이아몬드는 모두 전반사를 이용한 예이다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 구리 도선은 도선에 전류가 흐를 때 정보를 전달하는 방식으로 전반사와 관계없다.

09 **꼼꼼** 문제 분석

한 쪽 경통에서 두 개의 프리즘이 빛을 네 번 전반사시켜서 상을 바로 세우는 역할을 한다. 그림에서 상하와 좌우가 모두 반대 방향으로 되어서 볼록 렌즈에 의해 거꾸로 생기는 상을 바로 잡을 수 있게 한다.



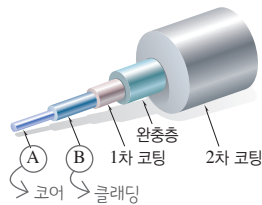
쌍안경은 케플러식(대물렌즈와 접안 렌즈 모두 볼록 렌즈를 사용하여 상이 거꾸로 보임)망원경 2개를 평행으로 장착하여 눈으로 볼 수 있게 한 것으로, 프리즘의 전반사를 이용하여 빛의 손실이 거의 없이 상을 똑바로 보이도록 바꿔 준다. 프리즘을 이용하면 거울의 반사를 이용할 때보다 더 밝은 상을 관찰할 수 있다.

모범답안 프리즘에서의 전반사를 이용해 빛의 손실이 거의 없이 빛의 진행 방향을 바꿀 수 있기 때문이다.

채점 기준	배점
전반사를 이용해서 빛의 손실이 거의 없다고 서술한 경우	100 %
전반사를 이용하기 때문이라고만 서술한 경우	50 %

10 **꼼꼼** 문제 분석

광섬유는 굴절률이 큰 코어를 굴절률이 작은 클래딩이 감싸고 있는 구조이다.

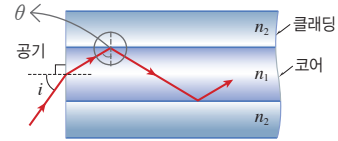


ㄱ. 광섬유는 중앙의 A(코어)와 이를 감싼 B(클래딩)의 이중 구조로 되어 있다.

ㄴ. 광섬유는 음성, 영상 등의 전기 신호를 빛 신호로 바꾸어 전달하는 광통신에 이용된다.

ㄷ. 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 크기 때문에 코어 속으로 진행하는 빛이 코어와 클래딩의 경계면에서 전반사하며 코어를 따라 진행한다.

11 **꼼꼼** 문제 분석



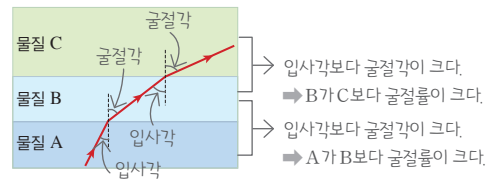
공기에서 코어로 입사하는 빛의 입사각은 i , 굴절각은 $(90^\circ - \theta)$ 이다. 입사각 i 가 커지면 굴절각 $(90^\circ - \theta)$ 도 커지지만, θ 는 작아진다.

ㄴ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질을 향하여 빛이 진행할 때 일어날 수 있으므로, 코어와 클래딩의 굴절률의 관계는 $n_1 > n_2$ 이다.

ㄷ. 코어에서 클래딩을 향해 빛이 진행할 때 전반사의 임계각 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 n_2 가 작을수록 임계각은 작아진다. 따라서 코어와 클래딩의 경계면에 더 작은 각으로 입사해도 전반사가 일어날 수 있다. 이는 공기와 코어의 경계면에 입사하는 빛의 굴절각이 더 커질 수 있다는 것을 의미하며 입사각 i 도 더 커질 수 있는 것을 의미한다. 따라서 i 의 최댓값 i_m 은 커진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질을 향하여 빛이 진행할 때 일어날 수 있으므로, 빛의 속력은 코어에서 클래딩에서보다 느리다.

12 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. 입사각 θ 의 각으로 코어와 클래딩의 경계면에 입사한 빛이 전반사하므로, θ 는 임계각보다 크다.

ㄴ. 물질 A에서 물질 B로 진행하는 빛의 입사각보다 굴절각이 크므로, A의 굴절률이 B의 굴절률보다 크다. 또 물질 B에서 물질 C로 진행하는 빛의 입사각보다 굴절각이 크므로, B의 굴절률이 C의 굴절률보다 크다. 따라서 물질 A, B, C의 굴절률의 크기는 $A > B > C$ 이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 코어의 굴절률이 클래딩보다 커야 하므로, 클래딩을 B로 만들었다면 코어는 B보다 굴절률이 큰 A로 만들어야 한다.

13 ①, ②, ③ 광통신은 광섬유에서의 빛의 전반사를 이용하여 에너지의 손실이 거의 없이 많은 양의 정보를 동시에 교환하는 것이 가능하다. 그러나 빛의 전반사를 이용하더라도 코어 내에서 빛이 일부 흡수되어 세기가 약해지므로, 중간에 광 증폭기를 사용하여 빛 신호를 증폭한다.

⑤ 광섬유의 구조상 광섬유가 끊어졌을 때 연결하기 어렵다.

▮ **바로알기** ▮ ④ 광섬유 속으로 진행하는 빛은 외부 전자기파의 영향을 받지 않으므로 혼선이나 잡음이 없으며, 도청이 불가능하다.

14 모범답안 • 대용량의 정보를 동시에 주고받을 수 있다. • 에너지 손실이 적으므로 증폭기 설치 구간 사이의 거리가 길다. • 외부 전자기파의 영향을 받지 않아 혼선이나 잡음이 없고 도청이 어렵다. 등

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

15 ① 전자기파는 전기장과 자기장의 진동으로 전파되는 파동으로 매질이 없어도 전파할 수 있다.

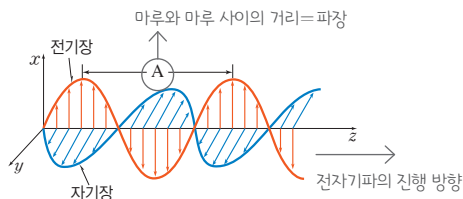
② 전자기파의 파장이 짧을수록 직진성이 강하며 에너지가 크다.

③ 진공에서의 속력은 빛의 속력과 같으므로 전자기파의 속력 $c=f\lambda$ 에서 속력 c 가 일정할 때 파장 λ 와 진동수 f 는 반비례한다.

④ 전자기파도 파동의 한 종류이므로 파동의 일반적인 성질인 반사, 굴절을 일으킨다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ 진공에서 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 3×10^8 m/s로 일정하다.

16 **꼼꼼** 문제 분석



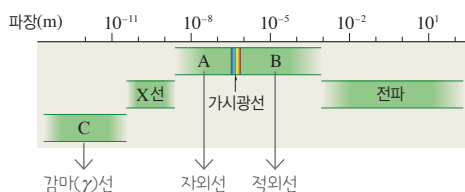
㉔. A는 전자기파의 파장에 해당하는 길이이다.

▮ **바로알기** ▮ ㉓. 전자기파는 전기장과 자기장의 진동 방향이 파동의 진행 방향과 수직인 횡파이다.

㉔. 전자기파는 전기장의 진동이 최대일 때 자기장의 진동도 최대이다.

17 **꼼꼼** 문제 분석

비슷한 성질을 가진 전자기파끼리 구간을 나누면 파장이 짧은 영역부터 감마(γ)선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 마이크로파, 라디오파로 구분할 수 있다.



㉓. A는 가시광선보다 파장이 짧고 X선보다 파장이 긴 자외선으로 살균이나 소독에 이용된다.

㉔. C는 파장이 가장 짧은 감마(γ)선으로, 진동수가 가장 크다. 따라서 C는 B보다 진동수가 크다.

㉔. A와 B는 각각 자외선과 적외선으로 모두 눈으로 볼 수 없다.

▮ **바로알기** ▮ ㉔. 진공에서의 전자기파의 속력은 파장에 관계없이 동일하므로 속력은 A와 B가 같다.

18 체온계는 귀의 고막에서 나오는 적외선을 분석해 체온을 측정하며, 전자레인지의 마이크로파를 이용해 음식물에 포함된 물 분자를 진동시켜 열이 발생하게 하며, 식기 소독기는 자외선의 살균 기능을 이용하여 식기를 소독한다.

㉔. 진공에서 전자기파의 속력은 종류에 관계없이 모두 같다.

▮ **바로알기** ▮ ㉓. (가)는 적외선을, (나)는 마이크로파를, (다)는 자외선을 이용한 예이다. 파장은 (가)의 적외선이 (다)의 자외선보다 길다.

㉔. (다)의 전자기파는 자외선이다.

19 (가) 햇빛을 프리즘으로 분산시켰을 때 보라색 바깥쪽에 나타나는 전자기파는 자외선이다.

(나) 통신에 주로 사용되는 전자기파는 전파이다.

(다) 햇빛이나 난로와 같이 뜨거운 물체로부터 열의 형태로 전달되는 전자기파는 적외선이다.

파장의 길이는 전파 > 적외선 > 자외선이므로, 파장이 긴 것부터 짧은 순으로 쓰면 (나) > (다) > (가)이다.

20 ① 마이크로파는 물체의 속도를 측정하는 속도 측정기에 이용되거나 선박과 항공기의 운항 추적, 기상 예측, 군사 등의 목적으로 사용되는 레이더에 이용된다.

21 ① 감마(γ)선은 투과력이 매우 강하고 큰 에너지를 가지고 있어 암세포를 파괴하여 암을 치료할 수 있다.

② X선은 투과력이 강해 뼈 사진을 찍는 데 이용된다.

③ 자외선은 물질 속에 포함된 형광 물질에 흡수되면 가시광선을 방출하는 형광 작용을 하므로 위조지폐를 감별한다.

④ 낮에는 사물에서 반사되는 가시광선을 이용하여 촬영을 하거나 사진을 찍지만, 밤에는 CCTV와 적외선카메라에 장착된 적외선LED에서 방출되는 적외선이 사물에서 반사되는 것을 이용하여 녹화를 하거나 사진을 찍는다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ 파장이 짧을수록 직진성이 강하고 파장이 길수록 회절하는 정도가 커서 장애물 뒤로 잘 퍼져 나가므로 멀리 전파된다. 전파는 파장이 길어서 회절하는 정도가 크기 때문에 라디오나 텔레비전 방송에 이용된다.

03 파동의 간섭

개념 확인 문제

257쪽

- ① 중첩 ② 독립성 ③ 간섭 ④ 보강 ⑤ 상쇄
⑥ 커 ⑦ 작아 ⑧ 밝아 ⑨ 어두워

- 1 (1) ○ (2) × 2 중첩 원리 3 7 cm 4 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄
5 P : 보강 간섭, Q : 상쇄 간섭 6 (1) × (2) ○ (3) ○
7 간섭 8 ㄱ, ㄴ, ㄹ

1 (1) 두 파동의 마루와 골이 만나면 합성파의 진폭이 작아진다.
(2) 변위가 같은 방향의 두 파동이 중첩되면 합성파의 진폭이 커진다.

2 두 파동이 겹쳐질 때 합성파의 각 지점의 변위는 그 점을 지나는 두 파동의 변위를 더한 것과 같아지는 원리를 중첩 원리라고 한다.

3 파동의 중첩 원리에 따라 최대 진폭은 $4\text{ cm} + 3\text{ cm} = 7\text{ cm}$ 이다.

4 진폭이 같은 파동이 ㉠보강 간섭을 하면 합성파의 진폭은 2배가 되고, ㉡상쇄 간섭을 하면 합성파의 진폭은 0이 된다.

5 P점은 가장 밝은 곳으로, 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어난다. Q점은 밝기 변화가 거의 없는 곳으로 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난다.

6 (1) 진동수가 같은 두 소리가 반대 위상으로 만나면 상쇄 간섭하므로 공기의 진폭이 작아져 작게 진동한다.
(2) 진동수가 같은 두 소리가 같은 위상으로 만나면 보강 간섭이 일어나므로 소리가 커진다.
(3) 진동수가 같은 두 소리의 경로차가 반파장의 홀수 배일 때 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 만나므로 상쇄 간섭을 한다.

7 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 가시광선 영역의 빛이 간섭을 일으켜 여러 가지 색의 무늬가 나타난다.

8 ㄱ, ㄴ, ㄹ. 소음 제거 헤드폰, 무반사 코팅, 홀로그램은 모두 파동의 간섭 원리를 이용한 것이다.
ㄷ. 광통신은 빛의 전반사를 이용한 것이다.

대표 자료 분석

258쪽

- 자료 1 1 (1) 보강 (2) 보강 (3) 상쇄 2 ㉠ 보강, ㉡ 상쇄
3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○
자료 2 1 A : 보강 간섭, B : 상쇄 간섭 2 ㉠ 간섭, ㉡ 경로차
3 (1) ○ (2) ○ (3) ○ (4) × (5) ○

①-1 (1) P점은 골과 골이 만나므로 보강 간섭이 일어난다.
(2) Q점은 마루와 마루가 만나므로 보강 간섭이 일어난다.
(3) R점은 마루와 골이 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

①-2 두 점파원 S_1, S_2 에서 진폭과 파장이 같은 물결파를 같은 위상으로 발생시키면 밝기가 크게 바뀌는 부분과 밝기가 일정한 부분이 나타난다. 이때 밝기가 크게 바뀌는 부분은 ㉠보강 간섭이 일어난 곳이고, 밝기가 일정한 부분은 ㉡상쇄 간섭이 일어난 곳이다.

①-3 (1) 가장 밝은 부분은 마루와 마루가 만나 중첩되는 곳이므로 보강 간섭이 일어나는 곳이다.
(2) 가장 어두운 부분은 골과 골이 만나 중첩되는 곳이므로 보강 간섭이 일어나는 곳이다.
(3) P에서는 골과 골이 만난다.
(4) Q에서 두 파원까지의 거리가 같으므로, 두 파동의 경로차가 0이다.
(5) R에서 두 파원 S_1, S_2 까지의 거리의 차는 $|3\lambda - \frac{3}{2}\lambda| = \frac{3}{2}\lambda = \frac{\lambda}{2} \times 3$ 이므로, 경로차는 반파장($\frac{\lambda}{2}$)의 홀수 배이다.

②-1 (가)의 A에서는 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어나고, B에서는 두 파동이 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어난다.

②-2 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 두 빛이 ㉠간섭을 일으킬 때, 두 빛의 ㉡경로차에 따라 다른 색깔의 빛이 보인다.

②-3 (1) 소음 제거 헤드폰은 주위의 소음과 반대 위상의 파동을 만들어 이 파동과 소음이 상쇄 간섭을 일으키게 하는 것이므로 (가)의 B와 같은 원리를 이용한 것이다.
(2) A에서는 두 파동이 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어나므로 소리가 크게 들린다.
(3) (나)에서 비눗방울을 바라보는 각도에 따라 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛의 경로차가 달라져 보강 간섭하는 빛의 파장이 달라지므로, 보이는 색깔이 달라진다.

(4) (나)의 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛 중 보강 간섭하는 파장의 빛이 보인다.

(5) 물 위에 뜬 기름 막의 색깔이 다양하게 보이는 것도 빛의 간섭 현상에 의한 것이다.

내신 만점 문제

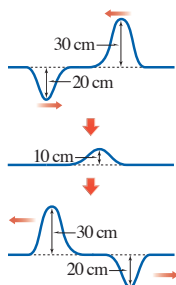
259쪽~261쪽

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

01 파동의 중첩 원리에 따라 변위의 방향이 반대인 두 파동이 중첩되었을 때의 진폭은 두 파동의 원래 진폭의 차이와 같다. 중앙에 놓인 물체가 튕겨나갔다면, 물체가 놓인 거리 y 는 두 파동이 중첩되었을 때의 진폭보다 작다. 따라서 $y_A - y_B > y$ 일 때이므로 ③이 가능하다.

02 꼬꼬 문제 분석

두 파동이 만나 겹쳐지면 합성파의 변위는 각 파동의 변위를 더한 것과 같고, 중첩 후 두 파동은 겹쳐지기 전의 파동의 모양을 유지하며 독립적으로 진행한다.



변위가 각각 -20 cm, 30 cm인 두 파동이 서로 반대 방향으로 진행하고 있다.

두 파동이 겹쳐질 때 합성파의 변위는 $(-20 \text{ cm}) + 30 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$ 이다.

중첩이 끝난 후 두 파동은 겹쳐지기 전의 파형으로 진행하던 방향으로 계속 진행한다.

파동의 독립성에 의해 두 파동은 중첩된 후 각각 원래의 파형을 그대로 유지한다. 따라서 ④와 같은 모습으로 멀어진다.

03 파동이 만나 중첩된 후 각각의 파동은 다른 파동에 아무런 영향을 주지 않고 본래의 파동의 모양을 그대로 유지하면서 독립적으로 진행되는 성질을 파동의 독립성이라고 한다.

모범답안 파동이 중첩된 이후 각 파동은 중첩되기 전의 파형을 그대로 유지하면서 진행되는 성질을 말한다.

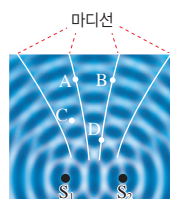
채점 기준	배점
중첩된 이후 각 파동이 중첩되기 전의 파형을 그대로 유지하면서 진행되는 성질이라고 서술한 경우	100 %
중첩된 이후 각 파동은 중첩되기 전과 같다고 서술한 경우	80 %

04 ㄱ. 중첩 원리에 따라 두 파동이 서로 만나 중첩된 합성파의 변위는 각 파동의 변위의 합과 같다.

ㄴ. 파동이 반대 위상으로 중첩할 때 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 중첩되므로 합성파의 진폭은 작아진다.

바로알기 ㄷ. 한 파동의 마루와 다른 파동의 골이 중첩되는 경우 상쇄 간섭이 일어난다.

05 꼬꼬 문제 분석



- A, B, D : 상쇄 간섭이 일어나는 점
- C : 보강 간섭이 일어나는 점

③ 점 C는 밝고 어두운 무늬가 나타나는 보강 간섭이 일어나는 점이므로, 두 물결파의 마루와 마루 또는 골과 골이 만난다.

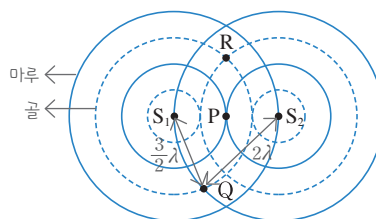
바로알기 ① 점 A는 상쇄 간섭이 일어나는 마디선에 있으므로, 수면이 거의 진동하지 않는다.

② 점 B는 상쇄 간섭이 일어나는 마디선에 있으므로, 두 물결파가 반대 위상으로 만난다. 즉 물결파의 골과 마루 또는 마루와 골이 만난다.

④ 점 C는 밝고 어두운 무늬가 나타나는 위치에 있으므로 보강 간섭이 일어나는 곳에 있다. 따라서 수면의 진폭이 커서 수면의 높이가 변한다.

⑤ 점 D는 마디선에 있으므로 상쇄 간섭이 일어난다.

06 꼬꼬 문제 분석



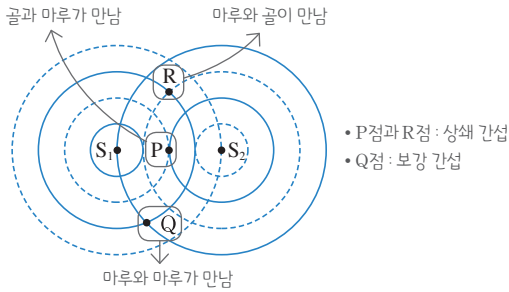
- P점 : 마루와 마루가 만남 $\Rightarrow$ 보강 간섭
- Q점 : 마루와 골이 만남 $\Rightarrow$ 상쇄 간섭
- R점 : 골과 골이 만남 $\Rightarrow$ 보강 간섭

ㄱ. P점에서는 두 파동의 마루와 마루가 만나는 지점이므로 보강 간섭이 일어나 진폭이 커진다.

바로알기 ㄴ. Q는 S_1 으로부터 한 파장 반의 거리에, S_2 로부터 두 파장의 거리에 있으므로, 경로차는 반파장이다.

ㄷ. R에서는 두 파동의 골과 골, 즉 같은 위상으로 만나는 점이므로 보강 간섭이 일어난다.

07 **꼼꼼** 문제 분석



S_1 의 위상이 S_2 와 반대가 되도록 파동을 발생시킨다면, S_1 에서 발생하는 파동의 마루와 골의 위치가 처음과 반대가 된다. Q점에서는 두 파동의 마루와 마루가 만나 보강 간섭이 일어나고, P, R점에서는 두 파동의 마루와 골이 만나 상쇄 간섭이 일어난다.

08 ① 소음 측정기는 두 스피커에서 발생하는 소리가 도달하여 중첩된 합성파를 측정한다.

③ 소리의 크기가 가장 크게 측정되는 곳은 공기의 진폭이 커지는 보강 간섭이 일어나는 곳이다.

④ 이동하면서 소리의 크기를 측정할 때 두 스피커로부터의 경로 차에 따라 보강 간섭과 상쇄 간섭이 번갈아 일어나므로, 측정 결과 소리의 크기가 증가하다가 감소하는 것이 반복된다.

⑤ 두 스피커의 위치를 변화시키면 측정 위치에서 두 스피커까지의 경로차가 달라지므로, 보강 간섭이 일어나 크게 들리는 이웃한 두 지점 사이의 거리가 달라진다.

바로알기 ② 소리의 진동수를 증가시키면 소리의 파장이 짧아지므로 보강 간섭이나 상쇄 간섭이 촘촘히 일어난다. 따라서 크게 들리는 이웃한 두 지점 사이의 거리가 작아진다.

09 ㄱ. 중력에 의해 아랫부분 막의 두께가 두꺼워지고, 이에 따라 빛의 경로차가 달라져 다양한 색의 무늬가 생긴다.

ㄴ. 비누 막의 윗면에서 반사한 빛과 아랫면에서 반사한 빛의 위상이 같아 보강 간섭하면 빛을 볼 수 있는데, 이때 나타나는 빛의 색깔은 막의 두께에 따라 달라진다.

ㄷ. 단색광을 비추면 막의 두께에 따라 상쇄 간섭과 보강 간섭이 번갈아 일어나 밝고 어두운 무늬가 나타난다.

10 ② 빛이 분광기의 좁은 틈을 통과하여 퍼질 때, 관측 각도에 따라 빛의 경로차가 달라져 각 지점별로 특정 파장의 빛이 보강 간섭한 결과를 스펙트럼으로 관찰한다.

③ 공연장을 설계할 때 벽이나 천장에 반사하는 소리가 상쇄 간섭하지 않도록 설계한다.

④ 비눗방울 표면이 무지개빛을 띠는 현상을 비누 막에 의해 빛이 간섭하여 나타나는 것이다.

⑤ 모르포 나비는 날개 표면의 얇은 층에서 파란색 빛이 보강 간섭을 하여 파란색으로 보인다.

바로알기 ① 무지개는 공기 중에 떠 있는 물방울에 햇빛이 입사할 때, 빛의 파장에 따라 굴절하는 정도가 달라져 여러 색으로 나누어져 보이는 것이다.

11 ㄱ. 일반 헤드폰에서는 주변의 소음이 제거되지 않으므로, 음악이 소음과 함께 들린다.

ㄴ. 소음 제거 헤드폰에서 ㉠은 소음을 입력 받는 소음 채집용 마이크이다.

바로알기 ㄷ. 소음 제거 헤드폰의 ㉡은 마이크로 채집한 소음과 반대 위상인 파동을 발생시켜 원래의 소음과 상쇄 간섭시키는 과정이다.

12 소음 채집용 마이크로 주변의 소음을 입력 받으면서 소음과 반대 위상의 파동을 만들어 스피커를 통해 발생시키면, 이 파동이 소음과 상쇄 간섭하여 소음이 제거된다.

모범답안 소음과 반대 위상의 파동을 발생시켜서 소음과 상쇄 간섭하도록 한다.

채점 기준	배점
소음과 반대 위상의 파동을 만들어 스피커로 발생시켜서 소음과 상쇄 간섭하도록 한다고 서술한 경우	100 %
소음을 상쇄 간섭으로 제거한다고만 서술한 경우	50 %

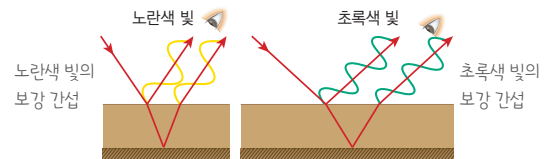
13 ㄱ. 무반사 코팅은 렌즈에 얇은 막을 코팅함으로써 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 빛이 상쇄 간섭하도록 한다.

ㄴ. 무반사 코팅을 한 렌즈는 렌즈 표면에서 반사광이 나타나지 않는 (가)이다.

바로알기 ㄷ. 렌즈에서 빛이 투과하는 정도는 반사하는 빛의 세기가 작을수록 크다. 무반사 코팅을 한 (가)가 (나)보다 반사하는 빛의 세기가 작으므로, (가)가 (나)보다 빛이 투과하는 정도가 크다.

14 **꼼꼼** 문제 분석

두 파동의 위상이 같으므로 두 경우 모두 보강 간섭이 일어나며, 보는 각도에 따라 빛의 파장이 달라져 다른 색깔이 나타난다.



ㄱ, ㄷ. 재료로 사용된 잉크의 표면과 아래에서 반사하는 빛이 간섭을 일으킬 때, 보는 각도에 따라 보강 간섭하는 빛의 파장이 달라져 다른 색깔이 나타난다.

바로알기 ㄴ. 잉크에서 흡수하는 빛이 있다면, 그 빛의 색깔은 보는 각도에 관계없다.

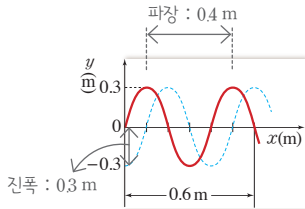
- ① 파장 ② 진동수 ③ 주기 ④ 진동수 ⑤ 일정
⑥ 사인값 ⑦ 코어 ⑧ 클래딩 ⑨ 자외선 ⑩ 적외선
⑪ 크게 ⑫ 작게 ⑬ 상쇄

중단원 마무리 문제

264쪽~267쪽

- 01 ② 02 ④ 03 $\sqrt{2}$ 04 ③ 05 ⑤ 06 ①
07 ⑤ 08 ③ 09 ⑤ 10 ① 11 ③ 12 ④
13 ② 14 ① 15 ① 16 ③ 17 ⑤ 18 ④
19 해설 참조 20 해설 참조 21 해설 참조

01 **문제 분석**



ㄴ. $\frac{1}{4}$ 파장이 진행하는 데 걸리는 시간이 0.2초이므로, 한 파장이 진행하는 데 걸리는 시간인 주기는 0.8초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 $\frac{1}{0.8 \text{ s}} = 1.25 \text{ Hz}$ 이다.

|| **바로알기** || ㄱ. 진폭은 진동의 중심에서 마루 또는 골까지의 거리이므로 0.3 m이다.

ㄷ. 파동이 0.1 m 진행하는 데 0.2초가 걸렸으므로 속력 = $\frac{0.1 \text{ m}}{0.2 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$ 이다.

02 ㄱ. 빛의 굴절은 서로 다른 매질의 경계면을 통과할 때 빛의 속력이 달라지기 때문에 일어난다. 입사각보다 굴절각이 작은 경우는 빛의 속력이 빠른 매질에서 느린 매질로 빛이 진행하는 경우이다. 따라서 매질 1보다 매질 2에서 빛의 진행 속력이 느리다.

ㄴ. 굴절률 n_1 인 매질 1에서 굴절률 n_2 인 매질로 빛이 진행할 때 입사각이 i 굴절각이 r 면 굴절 법칙(스넬 법칙)에 의해 $\frac{\sin i}{\sin r} =$

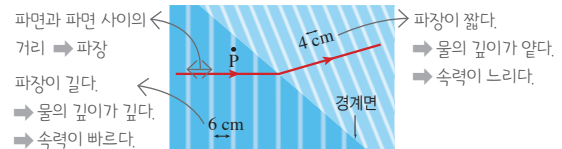
$\frac{n_2}{n_1}$ 이므로 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 이 성립한다.

|| **바로알기** || ㄷ. $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ 에서 $i > r$ 이면 $n_1 < n_2$ 이다.

03 입사각은 입사 광선과 법선이 이루는 각이므로 45° 이고, 굴절각은 굴절 광선과 법선이 이루는 각이므로 30° 이다. 따라서 공기에 대한 매질 A의 굴절률은 $\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{2}$ 이다.

04 물질의 굴절률 n 은 그 물질에서의 빛의 속력 v 에 대한 진공에서의 빛의 속력 c 의 비와 같다. 따라서 $n = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{v} = 1.5$ 에서 물질에서의 빛의 속력 $v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$ 이다.

05 **문제 분석**



물결파의 속력은 물의 깊이가 깊을수록 더 빠르다. 파동의 속력 $v = f\lambda$ 에서 진동수가 일정하므로 속력과 파장은 비례한다. 이때 파장은 이웃한 두 파면 사이의 거리에 해당하므로 파면 사이의 거리가 더 넓은 쪽이 깊은 물이다.

⑤ 깊은 물에 대한 얇은 물의 굴절률은 깊은 물과 얇은 물에서의 파장의 비와 같으므로 굴절률 = $\frac{\text{깊은 물에서의 파장}}{\text{얇은 물에서의 파장}} = \frac{6 \text{ cm}}{4 \text{ cm}} = 1.5$ 이다.

|| **바로알기** || ① P점을 한 파면이 통과한 후 다음 파면이 통과하는 데 걸리는 시간은 주기에 해당하므로, 주기는 0.5초이다. 진동수는 주기의 역수이므로 2 Hz이다.

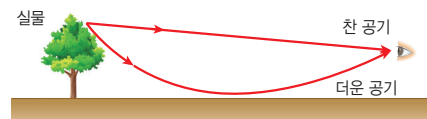
② 물결파가 진행할 때 물의 깊이가 달라져도 진동수와 주기가 일정하므로, 얇은 물에서 물결파의 주기도 0.5초이다.

③ 깊은 물에서의 물결파의 파장 $\lambda = 6 \text{ cm}$, 진동수 $f = 2 \text{ Hz}$ 이므로, 깊은 물에서 물결파의 속력 $v = f\lambda = 2 \text{ Hz} \times 6 \text{ cm} = 12 \text{ cm/s}$ 이다.

④ 얇은 물에서의 물결파의 파장 $\lambda = 4 \text{ cm}$, 진동수 $f = 2 \text{ Hz}$ 이므로, 물결파의 속력 $v = f\lambda = 2 \text{ Hz} \times 4 \text{ cm} = 8 \text{ cm/s}$ 이다.

06 **문제 분석**

신기루는 빛이 밀도가 균일하지 않은 공기층을 통과하면서 속력이 변하여 연속적으로 굴절하여 나타나는 현상이다.

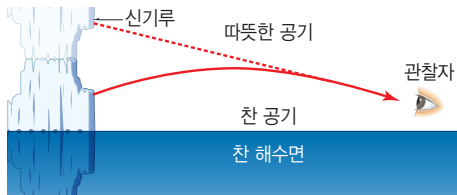


지면 가까이의 공기 온도가 높아짐 $\Rightarrow$ 지면 쪽 공기의 밀도가 작아짐 $\Rightarrow$ 지면 쪽 빛의 속력이 빨라짐 $\Rightarrow$ 빛이 굴절함

ㄱ. 같은 매질이라도 온도, 밀도와 같은 특성이 달라지면 빛의 속력이 달라져서 빛의 굴절이 일어난다. 신기루는 공기층의 밀도 차이에 의한 빛의 굴절로 발생하는 현상이다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 더운 공기는 밀도가 작아서 빛의 속력이 빠르며, 찬 공기는 밀도가 커서 빛의 속력이 느리다.

ㄷ. 지표 근처의 공기가 차갑고, 위쪽의 공기가 더울 때에도 빛의 굴절이 일어나 물체가 공중으로 떠 보이는 신기루가 발생한다.



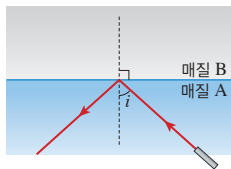
07 ㄱ. (가)는 낮과 밤에 각각 지표면으로부터의 높이에 따라 공기의 온도가 연속적으로 변함에 따라 소리의 속력이 변하여 굴절하는 현상이며, (나)는 해안선이 바다 쪽으로 돌출한 부분과 옅은 부분의 물의 깊이가 연속적으로 변함에 따라 물결파의 속력이 변하여 굴절하는 현상이다.

ㄴ. (가)에서는 공기의 온도가 높을수록 공기의 밀도가 작아 소리의 속력이 빠르다.

ㄷ. (나)에서는 해안선이 바다 쪽으로 돌출된 곳일수록 물의 깊이가 얕아서 물결파의 속력이 느리다.

08 **꼭꼭** 문제 분석

빛이 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 임계각보다 큰 각으로 입사할 때 경계면에서 전부 반사한다. ➡ 전반사



- 굴절률 : $n_A > n_B$
- 입사각(i) > 임계각

ㄱ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로, 입사각 i 는 임계각보다 크다.

ㄴ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행할 때 일어나므로, 굴절률은 A가 B보다 크다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 빛이 굴절률이 작은 매질 B에서 굴절률이 큰 매질 A로 입사할 때는 전반사가 일어나지 않는다.

09 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 입사하는 경우에 전반사가 일어난다. 매질 2로 입사한 빛이 매질 2와 매질 1의 경계면에서 전반사하므로, 매질 2의 굴절률이 매질 1의 굴절률보다 크다. ($n_2 > n_1$)

또, 매질 2에서 매질 3으로 입사한 빛의 입사각보다 굴절각이 작으므로 매질 3의 굴절률이 매질 2의 굴절률보다 크다($n_3 > n_2$). 따라서 $n_3 > n_2 > n_1$ 이다.

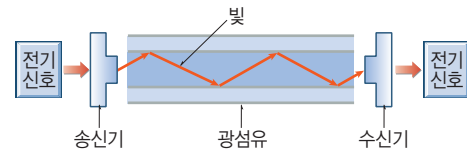
10 ㄷ. 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 빛이 진행할 때 일어나므로, 코어에서의 빛의 속력은 클래딩에서보다 느리다.

▮ **바로알기** ▮ ㄱ. 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행할 때 일어나므로, 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 크다.

ㄴ. 전반사는 입사각이 임계각보다 클 때 일어나므로, 코어와 클래딩의 경계면에서의 입사각은 임계각보다 크다.

11 ㄱ, ㄴ. 광섬유에서 빛의 전반사가 일어나 에너지 손실이 적으므로, 대용량의 정보를 먼 곳까지 전달할 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 광통신은 송신기에서 전기 신호가 빛 신호로 바뀌어 광섬유를 통해 전달되고 수신기에서 빛 신호가 전기 신호로 바뀌므로, 전기 신호 → 빛 신호 → 전기 신호의 변환을 거친다.

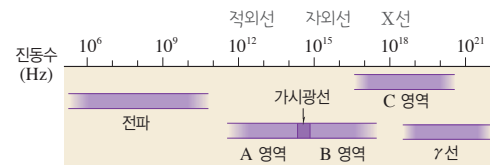


12 ㄱ. 전자기파는 전기장과 자기장이 파동의 진행 방향과 각 수직으로 진동하며 전파되는 파동이다.

ㄴ. 전자기파의 속력은 진공에서는 빛의 속력과 같지만, 진공이 아닌 매질에서는 느려진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 파장이 길수록 전자기파의 에너지가 작고, 장애물 뒤까지 전달되어 멀리까지 전파된다.

13 **꼭꼭** 문제 분석



진동수 : 작다. < ————— > 크다.
파장 : 길다. < ————— > 짧다.
에너지 : 작다. < ————— > 크다.

A 영역은 적외선, B 영역은 자외선, C 영역은 X선에 해당한다.
ㄴ. 위조지폐 감별에 이용되는 전자기파는 자외선으로 B 영역에 해당한다.

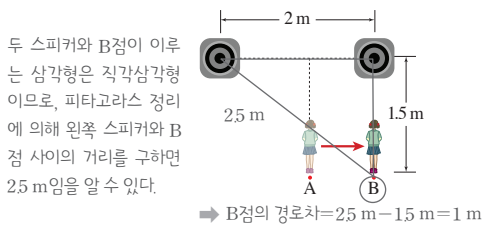
▮ **바로알기** ▮ ㄱ. A 영역은 적외선에 해당한다.

ㄷ. 전자레인지에 사용되는 전자기파는 마이크로파로, 전파에 속한다. C 영역은 X선으로, 의료 장비에 이용된다.

14 ① 파장이 가장 긴 전자기파는 전파로, 휴대 전화, 라디오 등의 무선 통신에 이용되며, 그 중에서 파장이 짧은 영역을 마이크로파라고 한다.

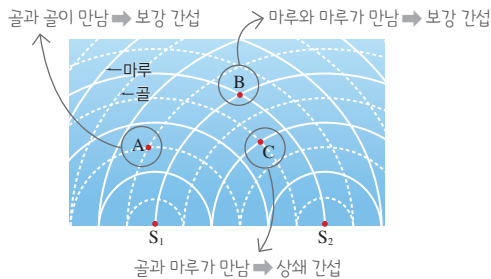
15 파동의 중첩 원리에 의해 파동 A, B가 점 P를 지날 때 겹쳐진 파동의 모습은 두 파동을 더한 모습이다. 따라서 최대 진폭은 3 cm이다.

16 **꼼꼼** 문제 분석



③ 파동의 상쇄 간섭이 일어나는 지점에서 두 파원까지의 경로차는 반파장의 홀수 배이다. 한쪽 스피커의 정면에서 첫 번째 상쇄 간섭이 일어나는 곳은 경로차가 반파장과 같다. 또, 두 번째 상쇄 간섭이 일어났다면 경로차는 반파장의 3배이다. 따라서 경로차가 $2.5\text{ m} - 1.5\text{ m} = 1\text{ m}$ 일 때, $1\text{ m} = \frac{3}{2}\lambda$ 에서 파장 $\lambda = \frac{2}{3}\text{ m}$ 이다. 소리의 속력 $v = f\lambda$ 에서 $340\text{ m/s} = f \times \frac{2}{3}\text{ m}$ 이므로 스피커에서 발생하는 소리의 진동수 $f = 510\text{ Hz}$ 이다.

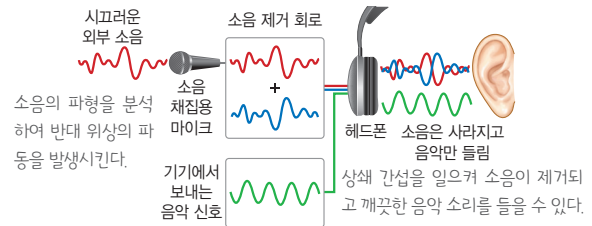
17 **꼼꼼** 문제 분석



ㄴ. B는 두 파원으로부터 거리가 같으므로, 경로차가 0이다.
ㄷ. C는 두 파동의 골과 마루, 즉 두 파동이 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어나 수면이 거의 진동하지 않는다. 따라서 밝기의 변화가 없다.

|| 바로알기 || ㄱ. A는 두 파동의 골과 골, 즉 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어난다.

18 **꼼꼼** 문제 분석



④ 소음과 반대 위상인 파동을 발생시켜서 이 파동이 소음과 상쇄 간섭을 하도록 하여 소음을 제거한다.

19 매질에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에 진행 방향이 꺾여 빛이 굴절한다.

모범답안 빛의 굴절은 매질에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에 나타나는 현상이다. 매질의 굴절률은 매질에서의 빛의 속력에 대한 진공에서의 빛의 속력의 비로, 매질에서의 빛의 속력이 느릴수록 굴절률이 크다.

채점 기준	배점
굴절 현상이 일어나는 까닭과 매질에서의 빛의 속력과 굴절률의 관계를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
굴절 현상이 일어나는 까닭과 매질에서의 빛의 속력과 굴절률의 관계 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

20 광통신은 대용량의 정보를 먼 곳까지 전달할 수 있고, 외부 전자기파의 간섭을 받지 않아 잡음과 혼선이 없으며 도청이 어렵다. 또 빛에너지의 손실이 매우 작아 광 증폭기를 설치하는 구간 사이의 거리가 길다는 장점이 있다.

모범답안 • 광통신은 광섬유에서의 빛의 전반사를 이용하는 통신이다.
• 대용량의 정보 전송이 쉽다. • 잡음과 혼선이 없고 도청이 불가능하다.
• 빛에너지의 손실이 적어 증폭기를 설치하는 구간 사이의 거리가 길다. 등

채점 기준	배점
광통신의 원리와 장점을 모두 옳게 서술한 경우	100 %
광통신의 원리와 장점 중 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

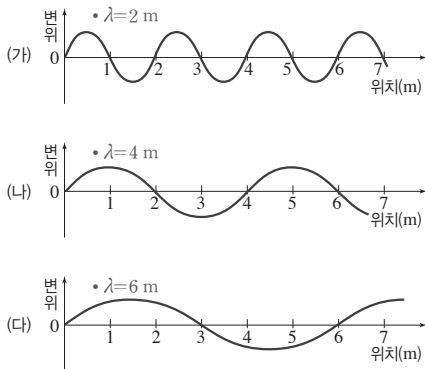
21 비행기 외부의 큰 소음이 비행기 내부로 들리는 것을 줄이기 위해, 마이크로 외부 소음을 입력 받아 비행기 내부에 외부 소음과 같은 소리를 내는 스피커를 설치하고 발생하는 소리에 시차를 두어 소음의 파동과 위상이 반대가 되도록 조작하여 두 소리가 상쇄 간섭하게 한다.

모범답안 마이크로 외부 소음을 입력 받아 스피커를 통해 소음과 반대 위상인 파동을 발생시키면, 소음과 상쇄 간섭하여 소음을 줄인다.

채점 기준	배점
소음 제거 원리와 함께 마이크와 스피커의 역할을 옳게 서술한 경우	100 %
소음 제거 원리만 옳게 서술한 경우	50 %

- 1 ⑤ 2 ④ 3 ④ 4 ③ 5 ① 6 ③ 7 ③
8 ⑤ 9 ③ 10 ① 11 ③ 12 ① 13 ④
14 ③ 15 ③ 16 ① 17 ③ 18 ② 19 ①
20 ⑤

1 문제 분석



- 파장의 크기 : (가) < (나) < (다)
- 진동수가 같을 때 파동의 속도 : $v = f\lambda$ 에서 진동수가 같을 때 속력은 파장에 비례하므로 (가) < (나) < (다)
- $v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda$ 에서 속력이 일정할 때 파장과 주기는 비례하며, 진동수와 파장은 반비례한다.

선택지 분석

- ✕ 파동의 속력이 모두 같다면 (가)의 진동수는 (다)의 진동수의 $\frac{1}{3}$ 배이다. 3배
- ㄷ 파동의 진동수가 모두 같다면 속력이 가장 빠른 경우는 (다)이다.
- ㄴ 파동의 속력이 일정할 때 (가)의 파동의 주기를 2배 증가시키면 (나)와 같은 모양이 된다.

▶ 전략적 풀이 ① 파동의 속력이 같을 때 파장과 진동수의 관계를 파악한다.

ㄱ. 파동의 속력이 같을 때 파동의 속도 $v = f\lambda$ 에서 진동수는 파장에 반비례한다. (가)의 파장은 2 m, (나)의 파장은 4 m, (다)의 파장은 6 m이므로, (가)의 파장은 (다)의 $\frac{1}{3}$ 배이고, (가)의 진동수는 (다)의 진동수의 3배이다.

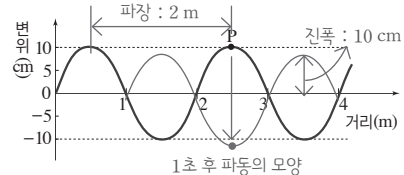
② 파동의 진동수가 같을 때 속력과 파장의 관계를 파악한다.

ㄴ. 파동의 진동수가 모두 같을 때 파동의 속도 $v = f\lambda$ 에서 속력은 파장에 비례한다. 따라서 속력이 가장 빠른 경우는 파장이 가장 긴 (다)이다.

③ 속력이 일정할 때 파장과 주기의 관계를 파악한다.

ㄷ. 파동의 속력이 일정할 때 파동의 속도 $v = \frac{\lambda}{T}$ 에서 파장은 주기에 비례한다. 따라서 (가)의 주기를 2배 증가시키면 파장이 2배 긴 (나)와 같은 모양이 된다.

2 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ P점은 1초에 0.5회 진동한다.
- ㄴ 1초 후 P점의 변위는 -10 cm이다.
- ✕ P점의 최대 변위의 크기는 20 cm이다. 10 cm

▶ 전략적 풀이 ① 변위 - 위치 그래프에서 파장과 진동수를 구한다.

ㄱ. 파장은 파동이 한 번 진동하는 동안 이동한 거리이므로 2 m이다. 진동수는 1초 동안 진동한 횟수로, 파동의 속도 $v = f\lambda$ 에서 $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1 \text{ m/s}}{2 \text{ m}} = 0.5 \text{ Hz}$ 이다.

② 주기와 진동수의 관계로부터 주기를 구하고 1초 후 P점의 변위를 파악한다.

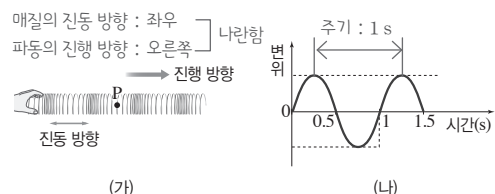
ㄴ. 파동의 주기 $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.5 \text{ Hz}} = 2 \text{ 초}$ 이므로, 마루의 위치에 있던 P점은 1초 후에 골의 위치에 있게 되어 변위는 -10 cm가 된다.

③ 최대 변위의 크기가 진폭임을 이해하고 P의 최대 변위의 크기를 파악한다.

ㄷ. 최대 변위의 크기는 진폭이므로 P점의 최대 변위의 크기는 10 cm이다.

3 문제 분석

종파의 변위 - 시간 그래프는 용수철 위의 한 점이 앞뒤로 진동하는 모습을 시간에 따라 나타낸 것으로, 횡파의 변위 - 시간 그래프와 같이 분석할 수 있다.



선택지 분석

- ㉠ 파장은 0.2 m이다.
- ㉡ P의 진동 방향은 파동의 진행 방향과 나란하다.
- ㉢ P은 1초에 2회 진동한다. 1회

전략적 풀이 ① 파동의 진행 방향과 진동 방향의 관계에 따라 파동의 종류를 구분한다.

파동의 진행 방향과 진동 방향이 나란하면 종파, 수직이면 횡파
이므로 (가)는 종파이다.

ㄴ. (가)는 종파이므로, P의 진동 방향은 파동의 진행 방향과 나란하다.

② 변위 - 시간 그래프에서 파동의 주기와 진동수를 파악한다.

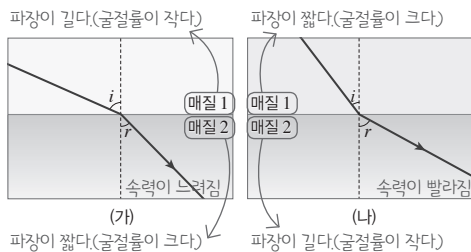
주기는 매질이 1회 진동하는 데 걸린 시간이므로 1초이다. 진동수는 매질이 1초 동안 진동하는 횟수로 주기와 역수 관계이므로 1 Hz이다.

ㄷ. P의 진동수는 1 Hz이므로 1초에 1회 진동한다.

③ 파동의 속력과 파장, 진동수의 관계를 파악한다.

ㄱ. 파동의 속력 $v = f\lambda$ 의 식에서 파장을 구하면 $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{0.2}{1} = 0.2$ m이다.

4 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 빛이 진행하는 경우는 (가)이다. (나)
- ㉡ 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은 (가)가 (나)보다 작다.
- ㉢ 전반사가 일어날 수 있는 경우는 (나)이다. 크다

전략적 풀이 ① 파동의 진동수가 일정할 때 파동의 속력과 파장의 관계를 파악한다.

ㄱ. $v = f\lambda$ 에서 진동수가 일정할 때 속력과 파장이 비례하므로, 빛의 속력이 느린 매질에서는 파장이 짧고 빛이 속력이 빠른 매질에서는 파장이 길다. 따라서 빛이 느린 매질에서 빠른 매질로 빛이 진행하는 경우는 파장이 짧은 매질에서 긴 매질로 진행하는 (나)이다.

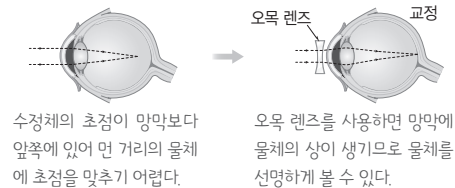
② 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률은 두 매질에서의 파장의 비와 같음을 이해하고, 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률이 큰 경우를 찾는다.

ㄴ. 매질 1에 대한 매질 2의 굴절률 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ 이므로, (가)가 (나)보다 크다.

③ 전반사가 일어날 수 있는 조건을 이해하고 어느 경우에 전반사가 일어날 수 있는지 파악한다.

ㄷ. 전반사는 빛의 속력이 느린 매질에서 빠른 매질로 진행하는 경우, 즉 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 진행하는 경우에 일어날 수 있으므로, (나)에서 일어날 수 있다.

5 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 빛의 굴절 현상을 활용한 것이다.
- ㉡ 빛의 속력은 공기에서보다 유리에서 더 빠르다. 느리다
- ㉢ 이 렌즈는 원시안의 교정에 이용된다. 근시안

전략적 풀이 ① 빛이 굴절하는 까닭을 파악한다.

빛이 굴절하는 까닭은 빛이 유리와 공기의 경계면을 통과할 때 속력이 변하기 때문이다.

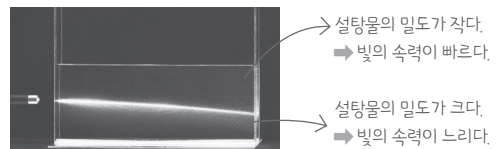
ㄱ. 렌즈를 이용하여 빛을 모으거나 퍼지게 할 수 있는 것이 빛의 굴절 현상을 활용한 것이다.

ㄴ. 공기의 굴절률이 유리의 굴절률보다 작으므로 빛의 속력은 공기에서보다 유리에서 더 느리다.

② 렌즈의 모양에 따라 어떤 종류의 상이 생기는지 이해하고, 렌즈의 용도를 파악한다.

ㄷ. 축소되어 보이는 상은 오목 렌즈에 의한 것이므로 이 렌즈는 오목 렌즈이며, 근시안의 교정에 이용된다. 원시안은 볼록 렌즈로 교정한다.

6 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 빛이 연속적으로 굴절한다.
 ✕ 빛의 속력은 설탕물의 아래쪽에서 빠르고 위쪽에서 느리다. 빠르다 느리고
 ㉡ 수평선 위에 보이는 태양의 실제 위치가 수평선 아래에 있는 원리와 같다.

전략적 풀이

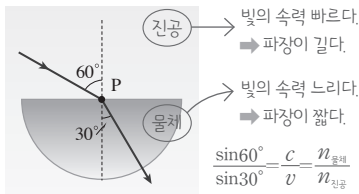
① 설탕물의 밀도에 따른 빛의 속력의 변화를 파악한다.
 ㄱ. 설탕을 물에 넣고 젓지 않은 채 두면 설탕이 서서히 녹으면서 설탕물의 농도는 아래쪽이 위쪽보다 진하게 된다. 설탕물의 밀도가 깊이에 따라 연속적으로 변하므로, 설탕물을 통과하는 빛이 연속적으로 굴절한다.

ㄴ. 빛이나 소리가 연속적으로 굴절할 때는 빛의 속력이 느려지는 쪽으로 굴절한다. 즉 설탕물의 아래쪽은 밀도가 커서 빛의 속력이 느리고, 위쪽은 밀도가 작아 빛의 속력이 빠르다.

② 공기의 밀도가 균일하지 않으므로, 대기를 통과하는 빛이 굴절하며 진행함을 이해한다.

ㄷ. 일반적으로 대기의 밀도는 지표면 가까운 곳에서 크고 지표면에서 멀어질수록 감소한다. 따라서 대기권 밖에서 오는 빛이 굴절하여 지표면 상의 관측자에게 오므로, 관측자는 태양(또는 별)이 실제의 위치보다 위쪽에 있는 것으로 인식하게 된다. 이 현상은 설탕물에서 빛이 휘어지는 원리와 같다.

문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 물체에서 빛의 속력은 $\frac{c}{\sqrt{3}}$ 이다.
 ㉡ 빛의 파장은 물체에서가 진공에서보다 짧다.
 ✕ 물체의 굴절률은 2이다. $\sqrt{3}$

① 굴절 법칙을 이용하여 식을 세우고 물체에서의 빛의 속력을 구한 후, 파장의 변화를 파악한다.

ㄱ. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c}{v}$ 에서 $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{c}{v}$ 이므로, 물체에서 빛의 속력 $v = \frac{c}{\sqrt{3}}$ 이다.

② 빛의 속력은 굴절률이 큰 매질을 통과할 때 느려짐을 이해한다.

ㄴ. 진동수가 일정할 때 빛의 파장은 속력에 비례하므로, 파장은 물체에서가 진공에서보다 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 배로 짧아진다.

③ 굴절 법칙을 이용하여 식을 세우고 물체의 굴절률을 구한다.

ㄷ. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_{\text{물체}}}{n_{\text{진공}}}$ 에서 $\frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{n_{\text{물체}}}{1}$ 이므로, 물체의 굴절률은 $n_{\text{물체}} = \sqrt{3}$ 이다.

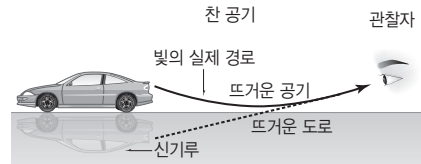
문제 분석



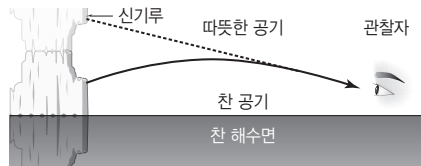
(가) 신기루

(나)

(가) 지표면 가까이에 있는 더운 공기의 밀도는 상층의 공기보다 작아서 빛의 속력은 빠르다. 이 경우에 물체에서 나오는 빛은 두 개의 경로를 통해서 눈에 들어오는데, 그 중에서 굴절에 의한 빛은 마치 지표면에서 반사된 것과 같은 물체의 모습을 만든다. 이 때문에 중간에 반사면이 있는 것처럼 보이며 이것은 마치 물과 같이 보인다.



(나) 물의 온도가 낮은 수면 가까이에 있는 찬 공기의 밀도가 상층의 따뜻한 공기보다 큰 경우에 빛의 굴절로 인해 물체가 공중으로 떠올라 보이는 신기루가 나타난다.



선택지 분석

- ㉠ (가), (나)는 모두 빛이 굴절하여 생긴 현상이다.
 ㉡ (가)는 지면에 가까울수록 공기의 굴절률이 작다.
 ㉢ (나)에서 빛의 경로는 맑은 날 밤에 먼 곳의 소리가 잘 들릴 때 소리가 진행하는 경로와 같다.

① 지표면으로부터의 높이에 따라 밀도가 다르기 때문에 대기 중에서 나타나는 빛의 굴절 현상이 신기루임을 이해한다.

ㄱ. 먼 곳에서 오는 빛이 밀도가 다른 공기층을 통과할 때 연속적으로 굴절하여 관측자의 눈에 들어오기 때문에 생기는 현상이다.

② 신기루가 보이는 위치에 따라 빛의 굴절 방향을 파악하여 지표면으로부터 높이에 따라 빛의 속력 변화를 분석한 후, 빛의 속력과 공기의 굴절률의 관계를 이해한다.

ㄴ. (가)는 신기루가 아래쪽에 보이므로, 먼 곳에서 지면을 향하

는 빛이 위로 굴절하여 관측자의 눈으로 들어온다. 빛은 속력이 느린 매질을 향하는 방향으로 굴절하므로, 지면에 가까울수록 빛의 속력이 빠르며 빛의 속력이 빠를수록 공기의 굴절률은 작다.

③ 낮과 밤에 일어나는 소리의 굴절 현상을 이해한 후 (나)와 비교한다.
 나. (나)에서 빛이 아래로 굴절하므로, 맑은 날 밤에 먼 곳에서 위로 향하는 소리가 아래로 굴절하여 지면에서 잘 들릴 때 소리가 진행하는 경로와 같다.



9

선택지 분석

- 철수 : 소리가 굴절되는 것은 공기의 온도에 따라 소리의 속력이 달라지기 때문이야.
- 영희 : 소리는 차가운 공기에서보다 따뜻한 공기에서 더 빠르게 전달돼.
- 민수 : 소리는 굴절되는 과정에서 진동수가 달라져. 일정해

전략적 풀이 ① 소리가 굴절하는 까닭을 파악한다.

소리의 굴절은 소리가 진행하다가 온도가 다른 공기층을 만났을 때, 소리의 진행 방향이 꺾이는 현상이다.

철수 : 소리가 굴절되는 것은 공기의 온도에 따라 소리의 속력이 달라지기 때문이다.

② 온도에 따라 소리의 속력이 어떻게 달라지는지 파악한다.

영희 : 소리(음파)는 공기 분자의 진동에 의해 에너지가 전달되는 현상이다. 온도가 높으면 공기 분자의 진동 속도가 커지므로 소리가 더 빠르게 전달된다.

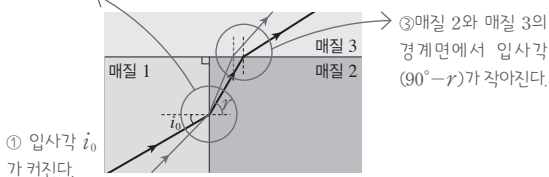
③ 소리가 굴절할 때 소리의 속력과 파동, 진동수의 관계를 파악한다.

파동이 굴절할 때 굴절된 파동의 진동수는 변하지 않고 일정하다.

민수 : 소리가 굴절할 때 파장과 속력은 달라지지만 진동수는 일정하다.

10 문제 분석

② 매질 1과 매질 2의 경계면에서 굴절각 r 가 커진다.



선택지 분석

① 단색광의 속력은 매질 1 < 매질 2 < 매질 3이다.

✗ 굴절률은 매질 1 < 매질 2 < 매질 3이다.
 매질 1 > 매질 2 > 매질 3

✗ i_0 을 증가시키면 매질 2와 매질 3의 경계면에서 전반사가 일어날 수 있다. 일어나지 않는다.

전략적 풀이 ① 각 매질의 경계면에서 입사각과 굴절각의 크기로 굴절률과 빛의 속력을 비교한다.

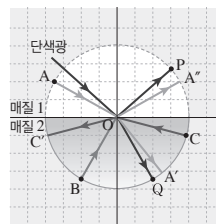
나. 빛이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 입사각보다 굴절각이 크므로 매질 2의 굴절률이 매질 1의 굴절률보다 작다. 또 빛이 매질 2에서 매질 3으로 입사할 때 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_3}{n_2}$ 에서 입사각보다 굴절각이 크므로 매질 3의 굴절률이 매질 2의 굴절률보다 작다. 따라서 매질의 굴절률을 비교하면 매질 1 > 매질 2 > 매질 3이다.

ㄱ. $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ 이므로 굴절률이 클수록 빛의 속력이 느려진다. 각 매질에서 단색광의 속력의 크기는 매질 1 < 매질 2 < 매질 3이다.

② i_0 을 증가시킬 때 각 매질의 경계면에서 굴절각과 입사각의 크기는 어떻게 변하는지 파악한다.

나. 매질 1과 매질 2의 경계면에서 굴절각을 r 라고 할 때 매질 2와 매질 3의 경계면에서 입사각은 $(90^\circ - r)$ 가 된다. i_0 이 커지면 r 도 커지며, $(90^\circ - r)$ 는 작아진다. 따라서 i_0 을 증가시키면 매질 2와 매질 3의 경계면에서 입사각이 작아지게 되어 전반사가 일어나지 않는다.

11 문제 분석



입사각보다 굴절각이 작으므로 매질 1의 굴절률보다 매질 2의 굴절률이 크다.

- A에서 O로 빛을 비추었을 때 ➡ 전반사가 일어나지 않고 굴절(A)과 반사(A')가 동시에 일어난다.
- B에서 O로 빛을 비추었을 때 ➡ B는 법선에 대해 Q와 대칭인 지점이다. 단색광이 매질 1에서 매질 2의 Q점에 도달하는 경로와 B에서 O로 비춘 빛의 일부는 굴절하여 P에 도달하는 경로와 대칭이다.
- C에서 O로 비추었을 때 ➡ 입사각이 크므로 전반사(C')가 일어날 수 있다.

❶ 전략적 풀이 ❶ 단색광이 매질 1에서 매질 2로 입사할 때 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 매질 1과 매질 2의 굴절률을 비교한다.

$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 입사각보다 굴절각이 작으므로 매질 1의 굴절률보다 매질 2의 굴절률이 크다.

❷ 두 매질의 굴절률의 크기로부터 전반사가 일어날 수 있는 빛의 경로를 파악한다.

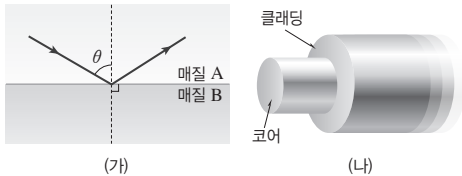
매질 1의 굴절률보다 매질 2의 굴절률이 크므로, 매질 2에서 매질 1로 향하는 빛의 경우에 전반사할 수 있다. 따라서 A에서 O로 비추었을 때는 전반사가 일어나지 않는다.

❸ 입사각의 크기가 전반사가 일어날 수 있는 임계각보다 큰지 작은지 파악한다.

단색광이 매질 1에서 매질 2의 Q점에 도달했다면, Q에서 O를 향하는 빛도 같은 경로를 따라 매질 1에 도달한다(전반사하지 않는다.). 따라서 법선에 대해 Q와 대칭인 지점인 B에서 O로 비추는 빛도 전반사하지 않고, 일부는 굴절하여 P에 도달하고 일부는 반사하여 Q에 도달한다.

C에서 O로 비추었을 때는 입사각이 커서 임계각보다 클 수 있으므로 전반사가 일어날 수 있다.

12 꼬꼬 문제 분석



전반사가 일어났으므로 매질 A의 굴절률은 매질 B의 굴절률보다 크다.

선택지 분석

- ㉠ (가)의 매질 B에서 매질 A로 빛을 입사각 θ 로 입사시키면 전반사가 일어나지 않는다.
- ㉡ (나)의 코어와 클래딩의 경계에서 임계각은 θ 보다 크다. 작다
- ㉢ (나)에서 클래딩은 $\overline{A}$ 로, 코어는 $\overline{B}$ 로 만든다.

❶ 전략적 풀이 ❶ 전반사의 조건에서 두 매질의 굴절률의 관계를 이해하고, 매질 A와 매질 B의 굴절률을 비교한다.

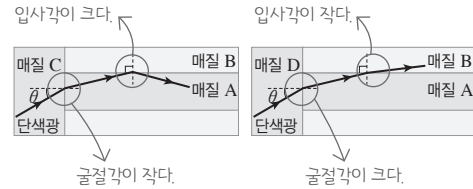
㉠. 매질 A와 B의 경계면에 입사각 θ 로 입사한 빛이 전반사하므로, 매질 A의 굴절률은 매질 B의 굴절률보다 크다. 따라서 굴절률이 작은 매질 B에서 큰 매질 A로 빛을 입사각 θ 로 입사시키면 전반사가 일어나지 않는다.

❷ 광섬유의 구조에서 빛이 코어를 따라 전반사하며 진행하기 위한 조건을 이해하고, 임계각의 크기와 코어와 클래딩의 굴절률을 파악한다.

㉡. (가)에서 빛이 전반사하므로 θ 는 임계각보다 크다. 따라서 (나)에서 코어와 클래딩의 경계에서 임계각은 θ 보다 작다.

㉢. (나)에서 클래딩은 굴절률이 작은 B로, 코어는 굴절률이 큰 A로 만든다.

13 꼬꼬 문제 분석



매질 C, D에서 광섬유의 코어(매질 A)로 빛이 입사할 때, 굴절각 r 는 매질 C 또는 매질 D와 A의 경계면에 법선을 그어 찾는다. 또 코어(매질 A)에서 클래딩(매질 B)으로 빛이 입사할 때는 매질 A와 B의 경계면의 법선에 대해 입사각을 찾아야 한다.

선택지 분석

- ㉠ 굴절률은 A가 B보다 크다.
- ㉡ 단색광의 속력은 C에서 D에서보다 크다
- ㉢ (나)에서 θ 를 증가시키면 A와 B의 경계면에서 전반사가 일어난다. 일어나지 않는다

❶ 전략적 풀이 ❶ 매질 A와 B의 경계면에서 입사각과 굴절각의 크기를 비교하여 두 매질의 굴절률을 파악한다.

㉠. (가)에서 매질 A에서 매질 B로 입사한 빛이 전반사하므로, 굴절률은 A가 B보다 크다.

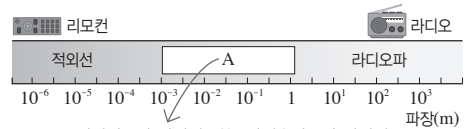
❷ (가)와 (나)에서 같은 입사각 θ 에 대해 굴절각의 크기를 비교하여, C와 D에서의 단색광의 속력을 비교한다.

㉡. (가)와 (나)에서 같은 입사각 θ 에 대해 굴절각은 (가)의 경우가 더 작다. $\frac{\sin \theta}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$ 에서 굴절각 r 가 작을수록 입사하는 매질의 굴절률 n_1 이 더 작으므로, (가)의 매질 C의 굴절률이 (나)의 매질 D의 굴절률보다 작다. 굴절률이 작을수록 빛의 속력은 크므로, 단색광의 속력은 C에서 D에서보다 크다

❸ (나)에서 θ 를 증가시킬 때 A와 B의 경계면에서의 입사각은 어떻게 변하는지 파악한다.

㉢. (나)에서 입사각 θ 를 증가시키면 굴절각이 커지며, 매질 A와 B의 경계면에서 입사각은 작아지므로 전반사가 일어나지 않는다.

14 꼬꼬 문제 분석



A는 적외선보다 파장이 길고 라디오파보다 파장이 짧은 전자기파이다. ➡ 마이크로파

선택지 분석

- ☒ 적외선의 진동수는 라디오파보다 작다. **크다.**
- ☒ A에 속하는 전자기파는 눈으로 직접 볼 수 있다. **없다**
- ☒ 전자레인지에 이용되는 전자기파는 A에 속한다.

▶ 전략적 풀이 ① 전자기파의 진동수와 파장의 관계를 파악한다.

ㄱ. 파동의 속력 $v=f\lambda$ 이므로, 속력이 같을 때 파장과 진동수는 반비례한다. 따라서 파장이 짧은 적외선의 진동수는 파장이 긴 라디오파보다 크다.

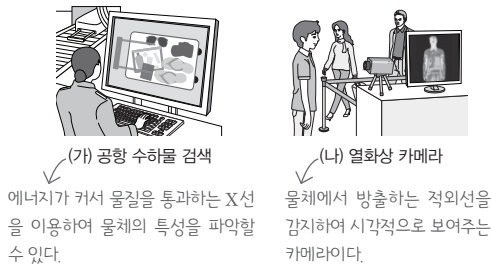
② 전자기파의 종류와 특성을 파악한다.

A는 마이크로파이다.

ㄴ. 전자기파 중 눈으로 직접 볼 수 있는 것은 가시광선으로, A에 속하는 마이크로파는 눈으로 직접 볼 수 없다.

ㄷ. 전자레인지에 이용되는 전자기파는 마이크로파로써 적외선보다 파장이 길고 라디오파보다 파장이 짧으므로 A에 속한다.

15 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

- ☒ (가)에 이용되는 전자기파로 암을 치료할 수 있다. **없다**
- ☒ (가)에 이용되는 전자기파는 (나)에 이용되는 전자기파보다 파장이 길다. **짧다**
- ☒ (나)에서 열화상 카메라 이용되는 전자기파는 텔레비전 리모컨에 이용되는 전자기파와 같은 종류이다.

▶ 전략적 풀이 ① 수하물 검색, 열화상 카메라에 이용되는 전자기파와 전자기파의 특성을 파악한다.

수하물 검색에 이용되는 전자기파는 X선, 열화상 카메라에 이용되는 전자기파는 적외선이다. X선은 적외선보다 파장이 짧다.

ㄱ. 암 치료는 X선보다 파장이 더 짧은 감마(γ)선을 이용한다.

ㄴ. (가)에 이용되는 X선은 (나)에 이용되는 적외선보다 파장이 짧다.

② 리모컨에 사용되는 전자기파의 종류를 파악한다.

ㄷ. TV 리모컨에 이용되는 전자기파는 적외선으로, (나)의 열화상 카메라에 이용되는 전자기파와 같은 종류이다.

16 꼭꼭 문제 분석

- A : 위조지폐 감별에 사용된다. → 자외선
- B : 텔레비전 리모컨에 이용되며, 사람의 몸에서도 방출된다. → 적외선
- C : 뼈를 투과할 정도로 투과력이 매우 커서 암을 치료하는 데 이용된다. → 감마(γ)선

선택지 분석

- ☒ A는 적외선이다. **자외선**
- ☒ B는 가시광선보다 파장이 길다.
- ☒ 진공에서의 속력은 C가 B보다 빠르다. **일정하다**

▶ 전략적 풀이 ① 전자기파의 특성을 이해한다.

ㄷ. 진공에서의 전자기파의 속력은 파장과 관계없이 모두 빛의 속력과 같다.

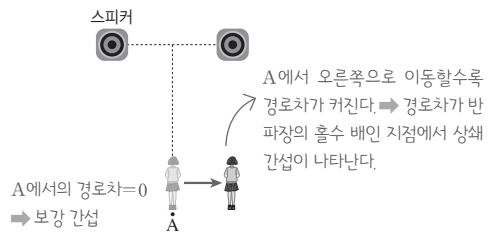
② 전자기파의 활용 예를 파악하고, 전자기파를 파장의 크기 순으로 분류한다.

A에 사용되는 파동은 자외선, B에 사용되는 파동은 적외선, C에 사용되는 파동은 감마(γ)선이다. A~C를 파장의 크기 순으로 나열하면 $B > A > C$ 이다.

ㄱ. A에 사용되는 파동은 자외선이다.

ㄴ. B는 적외선으로, 가시광선보다 파장이 길다.

17 꼭꼭 문제 분석



선택지 분석

- ☒ A 지점에서는 보강 간섭이 일어난다.
- ☒ A 지점에서 오른쪽으로 이동하면서 소리를 들으면 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 나타난다.
- ☒ 소리의 진동수를 증가시키면 소리의 크기가 변하는 지점의 간격이 커진다. **작아진다**

▶ 전략적 풀이 ① 파동의 간섭 현상에서 보강 간섭과 상쇄 간섭이 일어나는 조건을 파악한다.

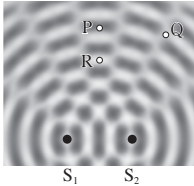
ㄱ. A 지점에서 경로차는 0이므로, 두 소리가 같은 위상으로 만나 보강 간섭이 일어난다.

ㄴ. A 지점에서 오른쪽으로 이동하면서 소리를 들을 때 경로차가 점점 커지므로, 경로차가 반파장의 홀수 배가 되어 상쇄 간섭이 일어나는 지점이 나타난다.

② 파장의 변화에 따라 보강 또는 간섭 현상이 일어나는 지점의 간격이 변하는 것을 이해한다.

ㄷ. 소리의 진동수를 증가시키면 소리의 파장이 짧아지므로, 보강 또는 상쇄 간섭이 일어나는 지점, 즉 소리의 크기가 변하는 지점의 간격이 작아진다.

18 꼼꼼 문제 분석



- P, R점 : 밝기가 시간에 따라 변한다.
→ 보강 간섭이 일어난다.
- Q점 : 밝기의 변화가 없다.
→ 상쇄 간섭이 일어난다.

선택지 분석

☒ S₁, S₂으로부터의 경로차는 P에서 R에서보다 크다.
P와 R에서 같다.

☐ 수면의 진폭은 R에서 Q에서보다 크다.

☒ 이 순간으로부터 $\frac{T}{2}$ 가 지나면 Q에서 보강 간섭이 일어난다. 일어나지 않는다.

▶ 전략적 풀이 ① 물결파의 간섭 현상에서 밝고 어두운 무늬와 밝기의 변화가 없는 무늬가 나타나는 곳에서 일어나는 간섭의 종류를 이해하고 경로차를 파악한다.

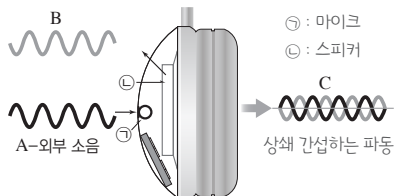
ㄱ. P와 R는 두 파원 S₁, S₂까지의 거리가 각각 같은 점들이므로 경로차는 모두 0이다. 따라서 S₁, S₂로부터의 경로차는 P와 R가 같다.

ㄴ. R는 밝기가 시간에 따라 변하는 점이므로, 보강 간섭이 일어나 수면의 진폭이 큰 점이며, Q는 밝기의 변화가 없는 점이므로 상쇄 간섭이 일어나 수면의 진폭이 0인 점이다. 따라서 수면의 진폭은 R에서 Q에서보다 크다.

② 물결파의 간섭무늬에서 밝기가 일정한 부분을 파악한다.

ㄷ. 상쇄 간섭이 일어나 밝기의 변화가 없는 점들을 연결한 선을 마디선이라고 하며, 마디선 위에 Q가 있으므로 이 순간으로부터 $\frac{T}{2}$ 가 지나더라도 Q에서 항상 상쇄 간섭이 일어난다.

19 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

☒ ㉠은 스피커, ㉡은 마이크이다.
마이크 스피커

☐ A와 B는 위상이 반대이다.

☒ C는 A와 B가 보강 간섭된 파동이다.
상쇄

▶ 전략적 풀이 ① 소음 제거 장치에서 스피커와 마이크의 역할을 이해한다.

ㄱ. ㉠은 외부 소음 A를 입력 받기 위한 마이크이며, ㉡은 소음과 반대 위상인 파동 B를 내보내기 위한 스피커이다.

② 소음이 제거되기 위해서는 어떤 간섭이 일어나야 하는지 파악한다.

ㄴ. 소음 제거 회로에서 만들어져 발생하는 파동 B는 외부 소음 A와 위상이 반대이다.

ㄷ. C는 외부 소음 A와 위상이 반대인 파동 B가 상쇄 간섭을 일으켜 만들어진 진폭이 0인 파동이다.

20 꼼꼼 문제 분석



보는 각도에 따라 보강 간섭을 일으키는 빛의 파장이 달라져서 다양한 문양을 볼 수 있다.

선택지 분석

☐ 비눗방울 표면에 무지갯빛이 나타난다.

☐ 안경이나 카메라 렌즈의 표면에서 반사가 일어나지 않도록 코팅을 한다.

☐ 모르포 나비의 날개나 벌새의 깃털이 다양한 색을 띤다.

▶ 전략적 풀이 ① 우리 주변에서 볼 수 있는 다양한 간섭 현상의 예를 파악한다.

ㄱ. 비눗방울 표면에 나타나는 무지갯빛은 비눗방울 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 두 빛이 간섭하여 나타나는 것이다.

ㄷ. 모르포 나비의 날개나 벌새 깃털이 띠는 특정한 색은 색소에 의한 것이 아니라 날개나 깃털의 구조, 즉 표면의 얇은 층에서 특정한 파장의 빛이 보강 간섭을 하기 때문에 나타난다.

② 간섭 현상을 활용하는 예를 파악한다.

ㄴ. 안경이나 카메라 렌즈의 표면에 코팅을 하는 것은 코팅 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 두 빛이 상쇄 간섭을 하도록 하여 반사가 일어나지 않도록 하기 위함이다.

2

빛과 물질의 이중성



01 빛의 이중성

개념 확인 문제

279쪽

- ① 광전 ② 진동수 ③ 진동수 ④ 세기 ⑤ 광양자
⑥ hf ⑦ 이중성 ⑧ 파동성 ⑨ 입자성 ⑩ 광전 효과

- 1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 ㉠ 광전 효과, ㉡ 광전자 3 빛의 진동수
4 광양자설, 아인슈타인 5 (1) ○ (2) ○ (3) ×
6 h , c 7 CCD 8 ㉠ 광전 효과, ㉡ 전기

1 (1) 뉴턴은 빛이 물체의 그림자를 만들 때의 직진성을 근거로 빛의 입자설을 주장하였고, 각각의 색에 대응되는 서로 다른 크기의 빛 입자가 존재한다고 하였다.

(2) 하위헌스는 빛이 교차할 때 서로 방해받지 않고 투과한다는 까닭으로 빛의 파동설을 주장하였다. 만약 빛이 입자라면 충돌로 인해 반드시 빛이 흐트러질 것이기 때문이라고 생각하였다.

(3) 빛의 파동설에 의하면 빛에너지는 빛의 세기에 관계되는데, 금속에서 전자의 방출 여부가 빛의 세기와 무관하고 빛의 진동수에만 관계되므로 빛의 파동성으로 설명할 수 없는 현상이었다.

2 금속 표면에 빛을 비출 때 광전자가 튀어나오는 현상이 광전 효과이다.

3 광전 효과 실험에서 광전자의 방출 여부는 빛의 진동수에 관계되므로, 빛의 진동수를 증가시키면 광전자가 방출된다.

4 아인슈타인은 광전 효과의 실험 결과를 해석하기 위해 광양자설을 제안하였다.

5 (1) 간섭과 회절 현상은 빛의 파동성으로 설명할 수 있고 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있으므로, 빛은 파동과 입자의 두 가지 성질을 모두 가지고 있다.

(2) 빛은 진행 과정에서는 파동의 성질인 간섭과 회절 현상이 나타나고, 다른 입자와 충돌할 때는 입자의 성질이 나타난다.

(3) 빛의 파동성을 관찰하는 실험에서는 입자성이 나타나지 않고, 입자성을 관찰하는 실험에서는 파동성이 나타나지 않는다.

6 회절과 간섭 현상은 빛의 파동성으로, 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다. 반사와 굴절 현상은 빛의 파동성과 입자성으로 모두 설명 가능하다.

7 렌즈를 통과한 빛이 CCD에서 전기 신호로 바뀌어 메모리 카드에 기록된다.

8 CCD에는 수많은 광 다이오드가 배열되어 있어서 빛이 닿으면 광전 효과에 의해 빛에너지가 전기 에너지로 변환된다.

대표 자료 분석

280쪽

자료 1 1 광전 효과 2 빛의 진동수 3 (1) ○ (2) × (3) × (4) ○ (5) ○

자료 2 1 광전 효과 2 빛의 세기 3 (1) ○ (2) ○ (3) × (4) ○ (5) × (6) ×

①-1 (가)에서 (－)대전체를 검전기의 아연판에 접촉시키면, 대전체의 (－)전하가 검전기의 금속에 고루 퍼지게 된다. 따라서 검전기의 금속박은 (－)전하를 띤다. (－)전하를 띤 금속박이 (다)에서 오므라드는 것은 전자가 방출되기 때문이며, 이는 빛을 금속판에 비추었을 때 전자가 방출되는 광전 효과가 일어나기 때문이다.

①-2 형광등에서 나오는 가시광선의 진동수보다 자외선의 진동수가 더 크므로, 금속에서 전자의 방출 여부는 빛의 진동수와 관계있다.

①-3 (1), (2) 금속 표면에 진동수가 큰 빛을 비추면 금속 표면에서 전자가 튀어나오므로, 광전자의 방출 여부는 금속판에 비춘 빛의 진동수와 관계있다.

(3) 금속판에 진동수가 큰 자외선을 비출 때 빛의 세기를 감소시키더라도 전자가 튀어나온다.

(4) 광전자의 방출 여부는 빛의 진동수에 관계되므로, 형광등에서 나오는 진동수가 작은 가시광선을 비출 때 빛의 세기를 증가시켜도 전자가 튀어나오지 않는다.

(5) 광전 효과에서 광전자의 방출 여부가 빛의 진동수에만 관계되는 것은 진동수가 클수록 빛에너지가 크기 때문이다. 이는 빛의 진동수에 비례하는 입자의 흐름이라는 광양자설로 설명할 수 있으므로, 광전 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

②-1 반도체에 빛을 비출 때 전자가 발생하는 현상도 광전 효과에 의한 것이다.

②-2 화소에 비춘 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고 광자 1개가 충돌할 때 전자 1개가 방출되므로, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 증가하여 전극 아래에 저장되는 전자의 개수도 증가한다.

- ②-3 (1), (2) CCD의 각 화소는 빛에너지를 전기 에너지로 전환시키는 수백만 개 이상의 광 다이오드로 배열되어 있다.
- (3) CCD는 광전 효과를 이용한 것이므로 빛의 입자성을 이용한다.
- (4) CCD에서 발생하는 전자의 양은 빛의 세기에 비례하므로, 빛의 세기를 측정하기 위해 광전 효과에 의해 생성된 전자를 전하량 측정 장치로 이동시켜 각 화소에 도달한 빛의 세기를 알아낸다.
- (5) CCD는 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로, CCD 위에 색 필터를 별도로 배열하여 빛의 색을 구분한다.
- (6) 화소의 크기가 작을수록 단위 면적당 화소수가 커서 고화질의 영상을 얻을 수 있다.

내신 만점 문제

281쪽~283쪽

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

01 ㄱ. 금속 표면에 한계 진동수 이상의 빛을 쏘여야 광전자가 방출된다.

❗ **바로알기** ㄴ. 금속판에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크며, 빛의 세기와는 관계없다.

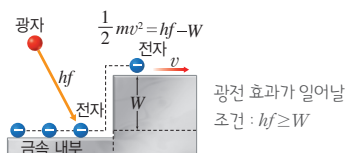
ㄷ. 금속판에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다.

02 ㄴ. 진동수 f 인 광자가 가지는 에너지는 $E=hf$ 로 주어지므로, 광자의 에너지는 빛의 진동수에 비례한다.

ㄷ. 광양자설에 따르면 광자의 수는 빛의 세기에 비례하고, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 증가한다.

❗ **바로알기** ㄱ. 광양자설에 의하면 빛은 광자(광양자)라고 하는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이다.

03 꼬꼬 문제 분석



광전 효과가 일어나면 $hf - W$ 의 최대 운동 에너지를 갖는 광전자가 금속 표면에서 튀어나온다.

① 금속에 빛을 비출 때 광자 1개가 충돌하면 금속의 전자 1개가 튀어나오는 일대일 충돌로 광자의 에너지를 전자에게 전달한다.

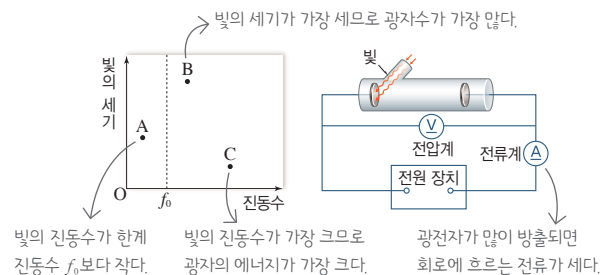
②, ③ 광자의 에너지 hf 가 전자를 금속으로부터 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지인 금속의 일함수 W 보다 클 때 광전 효과가 일어나므로, $hf \geq W$ 에서 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수는 $f_0 = \frac{W}{h}$ 이다.

④ 광전자의 최대 운동 에너지는 광자의 에너지에서 일함수를 뺀 값이므로 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 에서 빛의 진동수 f 가 클수록 크다.

❗ **바로알기** ⑤ 광전자의 최대 운동 에너지는 $\frac{1}{2}mv^2 = hf - W$ 에서 금속의 일함수 W 가 작을수록 크다.

04 일함수가 W 인 금속에 광자 1개의 에너지가 $2W$ 인 빛을 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지 = 광자의 에너지 - 일함수 = $2W - W = E$ 이므로, 광자 1개의 에너지가 $4W$ 인 빛을 비추면 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 $4W - W = 3W = 3E$ 이다.

05 꼬꼬 문제 분석



ㄱ. 빛 A의 진동수는 한계 진동수 f_0 보다 작으므로 A를 비추었을 때 광전자가 발생하지 않는다.

❗ **바로알기** ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크므로, C를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 가장 크다.

ㄷ. 빛의 세기는 광자수에 비례하므로, 빛의 세기가 가장 센 B를 비추었을 때 광전자가 많이 방출되어 회로에 흐르는 전류의 세기가 가장 크다.

06 (가) 빛의 파동 이론에 의하면 빛에너지는 빛의 세기에 의해 결정되므로, 빛의 세기가 약한 빛보다 강한 빛이 금속으로부터 전자를 쉽게 방출시켜야 한다. 그러나 실제 결과는 빛의 세기에 무관하므로 빛의 파동 이론으로 설명할 수 없다.

(나) 진동수가 큰 빛의 세기가 약할 때 빛을 흡수한 전자가 금속을 탈출하기 위해 필요한 에너지를 얻으려면 에너지가 축적되는 데 시간이 걸리므로 빛의 파동 이론으로 설명할 수 없다.

모범답안 (가) 빛의 파동설에 의하면 빛에너지는 빛의 세기에 의해 결정되므로, 빛의 진동수가 작더라도 빛의 세기를 증가시키면 광전 효과가 일어나야 한다. (나) 진동수가 큰 빛의 세기가 약하면 광전자가 방출되는 데 시간이 걸려야 하기 때문에 광전자가 즉시 방출될 수 없다.

채점 기준	배점
빛의 파동설로 설명할 수 없는 까닭을 (가), (나)에 대해 모두 옳게 서술한 경우	100 %
(가), (나) 중 한 가지에 대해서만 옳게 서술한 경우	50 %

07 꼬꼬 문제 분석

진동수가 작다. ← → 진동수가 크다.

금속	광전자 검출 여부		
	파란색 빛	보라색 빛	자외선
A	○	○	○
B	×	○	○
C	×	×	○

(○ : 검출됨 × : 검출되지 않음)

진동수가 큰 자외선을 비출 때만 광전자가 검출되므로 한계 진동수가 가장 크다. 빛에너지가 가장 큰 자외선을 비출 때만 광전자를 방출하므로 일함수가 가장 크다.

ㄱ. 빛의 진동수는 파란색 빛 < 보라색 빛 < 자외선 순이다. 따라서 진동수가 큰 자외선에서만 광전자가 방출되는 금속 C의 경우 빛의 한계 진동수가 가장 크다.

|| **바로알기** || ㄴ. 금속으로부터 전자를 떼어 내는 데 필요한 최소한의 에너지인 일함수가 클수록 금속에 비추는 빛(광자)의 에너지가 커야 광전자가 방출된다. 진동수가 큰 자외선에서만 광전자가 방출되는 금속 C의 일함수가 가장 크다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지는 금속에 비추어 준 빛에너지에서 금속의 일함수를 뺀 값이므로, 같은 진동수의 빛을 비출 때 일함수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 작아진다. 따라서 자외선을 사용할 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 가장 작은 금속은 일함수가 가장 큰 금속 C이다.

08 꼬꼬 문제 분석

금속의 일함수가 일정하므로 금속판에 비추는 빛의 진동수가 클수록 튀어나오는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

빛의 세기가 셀수록 크다.

단색광	전류의 최대값	광전자의 최대 운동 에너지
A	I_0	$2E_0$
B	I_0	E_0
C	$2I_0$	E_0

ㄱ. 진동수가 큰 빛일수록 광자 1개의 에너지가 크므로, 광전자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다. 따라서 단색광의 진동수는 A가 C보다 크다.

ㄴ. 빛의 세기는 광자의 수에 비례하고 광자 1개가 금속에 충돌할 때 전자 1개가 방출되므로, 빛의 세기가 셀수록 방출되는 광전자의 수도 많아져서 회로에 흐르는 전류의 세기도 크다. 따라서 단색광의 세기는 B가 C보다 약하다.

|| **바로알기** || ㄷ. 빛의 파장은 진동수에 반비례한다. 단색광 A의 진동수가 B보다 크므로, 단색광의 파장은 A가 B보다 짧다.

09 일함수는 금속 표면에서 전자 1개를 튀어나오게 하기 위해 전자에게 주어야 할 최소한의 에너지로, 금속의 종류에 따라 다르다. 일함수가 큰 금속일수록 비추어 주는 빛의 에너지가 커야 광전 효과가 나타나므로, 금속 표면에서 전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 커진다.

모범답안 금속의 일함수가 클수록 비추어 주는 빛의 에너지가 커야 광전 효과가 나타나므로, 광전자를 방출시킬 수 있는 빛의 최소 진동수인 한계 진동수가 크다.

채점 기준	배점
일함수가 클수록 빛의 한계 진동수도 크다고 쓰고, 그 까닭을 옳게 서술한 경우	100 %
일함수가 클수록 빛의 한계 진동수가 크다고만 서술한 경우	80 %

10 ㄷ. 빛이 어떤 경우에 파동의 성질을 나타내고, 또 다른 경우에 입자의 성질을 나타내므로, 빛이 파동성과 입자성을 모두 띠는 현상을 빛의 이중성이라고 한다.

|| **바로알기** || ㄱ. 회절, 간섭은 빛의 파동성으로 설명할 수 있으므로 빛의 파동적인 성질을 나타내는 현상이다.

ㄴ. 광전 효과, 콤프턴 효과는 빛의 입자성으로 설명할 수 있으므로 빛의 입자적인 성질을 나타내는 현상이다.

11 ㄱ. 지폐에 자외선을 비출 때 방출하는 빛은 눈에 보이는 가시광선이다.

ㄴ. 진동수는 자외선이 가시광선보다 크다. 지폐의 형광 물질에 진동수가 큰 빛을 비추어야 형광 작용이 일어나므로, 빛에너지는 빛의 진동수와 관계있다는 것을 알 수 있다.

|| **바로알기** || ㄷ. 형광 작용은 형광 물질을 이루는 원자의 전자가 빛 에너지를 흡수하여 들뜬상태가 된 후 다시 바닥상태로 떨어지면서 빛을 방출하기 때문에 나타난다. 이러한 현상은 전자가 일정한 크기 이상의 에너지를 얻을 때에만 발생할 수 있는데, 가시광선의 광자 1개는 이보다 작은 에너지를 가지므로 형광 현상을 일으키지 못한다. 그러나 자외선 광자 1개는 충분한 에너지로 형광 현상을 일으키므로, 형광 작용은 빛의 입자성으로 설명할 수 있는 현상이다.

12 물체로부터 나온 빛이 사진기의 렌즈를 지나 굴절하며 사진 건판에 도달하여 상을 맺기까지의 진행 과정은 빛의 파동성으로 설명할 수 있지만, 사진 건판에 도달한 광자가 사진 건판의 입자에 흡수되면서 자신의 에너지를 입자에 전달하여 입자들이 화학 반응을 일으키도록 하는 감광 과정은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

모범답안 빛이 사진 건판에 도달하기까지 빛의 진행 과정은 빛의 파동성으로 설명할 수 있지만, 사진 건판에 도달한 광자가 사진 건판을 감광시키는 과정은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

채점 기준	배점
필름에 상이 만들어지는 과정을 빛의 입자성과 파동성으로 옳게 서술한 경우	100 %
빛의 파동성이나 입자성 중 한 가지 근거만을 옳게 서술한 경우	50 %

13 ㄱ. CCD는 빛 신호를 전기 신호로 바꾸는 과정을 통해 영상 정보를 기록하는 역할을 한다.

ㄴ. CCD는 반도체로 만든 광 다이오드로 이루어져 있으며, 광 다이오드에 빛이 닿으면 광전자를 방출하는 광전 효과를 이용한다.

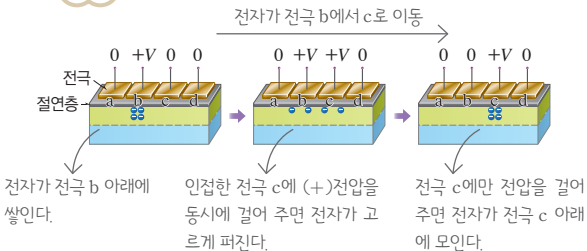
|| 바로알기 || ㄷ. 화소는 영상을 기록하거나 표현하는 최소 단위이므로, CCD의 단위 면적당 화소수가 클수록 같은 면적에 배열된 광 다이오드의 개수가 많다. 광 다이오드에서 발생하는 전하의 양으로 각 위치에 비춰진 빛의 세기에 대한 정보를 얻을 수 있으므로, 화소수가 클수록 세밀한 상을 얻을 수 있다.

14 CCD는 영상 정보를 기록하는 용도로 다양하게 사용된다.

모범답안 디지털카메라, 우주 천체 망원경, CCTV, 차량용 후방 카메라, 블랙박스, 내시경 카메라, 스캐너 등

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

15 **꼼꼼** 문제 분석

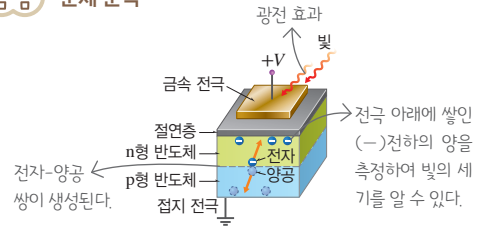


ㄱ. 화소에서 생성된 (-)전하를 띠는 전자는 (+)전압이 걸려 있는 전극 b 아래쪽에 쌓인다.

ㄴ. 전자가 쌓인 전극 b의 오른쪽 전극 c에 (+)전압을 걸면 전자가 두 전극에 고루 퍼지며, 전극 b의 전압을 0으로 하면 전자는 모두 전극 c 아래로 이동한다. 이와 같이 전극의 전압을 순차적으로 변화시키는 방식에 의해 전자는 전극을 따라 수평 방향으로 이동한 후 전송단을 따라 수직 방향으로 이동하여 전하량 측정 장치까지 이동한다.

ㄷ. 전하량 측정 장치에서 전하의 양에 비례하는 전압이 출력되는데, 출력된 이 전기 신호는 각 화소에 입사된 빛의 세기에 대한 정보를 담고 있다.

16 **꼼꼼** 문제 분석



ㄱ. CCD는 p형 반도체와 n형 반도체가 접합된 광 다이오드로 이루어져 있다.

ㄴ. 광자 1개의 에너지가 반도체의 띠 간격보다 클 때 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하여 원자가 띠에 양공이, 전도띠에 전자가 생긴다.

|| 바로알기 || ㄷ. 광전 효과로 방출되는 전자의 개수는 광자수에 비례하며 광자수는 빛의 세기에 비례하므로, 전극 아래쪽에 쌓인 전하의 양을 측정하면 각 화소에 입사하는 빛의 세기를 알 수 있다.

17 ㄱ. CCD의 화소는 광 다이오드로 이루어져 있으므로, 광 다이오드가 많을수록 화소수가 크다.

ㄴ. 광 다이오드에 빛이 닿으면 광전 효과가 일어나 전자가 방출되므로 전기 신호가 발생한다.

|| 바로알기 || ㄷ. CCD는 광전 효과를 이용하므로 빛의 입자성으로 설명할 수 있다.

18 CCD에 배열된 광 다이오드에 빛이 닿을 때 발생하는 전하의 양으로 빛의 세기만을 측정할 수 있으므로, CCD로는 빛의 색을 구분할 수 없다. 따라서 CCD 위에 색 필터를 별도로 설치하여 색을 구분한다.

모범답안 CCD는 빛의 세기만을 측정할 수 있기 때문에 색을 구분하기 위해 색 필터를 배치한다.

채점 기준	배점
CCD는 빛의 세기만 측정할 수 있기 때문에 색 구분을 위해 색 필터를 사용한다고 서술한 경우	100 %
색 구분을 위해서라고 서술한 경우	70 %

02 물질의 이중성

개념 확인 문제

286쪽

① 파동성 ② 드브로이파 ③ 이중성 ④ 파동성 ⑤ 자기 렌즈 ⑥ 투과

1 (1) ○ (2) ○ (3) × 2 파동성 3 (1) ○ (2) × (3) ○ 4 자기렌즈

1 (1) 1924년에 드브로이는 빛이 파동과 입자의 성질을 모두 갖고 있듯이 전자도 입자의 성질과 함께 파동의 성질을 가질 것이라고 주장하였다.

(2) 물질 입자가 파동성을 나타낼 때 물질의 파동을 물질파 또는 드브로이파라고 한다.

(3) 드브로이에 의하면 질량 m 인 입자가 속력 v 로 운동할 때 입자의 파동성과 관련되는 파동의 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 물질파 파장은 입자의 운동량에 반비례한다.

2 톱슨은 파장이 같은 전자선과 X선을 알루미늄박에 입사시켜서 원형의 회절 무늬를 얻어 전자가 파동성을 가진다는 것을 확인하였다.

3 (1) 전자 현미경은 전자의 파동성과 관련된 물질파를 이용하는 현미경이다.

(2) 가시광선의 파장이 약 10^{-7} m인데 비해 전자의 물질파 파장은 약 10^{-10} m 정도이므로, 전자 현미경에서 사용하는 전자의 물질파 파장은 가시광선의 파장보다 훨씬 더 짧다.

(3) 현미경에서 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 분해능이 우수하므로, 전자 현미경의 분해능은 광학 현미경보다 우수하다.

4 전자 현미경에서는 자기렌즈로 전자선을 굴절시켜 확대된 상을 만들어 관찰한다. 자기렌즈는 코일로 만든 원통형의 전자석으로, 전자가 자기장에 의해 진행 경로가 휘어지는 성질을 이용한다.

대표 자료 분석

287쪽

자료 ① 1 파동성 2 파동성 3 물질의 이중성 4 (1) ○ (2) × (3) ○

자료 ② 1 (가) 광학 현미경, (나) 투과 전자 현미경, (다) 주사 전자 현미경 2 ㉠ 유리(또는 광학) 렌즈, ㉡ 자기렌즈, ㉢ 자기장 3 (1) × (2) ○ (3) × (4) ○ (5) ×

①-1 빛을 이중 슬릿에 통과시켰을 때, 스크린으로부터 이중 슬릿까지의 경로차에 따라 빛이 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 일으키는 현상은 빛의 파동성에 의한 것이다.

①-2 전자를 이중 슬릿에 통과시켰을 때 스크린에 도달하는 전자의 양이 많은 지점과 적은 지점이 번갈아 가면서 나타나는 현상은 전자가 파동처럼 스크린에서 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 일으킨 결과이므로, 전자가 파동성을 가진다는 것을 알 수 있다.

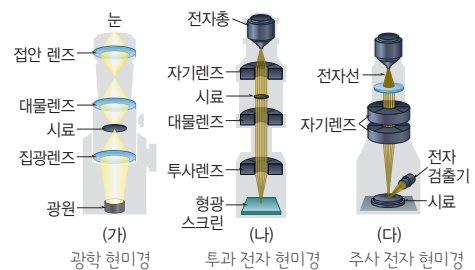
①-3 전자와 같은 입자도 빛과 마찬가지로 파동과 입자의 두 가지 성질을 모두 가지고 있음을 알 수 있으며, 이런 현상을 물질의 이중성이라고 한다.

①-4 (1) (나)에서 스크린에 도달하는 전자의 양이 많은 지점과 적은 지점이 번갈아 가면서 나타나는 현상은 (가)의 이중 슬릿을 통과한 빛의 간섭 실험에서와 같이 전자가 파동으로서 보강 간섭 또는 상쇄 간섭을 한 것으로 설명할 수 있다. 이와 같은 간섭 현상은 양성자, 중성자와 다른 여러 가지 입자에서도 실험으로 증명되었다.

(2) 전자가 물질파의 형태로 스크린에 도달하여 전자의 양이 많은 지점과 적은 지점이 번갈아 가면서 나타나는 현상을 만들 때, 각 전자가 어느 쪽 슬릿을 통과했는지 알 수 없다.

(3) 빛의 파장에 따라서 간섭무늬의 간격이 달라지듯이, (나)에서도 전자의 속력이 달라지면 전자의 물질파 파장이 달라지므로 전자 분포의 간격이 달라진다.

②-1 꼼꼼 문제 분석



(가) 접안 렌즈, 대물렌즈와 함께 반사경을 이용하는 현미경은 빛을 이용하는 광학 현미경이다.

(나) 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후 형광 스크린에 형성된 시료의 단면 구조를 볼 수 있는 전자 현미경은 투과 전자 현미경(TEM)이다.

(다) 가속된 전자선을 시료 표면에 쏘일 때 튀어나온 전자를 검출하여 시료의 표면 구조를 볼 수 있는 전자 현미경은 주사 전자 현미경(SEM)이다.

②-2 광학 현미경은 가시광선을 사용하기 때문에 유리 렌즈로 빛을 굴절시켜 초점에 모으고, 전자 현미경은 전자를 사용하기 때문에 자기렌즈로 전자선을 모은다. 이때 코일로 만든 원통 모양의 전자석인 자기렌즈에서는 자기장에 의해 자기력을 받아 전자의 진행 경로가 휘어진다.

②-3 (1) 물체의 크기가 현미경에서 사용하는 빛의 파장보다 작으면 빛의 회절 때문에 물체의 상을 관찰할 수 없다. 광학 현미경의 분해능은 $0.2\ \mu\text{m}$ 정도가 한계이고 바이러스의 크기는 이보다 작으므로, 광학 현미경으로 바이러스를 관찰할 수 없다.

(2) 투과 전자 현미경은 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후, 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원적 단면 구조의 상을 관찰하므로 세포의 내부 구조를 볼 수 있다.

(3) 투과 전자 현미경의 분해능이 주사 전자 현미경보다 우수하다.

(4) 전자선을 시료 표면에 차례대로 쏘일 때, 시료에서 튀어나온 전자를 검출기로 수집하여 컴퓨터의 모니터에 형성된 시료의 3차원적 입체상을 관찰할 수 있다.

(5) 전자의 속력을 줄이면, 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)이 길어진다. 파장이 짧을수록 분해능이 우수하므로, 전자의 속력을 줄이면 전자 현미경의 분해능은 나빠진다.

내신 만점 문제

288쪽~289쪽

01 ④ 02 ⑤ 03 ③ 04 ④ 05 ① 06 해설 참조
07 ③ 08 해설 참조 09 ㄴ, ㄷ 10 ② 11 해설 참조

01 물질 입자의 파동성과 관련되는 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 의해 입자 A의 파장 $\lambda_A = \frac{h}{m \times 2v}$ 이고 입자 B의 파장 $\lambda_B = \frac{h}{2m \times 3v}$ 이므로, $\lambda_A : \lambda_B = 3 : 1$ 이다.

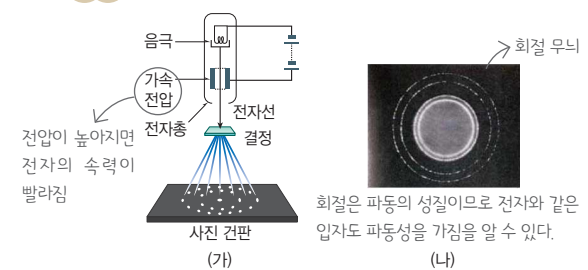
02 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 $m = \frac{1}{2E_k} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 이다. 따라서 $m_A : m_B = \frac{1}{2 \times 2E} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2 : \frac{1}{2E} \left(\frac{h}{4\lambda} \right)^2 = 8 : 1$ 이다.

03 ㄱ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 파장 λ 가 같을 때 질량 m 이 클수록 속력은 느리다. 따라서 질량이 큰 양성자의 속도가 전자보다 느리다.

ㄷ. 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 물질파 파장 λ 가 같을 때 운동 에너지 E_k 는 질량 m 에 반비례한다. 따라서 질량이 큰 양성자의 운동 에너지는 전자보다 작다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 파장 λ 가 같을 때 운동량 mv 도 같으므로, 운동량은 양성자와 전자가 같다.

04 **꼭꼭** 문제 분석

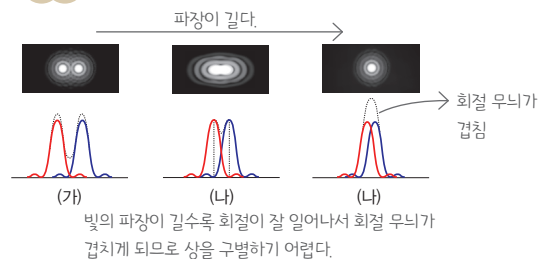


ㄱ. 가속 전압을 높이면 전자의 속력이 빨라지므로, 방출되는 전자의 운동량이 커진다.

ㄴ. 가속 전압을 높이면 전자의 속력이 빨라지며, $\lambda = \frac{h}{mv}$ 의 식에 의해 전자의 물질파 파장이 짧아진다.

▮ **바로알기** ▮ ㄷ. 가속 전압을 높이면 전자의 물질파 파장이 짧아지고, 파장이 짧아지면 회절 현상이 일어나는 정도가 작으므로 무늬 사이의 간격이 줄어든다.

05 **꼭꼭** 문제 분석



파동이 장애물이나 좁은 틈을 지나면서 넓게 퍼지는 현상을 회절이라고 하며, 파동의 파장이 길수록 회절하는 정도가 커져서 파동이 더 넓게 퍼진다. 인접한 두 광원의 파동이 같은 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상을 맺을 때, 빛의 파장이 길수록 회절하는 정도가 커서 각각의 회절 무늬가 많이 겹치면 두 점의 상이 하나로 보이기 때문에 구별하는 것이 불가능하다.

06 원자가 규칙적으로 배열된 고체 결정에 X선을 쏘어 주면 각각의 원자에 의해 회절된 X선이 특정한 각도에 보강 간섭하는 현상은 X선이 전자기파이기 때문이다. 얇은 금속박에 가속시킨 전자선을 쏘일 때 X선의 회절과 같은 현상이 나타나는 것은 전자가 물질파로서 회절하기 때문이므로, 전자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

모범답안 전자선이 X선의 경우와 같이 회절 현상을 보이므로, 전자와 같은 입자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

채점 기준	배점
전자선도 X선의 경우와 같이 회절 현상을 보이므로, 전자와 같은 입자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다고 서술한 경우	100 %
전자와 같은 입자가 파동성을 갖는다는 것을 알 수 있다고만 서술한 경우	80 %

07 ① 드브로이는 자연의 대칭성을 근거로 전자와 같은 입자도 파동의 성질을 가질 것이라고 주장하였는데 이와 같은 파동을 물질파라고 한다.

② 드브로이가 물질파를 제안한 후 미국의 과학자 데이비슨과 거머가 전자선을 니켈 결정에 입사시켰을 때 회절 현상이 나타나는 것을 관찰하였고, 이 실험에서 구한 전자의 파장이 드브로이가 제안한 물질파 파장과 같았으므로 전자가 파동성을 가짐을 알게 되었다.

④, ⑤ 물질 입자도 파동과 입자의 두 가지 성질을 모두 가지고 있는 것을 물질의 이중성이라고 한다. 그러나 입자의 조건에 따라 한쪽의 성질이 더 강하게 나타나는데, 파장이 짧을수록 입자성을 잘 나타내고 파장이 길수록 파동성을 잘 나타내게 되므로, 한 가지 현상에서 물질 입자의 입자성과 파동성을 동시에 관측하기 어렵다.

|| 바로알기 || ③ 물질의 파동성은 물질파 파장이 길수록 잘 나타난다. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 운동량 mv 가 클수록 파장이 짧아지므로 파동성이 잘 나타나지 않는다.

08 분해능이란 광학 기기에서 서로 떨어져 있는 두 점을 구별하여 볼 수 있는 능력을 뜻한다. 광학 기기의 렌즈의 크기가 같을 때 분해능은 사용하는 파동의 파장에 따라 결정된다. 파장이 긴 빨간색 빛을 사용했을 때는 두 점이 한 덩어리로 보이지만 파장이 짧은 파란색 빛을 사용했을 때는 두 점이 구분되어 보이는 것으로부터, 빛의 파장이 짧을수록 회절하는 정도가 작아져 분해능이 커지는 것을 알 수 있다.

모범답안 (가) 분해능이란 광학 기기에서 서로 떨어져 있는 두 점을 구별하여 볼 수 있는 능력을 뜻한다.

(나) 빛의 파장이 짧을수록 회절하는 정도가 작아지기 때문에 두 점을 구별하여 볼 수 있는 분해능이 커진다.

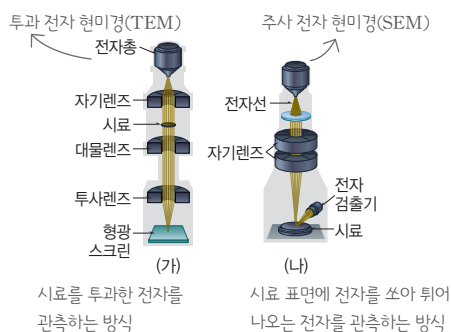
채점 기준	배점
(가) 분해능의 정의를 옳게 쓰고, (나) 분해능과 빛의 파장의 관계를 옳게 서술한 경우	100 %
(가)와 (나) 중에서 한 가지만 옳게 서술한 경우	50 %

09 ㄴ. 전자 현미경은 전자의 물질파를 이용하므로 전자의 파동성을 이용한다.

ㄷ. 광학 기기에서 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 회절 현상이 작게 일어나 분해능이 좋아진다. 전자의 물질파 파장은 가시광선의 수천 분의 일 정도이므로 전자 현미경의 분해능이 광학 현미경보다 우수하다.

|| 바로알기 || ㄱ. 광학 현미경으로 관찰하려는 물체의 크기가 빛의 파장 정도로 작으면 아무리 배율을 높여도 빛의 회절 현상 때문에 물체의 상을 정확하게 관찰할 수 없다. 따라서 가시광선의 파장보다 작은 크기의 물체는 자세히 관찰할 수 없다.

10 **꼼꼼** 문제 분석



① (가)는 시료를 투과한 전자가 형광 물질이 발라진 스크린에 부딪혀 빛을 내면 이를 관찰할 수 있는 투과 전자 현미경을 나타낸 것이다.

③ (나)는 가속된 전자가 시료의 표면에 부딪힐 때 시료로부터 방출되는 2차 전자를 검출기로 검출하여 얻는 신호를 컴퓨터로 보내서 영상을 관찰하는 주사 전자 현미경으로, 시료의 입체상과 함께 시료의 표면 구조를 볼 수 있다.

④ (나)의 주사 전자 현미경은 관찰하려는 시료의 표면에 전자를 쏘이므로 시료의 전기 전도성이 좋지 않으면 시료의 표면에 전하가 모여 관찰을 계속할 수 없다. 따라서 시료의 표면을 전기 전도성이 좋은 물질로 코팅하여 관찰해야 한다.

⑤ (가)의 투과 전자 현미경의 분해능은 (나)의 주사 전자 현미경의 분해능보다 좋다.

|| 바로알기 || ② (가)의 투과 전자 현미경에서 전자가 시료를 투과하는 동안 속력이 느려져 전자의 드브로이 파장이 커지면 분해능이 떨어지기 때문에 시료를 얇게 만들어야 한다.

11 시료의 크기보다 빛의 파장이 짧을수록 회절 현상이 작게 일어나 분해능이 좋아진다. 전자의 물질파 파장은 가시광선 파장의 수천 분의 일 정도이므로 전자의 물질파를 이용한 전자 현미경을 사용하면 광학 현미경으로는 볼 수 없는 바이러스나 세포 구조를 관찰할 수 있다. 분해능은 사용하는 파동의 파장이 짧을수록 커지므로, 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)을 짧게 하기 위해 전자의 속력을 증가시켜야 한다.

모범답안 전자 현미경의 분해능을 높이려면, 물질파 파장($\lambda = \frac{h}{mv}$)을 짧게 해야 하므로 전자의 속력을 증가시켜야 한다.

채점 기준	배점
전자 현미경의 분해능을 높이려면 물질파 파장을 짧게 해야 하므로 전자의 속력을 증가시켜야 한다고 서술한 경우	100 %
전자의 속력을 증가시켜야 한다고만 서술한 경우	50 %

중단원 핵심 정리

290쪽

- ① 광전 효과 ② 한계 진동수 ③ hf ④ 빛의 세기 ⑤ 이중성
⑥ 회절 ⑦ 파장 ⑧ 물질파 ⑨ 자기렌즈

중단원 마무리 문제

291쪽~292쪽

- 01 ㉠ 빛의 진동수, ㉡ 빛의 세기, ㉢ 시간이 걸린다. 02 ㉡
03 ④ 04 ③ 05 ⑤ 06 ㉠, ㉡, ㉢ 07 ④
08 $\sqrt{2} : 1$ 09 ③ 10 해설 참조 11 해설 참조
12 해설 참조 13 해설 참조

01 ㉠ 광전 효과의 실제 실험 결과에서는 금속판에 쏘여 주는 빛의 진동수가 특정한 진동수(f_0)보다 작으면 빛의 세기를 아무리 증가시켜도 광전자가 방출되지 않으므로, 광전자의 방출 여부는 빛의 진동수에 관계된다.

㉡ 빛의 파동 이론에 의하면 빛에너지는 빛의 세기에 관계되므로, 방출되는 광전자의 운동 에너지를 결정하는 요인은 빛의 세기이다.

㉢ 빛의 파동 이론에 의하면 빛에너지는 빛의 세기에 관계되므로, 빛의 세기가 약하면 전자를 방출시키기 위해 필요한 에너지가 모이는 데 시간이 걸린다.

02 ㉡ 진동수 f_0 인 광자 1개의 에너지가 hf_0 이므로, 광자 1개의 에너지가 hf_0 이상일 때 광전 효과가 일어난다.

|| 바로알기 || ㉠. 금속에 비추는 빛의 진동수가 한계 진동수 이상일 때만 광전 효과가 일어나므로, 빛의 진동수가 f_0 보다 작은 빛을 비추면 광전 효과가 일어나지 않는다.

㉡. 금속에 비추는 빛의 진동수가 한계 진동수 f_0 이상의 빛을 비출 때 광전 효과가 일어나므로, 빛의 속력을 c 라고 할 때 빛의 진동수와 파장의 관계 $\lambda = \frac{c}{f}$ 에서 파장이 $\frac{c}{f_0}$ 이하인 빛을 비추어야 광전 효과가 일어난다.

03 ㉠. 빛의 간섭과 회절 현상으로부터 빛이 파동성을 가지는 것을 알 수 있고, 광전 효과로부터 입자성을 가지는 것을 알 수 있으므로, 빛은 파동성과 입자성을 모두 가지고 있다.

㉡. 빛의 양이 많을수록 사진 건판에 생기는 상이 뚜렷해지는 현상을 예로 들면, 빛이 사진기의 렌즈를 지나 사진 건판에 도달하기까지 빛의 진행 과정은 빛의 파동성으로 설명할 수 있고 사진 건판에 도달한 광자가 사진 건판을 감광시키는 과정은 빛의 입자성으로 설명할 수 있다. 따라서 빛은 진행 과정에서는 파동의 성질을 나타내고, 다른 입자와 충돌할 때는 입자의 성질을 나타낸다.

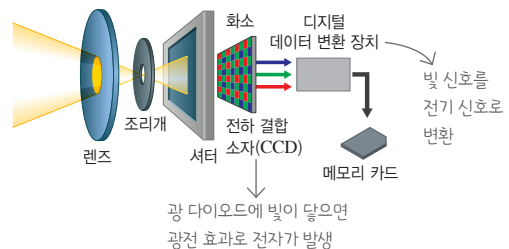
|| 바로알기 || ㉢. 빛은 입자성과 파동성을 모두 가지고 있지만, 한 가지 현상에서 빛의 입자성과 파동성을 동시에 관찰할 수 없다.

04 (가) 비눗방울의 윗면과 아랫면에서 각각 반사하는 빛의 간섭으로 다양한 색이 나타나는 것이므로 빛의 파동성과 관계가 있다.

(나) 빛이 좁은 틈을 통과하여 넓게 퍼지는 회절 현상에 의해 나타나는 무늬이므로 빛의 파동성과 관계가 있다.

(다) 태양 전지는 반도체에서 일어나는 광전 효과를 이용하는 것이므로, 빛의 입자성과 관계가 있다.

05 **꼼꼼** 문제 분석



① CCD는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합시켜 만든 수백만 개 이상의 광 다이오드로 구성되어 있다.

② CCD의 단위 면적당 화소수가 클수록 같은 면적에 배열된 광 다이오드 수가 많으며, 광 다이오드 수가 많을수록 각 위치에 비추는 빛의 세기에 대한 정보의 양이 많으므로 선명한 상을 얻을 수 있다.

③ CCD에 빛이 도달하면 각 화소에서 광전 효과에 의해 전자가 발생하여 빛에너지가 전기 에너지로 변환된다.

④ CCD 자체로는 빛의 색을 구별할 수 없고 빛의 세기만 감지하므로, CCD의 앞에 색 필터를 배치해야 각 필터를 통과한 빛의 세기를 측정하여 빛의 색을 구별할 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ⑤ CCD의 각 화소에서 발생하는 전기 신호의 세기는 입사하는 빛의 세기에 비례한다.

06 ㄱ, ㄴ, ㄷ. CCD는 광전 효과를 이용해 빛에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치로 우주 천체 망원경, CCTV, 내시경 카메라 등에 이용된다.

▮ **바로알기** ▮ ㄹ. LED는 발광 다이오드로 전기 에너지를 빛에너지로 변환시키는 장치이다.

07 질량이 m 이고 속도가 v 인 입자의 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 물질파 파장 λ 는 운동량 mv 에 반비례한다.

08 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 입자의 운동 에너지 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m} \left(\frac{h}{\lambda} \right)^2$ 에서 $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E_k}}$ 의 관계임을 알 수 있다. 따라서 $\lambda_A : \lambda_B = \frac{1}{\sqrt{E_A}} : \frac{1}{\sqrt{E_B}} = \sqrt{2} : 1$ 이다.

09 ㄱ. 물질파 파장 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로, 입자의 속력이 빠를수록 물질파 파장이 짧아진다.

ㄷ. 전자를 얇은 금속박에 통과시킬 때 나타나는 회절 현상으로부터 물질 입자가 파동의 성질을 가지고 있다는 것을 확인할 수 있다.

▮ **바로알기** ▮ ㄴ. 야구공은 전자와 같은 입자와 달리 질량이 매우 크다. 따라서 투수가 던진 야구공의 운동량의 크기가 크기 때문에 물질파 파장이 매우 짧아 파동성을 관찰하기 어렵다.

10 아인슈타인은 광전 효과를 설명하기 위해 '빛은 광자(광양자)라고 하는 불연속적인 에너지 입자의 흐름이며, 진동수 f 인 광자가 가지는 에너지는 $E = hf$ (h : 플랑크 상수)로 주어진다.'라는 광양자설을 발표하였다.

▮ **모범답안** ▮ 빛은 진동수에 비례하는 불연속적인 에너지를 가지는 광자(광양자)의 흐름이다.

채점 기준	배점
빛이 진동수에 비례하는 불연속적인 에너지를 가진 입자의 흐름이라고 서술한 경우	100 %
빛이 입자의 흐름이라고만 서술한 경우	70 %

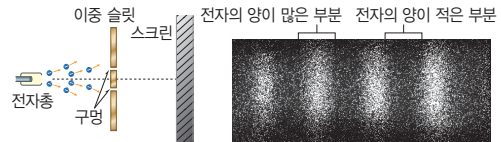
11 광양자설에 의하면 진동수 f 인 광자가 가지는 에너지는 $E = hf$ 로 진동수에 비례한다. 따라서 진동수가 큰 빛일수록 광자 1개의 에너지가 크므로, 광자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 크다.

▮ **모범답안** ▮ 빛의 진동수, 광자의 에너지는 빛의 진동수에 비례하므로 광자로부터 에너지를 얻어 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다.

채점 기준	배점
광전자의 최대 운동 에너지를 결정하는 요인을 쓰고, 광자의 에너지는 진동수가 클수록 크다고 서술한 경우	100 %
광전자의 최대 운동 에너지를 결정하는 요인이 빛의 진동수라고만 서술한 경우	50 %

12 **꼼꼼** 문제 분석

파동의 회절에 의한 간섭무늬가 나타나므로 전자를 파동으로 볼 수 있다.



전자선을 이중 슬릿에 통과시켰을 때 스크린에 도달한 전자의 양이 많은 부분과 적은 부분이 번갈아 나타난다. 이 무늬는 빛의 파동성의 증거인 간섭 현상과 같으므로, 전자가 파동처럼 이중 슬릿을 통과하여 간섭 현상을 일으키는 것을 알 수 있다.

▮ **모범답안** ▮ 빛의 파동성의 증거인 간섭무늬와 같으므로, 전자가 파동성을 가지는 것을 알 수 있다.

채점 기준	배점
무늬가 생기는 근거를 전자의 파동성으로 서술한 경우	100 %
전자의 파동성이라고만 쓴 경우	50 %

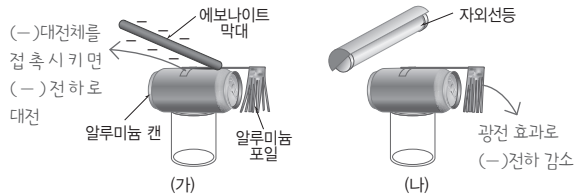
13 전자 현미경에는 투과 전자 현미경(TEM), 주사 전자 현미경(SEM)이 있다. 투과 전자 현미경은 전자선을 얇은 시료에 투과시킨 후 형광 스크린에 형성된 시료의 2차원적 단면 구조의 상을 관찰하며, 주사 전자 현미경은 전자선을 시료 표면에 차례대로 쏘일 때 시료에서 튀어나온 전자를 검출기로 수집하여 컴퓨터의 모니터에 형성된 시료의 3차원적 입체상을 관찰한다.

▮ **모범답안** ▮ 투과 전자 현미경은 전자선을 얇은 시료에 투과시켜 단면 구조의 상을 관찰하며, 주사 전자 현미경은 전자선을 시료 표면에 차례대로 쏘여서 튀어나온 전자를 검출하여 시료의 입체상을 관찰한다.

채점 기준	배점
투과 전자 현미경과 주사 전자 현미경의 원리와 함께 상의 특징을 비교하여 서술한 경우	100 %
두 현미경의 원리 또는 상의 특징만을 옮겨 서술한 경우	50 %

1 ④ 2 ① 3 ③ 4 ④ 5 ② 6 ② 7 ③
8 ①

1 **문제 분석**



선택지 분석

- ✗ (가)에서 알루미늄 포일은 (+)전하를 띤다. (-)전하
- (나)의 알루미늄 포일에서 전자가 방출된다.
- (나)에서 자외선등을 가까이 비추면 알루미늄 포일이 더 빨리 오므라든다.

▶ **전략적 풀이** ① 대전체를 금속에 접촉시켰을 때 금속이 띠는 전하의 종류를 파악한다.

ㄱ. 대전체를 금속에 접촉시켰으므로, 금속이 띠는 전하의 종류는 대전체의 종류와 같다. 따라서 (가)에서 알루미늄 포일은 에보나이트 막대와 같은 (-)전하를 띤다.

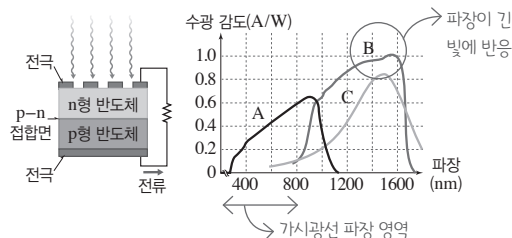
② 광전 효과의 정의를 이해하고 대전된 물체가 전하를 잃으면 어떤 변화가 나타나는지 파악한다.

ㄴ. (-)전하를 띤 알루미늄 포일이 오므라드는 것은 광전 효과에 의해 (나)의 알루미늄 포일에서 전자가 방출되었기 때문이다.

③ 빛의 세기에 따라 금속에서 방출되는 광전자의 수가 어떻게 달라지는지 이해한다.

ㄷ. (나)에서 자외선등을 가까이 비추면 금속에 도달하는 자외선의 세기가 세진다. 금속에서 방출되는 광전자 수는 빛의 세기에 비례하므로, 알루미늄 포일에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수가 많아져 알루미늄 포일이 더 빨리 오므라든다.

2 **문제 분석**



선택지 분석

- ㄱ. 광 다이오드 내부에서 전자는 n형 반도체 쪽으로 이동한다.
- ✗ ㄴ. 파장 범위가 380 nm~750 nm인 가시광선 영역의 빛을 감지하는 데 B가 가장 적절하다. A
- ✗ ㄷ. 띠 간격은 A가 C보다 작다. 크다

▶ **전략적 풀이** ① 광 다이오드에 빛을 비출 때 생성된 양공과 전자가 이동하는 방향을 파악한다.

ㄱ. 광 다이오드에 빛을 비출 때 광자 1개의 에너지가 반도체의 띠 간격보다 크면 원자가 띠의 전자가 전도띠로 전이하면서 전자-양공 쌍이 생성된다. 이때 양공은 p형 반도체로, 전자는 n형 반도체로 이동한다.

② 가시광선 파장 범위에서 수광 감도가 가장 큰 광 다이오드를 찾는다.

ㄴ. 파장 범위가 380 nm~750 nm인 가시광선 영역에서 수광 감도가 가장 큰 것은 A이므로, 가시광선 영역의 빛을 감지하는 데 A가 가장 적절하다.

③ 반도체의 띠 간격이 클수록 반도체에 비추는 빛에너지가 커야 함을 알고, A와 C의 수광 감도가 큰 파장대를 비교하여 어떤 광 다이오드에 비추는 빛의 진동수가 큰지 파악한다.

ㄷ. 수광 감도란 입사하는 특정한 파장 영역의 빛에 대해 반응하는 정도를 나타낸다. 수광 감도가 큰 빛의 파장대는 A가 C보다 짧으므로, 수광 감도가 큰 빛의 진동수는 A가 C보다 크다. 이는 A의 띠 간격이 C의 띠 간격보다 커서, A에 비추어 주는 빛의 진동수가 C보다 더 커야 광전 효과가 일어난다는 것을 의미한다. 따라서 띠 간격은 A가 C보다 크다.

3 **문제 분석**

단위 시간당 방출되는 광전자 수에 비례	단색광	세기	E_k	진동수가 클수록 커짐
	A	I_0	5W	
	B	$2I_0$	4W	
	C	I_0	2W	

선택지 분석

- ㄱ. 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수는 B일 때가 A일 때보다 많다.
- ㄴ. 단색광의 파장은 A가 B보다 짧다.
- ✗ ㄷ. 단색광의 진동수는 A가 C의 3배이다. 2배

▶ **전략적 풀이** ① 금속에서 방출되는 광전자의 수에 영향을 주는 빛의 특성을 파악하고 단색광의 세기를 비교한다.

ㄱ. 금속에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. 단색광 A의 세기는 I_0 , B의 세기는 $2I_0$ 이므로, 단위 시간당 방출되는 광전자 수는 B일 때가 A일 때의 2배이다.

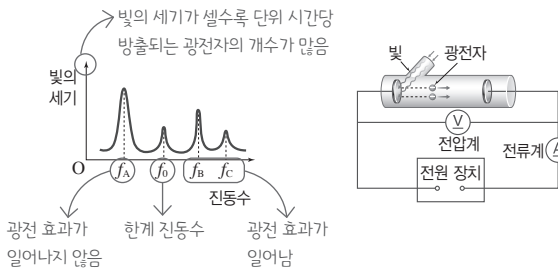
② 빛의 파장은 진동수와 반비례함을 알고, 광전자의 최대 운동 에너지로부터 단색광의 진동수를 비교하여 파장을 알아낸다.

ㄴ. 빛의 파장은 진동수에 반비례한다. 한편, 빛의 진동수가 클수록 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지는 커지므로, 단색광 A를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $5W$, B를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $4W$ 라면, 단색광 A의 진동수는 단색광 B보다 크다. 따라서 단색광의 파장은 A가 B보다 짧다.

③ 광전자의 최대 운동 에너지를 결정하는 식을 파악하고, 주어진 금속의 일함수와 광전자의 최대 운동 에너지로부터 단색광의 진동수를 비교한다.

ㄷ. 광전자의 최대 운동 에너지 = 빛에너지 - 일함수이다. 단색광 A를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $5W$ 이므로, $5W = hf_A - W$ 에서 $hf_A = 6W$ 이다. 단색광 C를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지가 $2W$ 이므로, $2W = hf_C - W$ 에서 $hf_C = 3W$ 이다. 따라서 단색광 A의 진동수 f_A 는 단색광 C의 진동수 f_C 의 2배이다.

4 **꼭꼭** 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 진동수가 f_A 인 단색광을 비추면 광전자가 방출되지 않는다. ✗
- ✗ 진동수가 f_C 인 단색광을 비추면 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0 보다 작다. 크다
- ㉡ 진동수가 f_C 인 단색광을 비추면 단위 시간당 방출되는 광전자의 개수는 N_0 보다 작다.

▶ **전략적 풀이** ① 광전 효과에서 금속의 한계 진동수의 개념을 이해하고, 한계 진동수보다 작은 진동수의 빛을 비출 때의 결과를 파악한다.

ㄱ. 금속의 한계 진동수 f_0 보다 작은 진동수 f_A 인 단색광을 비출 때는 광전 효과가 일어나지 않으므로, 광전자가 방출되지 않는다.

② 금속에서 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지의 크기에 영향을 주는 빛의 특성을 파악한다.

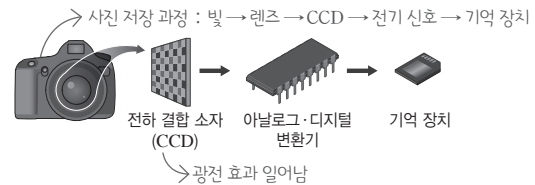
ㄴ. 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 크다. f_B 인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 최대 운동 에너지가 E_0 이라면, 이보다 큰 진동수인 f_C 를 비추었을 때 광전자의 최대 운동 에너지는 E_0 보다 크다.

③ 금속에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수에 영향을 주는 빛의 특성을 파악한다.

ㄷ. 금속에서 단위 시간당 방출되는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례한다. f_B 인 단색광을 비추었을 때 방출되는 광전자의 수가 N_0 이라면, 이보다 빛의 세기가 약한 f_C 를 비추었을 때 방출되는 광전자의 수는 N_0 보다 작다.

5 **꼭꼭** 문제 분석

디지털카메라의 렌즈를 통해 들어온 빛이 CCD의 광 다이오드에 닿아 전자가 발생하고, 화소에서 전하의 양을 전기 신호로 변환시켜 각 위치에 비추어진 빛의 세기에 대한 영상 정보를 기록한다.



선택지 분석

- ✗ CCD에서 광전 효과가 일어나 전기 에너지를 빛에너지로 변환시킨다. 빛 전기
- ㉠ CCD의 각 화소에 발생하는 전하량은 입사하는 광자 수에 비례한다
- ✗ CCD에서 발생한 전기 신호는 디지털 신호이다. 아날로그

▶ **전략적 풀이** ① 광전 효과의 정의를 이해하고, CCD에서 광전 효과가 일어날 때 에너지의 전환을 파악한다.

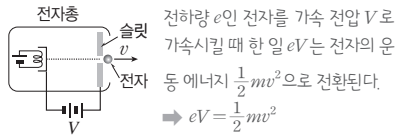
ㄱ. 광전 효과는 금속 또는 반도체에 한계 진동수 이상의 빛을 비출 때 전자가 방출되는 현상이므로, CCD에서 광전 효과가 일어날 때 빛에너지가 전기 에너지로 변환된다.

② CCD의 각 화소에서 발생하는 전하의 양에 영향을 주는 빛의 특성을 이해하고, 전하의 양에 따라 달라지는 신호를 파악한다.

ㄴ. CCD의 각 화소에 발생하는 전하량은 비추어 준 빛의 세기, 즉 입사하는 광자 수에 비례한다.

ㄷ. CCD에서 발생하는 전하의 양에 따라 값이 변하는 전기 신호는 아날로그 신호이다.

6 포 포 문제 분석



선택지 분석

(가)	(나)	(가)	(나)
☒ $\frac{2h}{mv}$	☐ $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$	☒ $\frac{h}{mv}$	☐ $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$
☒ $\frac{h}{mv}$	☐ $\frac{h}{\sqrt{4meV}}$	☒ $\frac{h}{2mv}$	☐ $\frac{h}{\sqrt{2meV}}$
☒ $\frac{h}{2mv}$	☐ $\frac{h}{\sqrt{4meV}}$		

▶ **전략적 풀이** ① 입자의 운동량과 관계있는 물질파 파장의 식을 파악한다.

운동량의 크기가 mv 인 입자의 물질파 파장은 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 이므로,

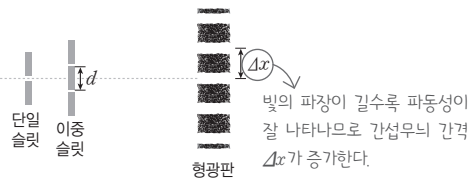
(가)에 들어갈 것은 $\frac{h}{mv}$ 이다.

② 입자의 운동 에너지의 식을 물질파 파장의 식으로 변환시켜, 가속 전압과 파장의 관계를 파악한다.

$$eV = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{1}{2m}\left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \text{에서 } \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 = 2meV \text{이므로,}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \text{이다.}$$

7 포 포 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ 형광판에 간섭무늬가 나타나는 것은 전자의 파동적 성질 때문이다.
- ✗ 가속 전압 V 를 증가시키면 전자의 속력 v 는 감소한다.
- ㉡ 전자의 속력 v 가 증가하면 Δx 는 감소한다. 증가한다

▶ **전략적 풀이** ① 간섭 현상은 입자성과 파동성 중에 어떤 성질에 의해 나타나는 것인지 이해한다.

㉠. 형광판에 생기는 간섭무늬는 형광판에 도달하는 전자의 양이 많은 부분과 적은 부분이 번갈아 생기며 나타나는 무늬이다. 간섭 현상은 파동성의 증거이므로, 형광판에 나타난 간섭무늬는 전자의 파동적 성질 때문에 나타나는 것이다.

② 전자총에서 가속 전압을 높이면 전자의 운동 에너지가 어떻게 변하는지 파악한다.

ㄴ. 가속 전압을 높일수록 전자의 운동 에너지가 증가하므로, 가속 전압 V 를 증가시키면 전자의 속력 v 는 증가한다.

③ 전자의 속력과 물질파 파장의 관계를 파악하고, 물질파 파장이 길수록 파동성이 커짐을 이해한다.

ㄷ. 전자의 속력 v 가 증가하면 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 에 의해 물질파 파장이 감소한다. 물질파 파장이 감소하면 파동성이 나타나는 정도가 작아지므로, 무늬 간격 Δx 는 감소한다.

8 포 포 문제 분석

	주사 전자 현미경 (SEM)	투과 전자 현미경 (TEM)
종류	A	B
원리	시료 표면을 따라 전자선을 스캔한다.	전자선을 시료에 투과시킨다.
가속 전압	10 kV ~ 30 kV	100 kV ~ 300 kV
시료	시료 표면을 금속으로 코팅한다.	시료가 얇아야 한다.

선택지 분석

✗ 사용하는 전자선의 물질파 파장은 A가 B보다 짧다. 길다.

㉠ A는 시료의 3차원 상을 얻을 수 있다.

✗ B는 시료 표면의 전기 전도성이 좋아야 한다. A

▶ **전략적 풀이** ① 전자의 속력은 가속 전압에 따라 어떻게 달라지는지 이해하고, 물질파 파장과 전자의 속력의 관계를 적용한다.

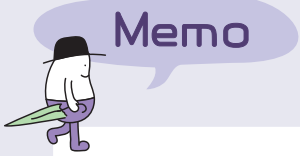
㉠. 가속 전압이 클수록 전자의 속력은 커진다. 가속 전압은 A가 B보다 작으므로, 전자의 속력은 A에서가 B에서보다 작다.

$\lambda = \frac{h}{mv}$ 에서 전자의 속력이 작을수록 물질파 파장이 길므로, 사용하는 전자선의 물질파 파장은 A가 B보다 길다.

② 주어진 자료로부터 각 전자 현미경에서 볼 수 있는 상의 특징과 시료의 특징을 파악한다.

ㄴ. A는 시료 표면을 따라 전자선을 스캔(주사)하므로 주사 전자 현미경이며, 시료의 3차원 상을 얻을 수 있다.

ㄷ. 전기 전도성을 좋게 하기 위해 시료 표면을 금속으로 코팅하는 것이므로, A에서 사용하는 시료 표면의 전기 전도성이 좋아야 한다.



A series of horizontal dashed lines for writing, spanning the width of the page.